

ВЕСТНИК
НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА "ХПИ"

ISSN 2079-5459

Сборник научных трудов

1'2012

***Тематический выпуск "Новые решения в
современных технологиях "***

Издание основано Национальным техническим университетом «ХПИ» в 2001 году

Госиздание

Свидетельство Госкомитета по информационной политике

Украины КВ №5256 от 02.07.2001 г

КООРДИНАЦИОННЫЙ СОВЕТ

Председатель

Л.Л.Товажнянский, д-р техн.наук, проф.

Секретарь

К.А. Горбунов, канд. техн.наук, доц.

Координационный совет

А.П. Марченко, д-р техн. наук, проф.

Е.И. Сокол, д-р техн. наук, проф.

Е.Е. Александров, д-р техн. наук, проф.

Б.Т. Бойко, д-р техн. наук, проф.

Ф. Ф. Гладкий, д-р техн. наук, проф.

М.Д. Годлевский, д-р техн. наук, проф.

А.И. Грабченко, д-р техн. наук, проф.

В. Г. Данько, д-р техн. наук, проф.

В.Д. Дмитриенко, д-р техн. наук, проф.

И.Ф. Домнин, д-р техн. наук, проф.

Ю.И. Зайцев, канд. техн. наук, проф.

В.В. Епифанов, канд. техн. наук, проф.

О.П. Качанов, д-р техн. наук, проф.

В.Б. Клепиков, д-р техн. наук, проф.

С. И. Кондрашов, д-р техн. наук, проф.

В.М. Кошельник, д-р техн. наук, проф.

В.И. Кравченко, д-р техн. наук, проф.

Г.В. Лисачук, д-р техн. наук, проф.

В.С. Лупиков, д-р техн. наук, проф.

О.К. Морачковский, д-р техн. наук, проф.

В.И. Николаенко, канд. ист. наук, проф.

П.Г. Перерва, д-р экон. наук, проф.

В.А. Пуляев, д-р техн. наук, проф.

М.И. Рыщенко, д-р техн. наук, проф.

В.Б. Самородов, д-р техн. наук, проф.

Г.М. Сучков, д-р техн. наук, проф.

Ю.В. Тимофеев, д-р техн. наук, проф.

Н.А. Ткачук, д-р техн. наук, проф.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Ответственный редактор

Е.И. Сокол, д-р техн. наук, проф.

Ответственный секретарь

А.В. Ивахненко, ст.преп.

Г.И. Львов, д-р техн.наук, проф.

А.С. Куценко, д-р техн. наук, проф.

И.В. Кононенко, д-р техн. наук, проф.

Л.Г. Раскин, д-р техн. наук, проф.

В.Я. Заруба, д-р техн. наук, проф.

В.Я. Терзиян, д-р техн. наук, проф.

М.Д. Узунян, д-р техн. наук, проф.

Л.Л. Брагина, д-р техн. наук, проф.

В.И. Шустиков, д-р техн. наук, проф.

В.И. Тошинский, д-р техн. наук, проф.

Р.Д. Сытник, д-р техн. наук, проф.

В.Г. Данько, д-р техн. наук, проф.

В.Б. Клепиков, д-р техн. наук, проф.

Б.В. Клименко, д-р техн. наук, проф.

Г.Г. Жемеров, д-р техн. наук, проф.

В.Т. Долбня, д-р техн. наук, проф.

Н.Н. Александров, д-р техн. наук, проф.

П.Г. Перерва, д-р экон. наук, проф.

Н.И. Погорелов, канд. экон. наук, проф.

АДРЕС РЕДКОЛЛЕГИИ

61002, Харьков, ул. Фрунзе. 21 НТУ
«ХПИ», СМУС Тел. (057) 707-60-40

Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць.
Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях.- Харків: НТУ „ХПІ» -
2012. - № 1 . - 168с.

В сборнике представлены теоретические и практические результаты научных исследований и разработок, которые выполнены преподавателями высшей школы, аспирантами, научными сотрудниками, специалистами различных организаций и предприятий.

Для научных работников, преподавателей, аспирантов, специалистов

У збірнику представлені теоретичні та практичні результати наукових досліджень та розробок, що виконані викладачами вищої школи, аспірантами, науковими співробітниками, спеціалістами різних організацій та підприємств.

Для наукових співробітників, викладачів, аспірантів, спеціалістів

Друкується за рішенням Вченої ради НТУ „ХПІ", Протокол №2 від 03.02.2012

Національний технічний університет „ХПІ" 2012

УДК 621.746.6:669.046.516.4:669.715

Ю.В. ДОЦЕНКО, канд.техн.наук, доц.,НМетАУ, Днепропетровск
В.Ю.СЕЛИВЕРСТОВ, докт.техн.наук, проф.,НМетАУ, Днепропетровск,

ЗАТВЕРДЕВАНИЕ ОТЛИВОК ИЗ СПЛАВА АК5М ПРИ КОМПЛЕКСНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА РАСПЛАВ

Приведені результати досліджень впливу реалізації комбінованої технології модифікування нанодисперсним модифікатором TiCN та газодинамічного впливу на механічні властивості алюмінієвого сплаву фасонного виливка, що твердіє в кокілі.

Ключові слова: комбінована технологія, газодинамічний вплив, модифікування, механічні властивості.

Приведены результаты исследований влияния реализации комбинированной технологии модифицирования ультрадисперсным модификатором TiCN и газодинамического воздействия на механические свойства алюминиевого сплава фасонной отливки, затвердевающей в кокиле.

Ключевые слова: комбинированная технология, газодинамическое воздействие, модифицирование, механические свойства.

The results of researches of influencing of realization of the combined technology of retrofitting by the nano- modifier of TiCN and gaz-dynamyc influence are resulted on mechanical properties of aluminium alloy of the shaped founding solidifiable in kokyl'.

Keywords: combined technology, gaz-dynamyc influence, retrofitting, mechanical properties.

Введение

В связи с возрастающими требованиями, предъявляемыми к изделиям из алюминиевых сплавов, актуальна разработка способов повышения качества литого металла. Поэтому задачей специалистов-литейщиков неизменно является модернизация действующих и разработка новых эффективных процессов литья.

Анализ предыдущих публикаций

В настоящее время в арсенале литейщиков имеется ряд способов и технологических решений позволяющих оказывать активное влияние на процесс структурообразования, в том числе с помощью внешних физических воздействий или модифицирования [1-14]. При этом указанные процессы имеют свои достоинства и недостатки.

Одним из эффективных способов изменения морфологии кристаллизующихся фаз является затвердевание в резко неравновесных условиях [2-4, 6-13]. При этом происходит измельчение кристаллической структуры, повышение растворимости в твердом состоянии и повышение плотности металла. В технологических схемах литья с кристаллизацией сплавов под давлением существенно изменяется характер кристаллизации. При увеличении скорости охлаждения повышается скорости кристаллизации изменяющаяся в результате влияния давления на число центров и скорость роста зародышей. В настоящее время во многих работах достаточно подробно рассмотрены вопросы получения качественных отливок при кристаллизации под давлением, создаваемым поршнем, пуансоном, либо всесторонним газовым давлением [1, 7, 10]. При всех указанных способах эффективность воздействия в течение времени

затвердевания отливки обратно пропорциональна толщине затвердевшего слоя металла, т.к. внешнее давление в том или ином виде прикладывается к ее поверхности. С технологической точки зрения этот процесс имеет ряд ограничений по массе, виду сплава, конфигурации литых заготовок, а также требует наличия специального оборудования и дополнительного квалифицированного персонала. Также одним из способов воздействия на затвердевающий металл является газодинамическое воздействие [15, 16].

При осуществлении технологии газодинамического воздействия, динамика изменения давления в системе отливка-устройство для ввода газа определяется динамикой изменения прочностных свойств слоя затвердевшего металла, увеличивающегося от поверхности отливки [17]. За возможный максимальный уровень давления газа (МПа) в определенный момент времени может быть принято значение, близкое значению временного сопротивления (σ_B) затвердевшего слоя с соответствующей температурой [18, 19] и с учетом растягивающих напряжений, возникающих в твердой корке, которые зависят от конфигурации и размеров отливки. При этом напряжения в растущей корке в течение всего процесса затвердевания поддерживаются практически на уровне наибольшей нагрузки, предшествующей разрушению. Данный вариант реализации технологии применим в условиях металлической формы и позволяет добиться максимального результата с точки зрения качества литого металла (прежде всего механических свойств), однако приводит к деформации отливки из-за наличия у сплава относительного удлинения. При условии стабильности геометрических размеров отливки, затвердевающей в кокиле или в разовой песчаной форме, в качестве параметра, необходимого для расчета динамики нарастания давления в системе отливка-устройство для ввода газа используется сопротивление деформации материала отливки (σ) в диапазоне рабочих температур.

К числу методов воздействий на процесс кристаллизации, получивших наибольшее распространение в практике литейного производства, относятся методы традиционного модифицирования. В последние десятилетия все большее применение в качестве модификаторов литейных сплавов получают ультрадисперсные порошки химических соединений (нанопорошки), которые выполняют роль дополнительных центров кристаллизации при первичной кристаллизации. Поэтому актуальной задачей представляется проведение исследований, направленных на определение возможности совместного применения модифицирования и затвердевания сплава в неравновесных условиях, обеспечиваемых газодинамическим воздействием.

Целью работы является определение влияния газодинамического воздействия и модифицирования ультрадисперсным порошком TiCN на механические свойства металла и образование пористости в фасонных отливках из сплава АК5М с повышенным содержанием железа затвердевающих в кокиле при реализации соответствующей комплексной технологии.

Основной материал

В литейном цехе ЗАО «Горизонт» внедрена технология газодинамического воздействия на расплав при производстве отливок деталей «Опорный наконечник

стойки конвейера». Отливки данной номенклатуры изготавливают из сплава SC51A (по ASTM США), отечественный аналог – сплав АК5М (ДСТУ 2839 – 94) способом литья в кокиль. Отличительной особенностью технологии является включение в порядок технологических операций изготовления отливки следующих этапов: проведение рафинирования (препарат DEGASAL T 200) и ввод модификатора TiCN в расплав, введение в рабочую полость формы устройства для подачи газа оригинальной конструкции, выдержка отливки с устройством в течение заданного промежутка времени, подача газа (аргона), последующее наращивание давления и выдержка под давлением до полного затвердевания отливки.

Основой расчетов режимов газодинамического воздействия при различных вариантах осуществления технологии являлись результаты моделирования процесса затвердевания фасонной отливки из алюминиевого сплава АК5М в системе компьютерного моделирования литейных процессов (СКМ ЛП) «Полигон» [8].

Отливку «Опорный наконечник стойки конвейера» массой 1,1 кг заливали в подогретый и окрашенный чугунный кокиль с минимальной толщиной стенки 40 мм. Температура заливки – 640 °С. Химический состав сплавов представлен в таблице 1.

Таблица 1. Химический состав сплава АК5М

Содержание элементов, %							
Mn	Si	Fe	Al	Mg	Cu	Ti	Zn
0,5	5,5	0,6	ост.	0,6	1,45	0,15	0,3

Для учета растягивающих напряжений, возникающих в слое затвердевшего металла отливки под влиянием гидростатического давления, проводили расчет их значений в соответствии с кинетикой затвердевания отливки по методике, изложенной в работе [18]. Затем рассчитывали динамику изменения максимально возможного давления в системе отливка-устройство для ввода газа, основываясь на значениях временного сопротивления материала отливки (σ_B) при средней температуре образующегося затвердевшего слоя [18, 19, 20]. При расчете средней температуры затвердевшего слоя металла отливки в качестве большей выступала температура солидус, а меньшей – температура поверхности отливки. Величину и динамику изменения рабочего давления в данном варианте реализации технологии газодинамического воздействия рассчитывали как разность значений временного сопротивления и величины растягивающих напряжений в затвердевшем слое металла.

Для реализации варианта технологии, предусматривающего минимальную деформацию металла отливки, затвердевающего под регулируемым газовым давлением, расчет динамики его увеличения проводили основываясь на значениях сопротивления деформации металла (σ) при средней температуре образующегося затвердевшего слоя. Далее величину и динамику изменения рабочего давления рассчитывали как разность значений сопротивления деформации и величины растягивающих напряжений в затвердевшем слое металла, возникающих вследствие гидростатического напора.

На рис. представлены результаты расчета величины напряжений в затвердевающем слое металла, возникающих вследствие гидростатического давления, а также области допустимых значений давления при газодинамическом воздействии на расплав в литейной форме при разных вариантах реализации технологии. Кривая 1 на рисунке – это динамика изменения значений σ_B для рассматриваемых сплавов, кривая 2 – динамика изменения максимального рабочего давления, кривая 3 – динамика изменения σ для рассматриваемых сплавов, кривая 4 – динамика изменения рабочего давления, кривая 5 – динамика изменения величины напряжений, возникающих вследствие гидростатического давления, штриховка – область допустимых значений давления.

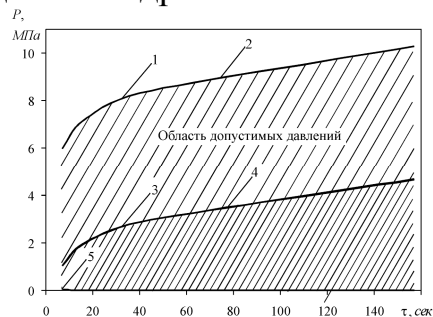


Рис. Результаты расчета величины напряжений, возникающих вследствие гидростатического давления и области допустимых значений давления при затвердевании в кокиле фасонной отливки из сплава АК5М

Технологический процесс газодинамического воздействия на расплав в кокиле проводили с начальными показателями давления 0,15 - 0,2 МПа и последующим наращиванием до 2 - 3,5 МПа в соответствии с расчетной динамикой нарастания давления в системе отливка-устройство для ввода газа.

В таблице 2 приведены результаты испытаний по определению механических свойств металла отливки «опорный наконечник стойки конвейера», полученного с применением технологии газодинамического воздействия (ГДВ), модифицирования TiCN (М), а также комбинированной технологии газодинамического воздействия и модифицирования (ГДВ+М) в сравнении с соответствующими свойствами литого металла, полученного по традиционной технологии литья в кокиль.

Таблица 2. Механические свойства металла отливки «опорный наконечник стойки конвейера»

№ образца		σ_s , МПа			НВ			δ , %		
1	до обработки	162,2			70			1,0		
2		161,8			68			0,9		
3		162,1			68			0,9		
		ГДВ	М	ГДВ+М	ГДВ	М	ГДВ+М	ГДВ	М	ГДВ+М
4	после обработки	181,3			72			1,25		
5		180,9			71			1,24		
6		181,5			72			1,25		
7			185,2			73			1,27	
8			184,8			72			1,26	
9			185,3			73			1,27	
10				191,4			74			1,29
11				190,9			73			1,28
12				191,3			74			1,29

Пористость отливок оценивали по пятибалльной шкале разработанной ВИАМ. Результаты исследований показали, что до комплексного воздействия отливки имели, в основном, 3 балл пористости, а после – 1 балл пористости.

В результате внедрения указанной технологии количество брака отливок по рыхлотам и газовым раковинам сократилось на 28 %. На данный технологический процесс разработана и применяется соответствующая инструкция.

Выводы

1. В промышленных условиях апробированы варианты реализации технологического процесса получения отливки «опорный наконечник стойки конвейера» массой 1,1 кг из сплава АК5М с использованием модифицирования ультрадисперсным порошком TiCN, газодинамического воздействия на расплав в литейной форме, а также комплексной технологии, включающей оба процесса.

2. Проведен расчет динамики нарастания газового давления в системе отливка-устройство для ввода газа для реализации технологии газодинамического воздействия. Установлено, что указанный диапазон давлений составляет 0,1-4 МПа.

3. Определены механические свойства металла отливки «опорный наконечник стойки конвейера», полученного с применением технологии газодинамического воздействия, модифицирования TiCN, а также комбинированной технологии газодинамического воздействия и модифицирования в сравнении с соответствующими свойствами литого металла, полученного по традиционной технологии литья в кокиль. Установлено, что временное сопротивление увеличивается на 11-15%, твердость (HВ) – на 4-8%, а относительное удлинение – на 27-30%.

Список литературы: 1. *Ефимов, В.А.* Перспективы развития работ по применению внешних воздействий на жидкий и кристаллизующийся расплав [Текст] / В.А. Ефимов. - Киев: Изд. ИПЛ АН УССР. - 1983. - С. 3-65. 2. Затвердевание металлического расплава при внешних воздействиях [Текст] / А.Н. Смирнов, В.Л. Пилюшенко, С.В. Момот, В.Н. Амитан. - Д.: Издательство «ВИК» - 2002. - 169 с. 3. *Калиниченко, А.С.* Управляемое направленное затвердевание и лазерная обработка: теория и практика [Текст] / А.С. Калиниченко, Г.В. Бергман - Мн.: Технопринт, 2001. - 367 с. 4. *Добаткин В.И.* Закономерности формирования структуры слитков алюминиевых сплавов при непрерывном литье с ультразвуковой обработкой кристаллизующегося расплава [Текст] / В.И. Добаткин, Г.И. Эскин, С.И. Боровикова, Ю.Г. Гольдер. - М.: Наука - 1976. - С. 151-161. 5. *Немененок, Б.М.* Теория и практика комплексного модифицирования силуминов [Текст] / Б.М. Немененок - Мн. Технопринт, 1999. - 272 с. 6. *Скворцов, А.А.* Влияние внешних воздействий на процесс формирования слитков и заготовок [Текст] / А.А. Скворцов, А.Д. Акименко, В.А. Ульянов - М.: Металлургия, 1995. - 272 с. 7. *Ефимов, В.А.* Физические методы воздействия на процессы затвердевания сплавов [Текст] / В.А. Ефимов, А.С. Эльдарханов. - М.: Металлургия, 1995. - 272 с. 8. *Эльдарханов, А.С.* Процессы кристаллизации в поле упругих волн [Текст] / А.С. Эльдарханов. - М.: Металлургия, 1996. - 256 с. 9. *Скребцов, А.М.* О некоторых возможностях измельчения зерна металла отливки при внешнем воздействии на затвердевающий расплав [Текст] / А.М. Скребцов, Л.Д. Дан, А.О. Секачев и др. // Металл и литье Украины. 1996. - № 1-2. - С.30-34. 10. *Борисов, Г.П.* Давление в управлении литейными процессами [Текст] / Г.П. Борисов. - К.: Наукова думка, 1988. - 271 с. 11. *Абрамов, О.Б.* Кристаллизация металлов в ультразвуковом поле [Текст] / О.Б. Абрамов. - М.: Металлургия, 1972. - 256 с. 12. *Пилюшенко, В.Л.* Влияние виброимпульсного воздействия на условия затвердевания стали [Текст] / В.Л. Пилюшенко, А.Н. Смирнов. - В кн.: Черная металлургия. Наука – технология – производство.

М.: Металлургия, 1989. – С. 162-171.**13.** Ульянов, В.А. Кинетика формирования стальных слитков при пассивных и активных внешних воздействиях [Текст] / В.А. Ульянов, Е.М. Китаев, А.А. Скворцов. // Процессы литья. – 1993, №4. – С.38-43.**14.** Скребецов, А.М. Формирование структуры и конуса осаждения слитка или отливки при внешнем воздействии на поверхность расплава [Текст] / Л.А. Дан, В.Б. Киличкин // Металл и литье Украины. - 1994. - №7-8. - С.5-9.**15.** Селиверстов В.Ю. Технология газодинамического воздействия на расплав в литейной форме – один из перспективных способов повышения качества металла отливок [Текст] / В.Ю. Селиверстов // Сучасні проблеми металургії. Наукові праці. Днепропетровск: Системные технологии. - 2007. – Том 10. – С. 25 – 35.**16.** Селиверстов В. Ю. Перспективы применения комбинированных способов управления структурообразованием литого металла [Текст] / В.Ю. Селиверстов, Ю.В. Доценко // Вісник ДДМА. - 2009. - № 1 (15). – С.267-273.**17.** Селиверстов В.Ю. Особливості розрахунку газодинамічного впливу на метал, що твердіє в кокілі [Текст] / В.Ю. Селиверстов // Теорія і практика металургії. – 2009. - № 1-2. – С. 41 – 45.**18.** Селиверстов В.Ю. Особенности расчета температурного поля отливки из сплава АК5М, затвердевающей в окрашенном чугуном кокиле [Текст] / В.Ю. Селиверстов // Теория и практика металлургии. – 2008. - № 5-6. – С. 32 - 36.**19.** Третьяков А.В. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением: Справочник [Текст] / А.В. Третьяков, В.И. Зюзин // М.: Металлургия, 1973. – 224 с.

Поступила в редколлегию 25.01.2012

УДК 621 941

Л. Д. МЕЛКОНОВ, канд. техн. наук, доц., ВНУ им. В. Даля, Луганск

ИЗНОС И СТОЙКОСТЬ ПРИНУДИТЕЛЬНО ВРАЩАЮЩИХСЯ ЧАШЕЧНЫХ РЕЗЦОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ ВАЛКОВЫХ КАЛИБРОВ

Досліджено процес зносу чашкового інструменту залежно від зміни режимів різання, кута схрещування осей заготовки інструменту, а також від діаметру інструменту. Дані рекомендації по оптимальних значень режимів різання, кута схрещування діаметру інструменту.

Ключові слова: знос, стійкість, критерій зносу, режими різання, діаметр інструменту.

Рассмотрен процесс износа чашечного инструмента в зависимости от изменения режимов резания, угла скрещивания осей заготовки и инструмента, а также от диаметра инструмента. Данные рекомендации по применению оптимальных значений режимов резания, угла скрещивания диаметра инструмента.

Ключевые слова: износ, стойкость, критерий износа, режимы резания, диаметр инструмента.

The process of wear of cup instrument is considered depending on the change of the cutting modes, corner of crossing of axes of purveyance and instrument, and also from the diameter of instrument. These recommendations on application of optimum values of the cutting modes, corner of crossing of diameter of instrument.

Key words: wear, firmness, criterion of wear, cutting modes, diameter of instrumen.

1. Введение

Изменение характера взаимодействия рабочих поверхностей заготовки и инструмента, то есть замена трения скольжения (обычные проходные резцы) трением качения с некоторой долей проскальзывания (чашечные резцы), приводит к уменьшению температуры резания, увеличению длины активной части режущего инструмента, что значительно повышает стойкость инструмента.

2. Основное содержание работы

Износ чашечного резца при обработке рабочих поверхностей валковых калибров происходит одновременно по передней и задней поверхностям. На передней поверхности образуется матовая полоска с незначительным углублением. Это полоска равняется ширине сходимой стружки и в дальнейшем

практически не изменяется. В результате износа по задней поверхности образуется фаска в виде ленточки по всему периметру инструмента.

На интенсивность износа чашечного резца существенное влияние оказывает режимы резания и угол скрещивания осей инструмента и детали, диаметр инструмента.

Целью данной работы является определение оптимальных значений режимов резания, угол скрещивания, диаметра инструмента при которых стойкость резца будет максимальной.

Таблица 1. Зависимость стойкости инструмента от угла скрещивания при $V=8$ м/с, $S=0,38$ мм/об, $t=0,4$ мм

Угла скрещивания γ_c	Стойкости инструмента Т мин
105	210
110	235
115	250
120	270
125	290
130	300
135	310
140	315
145	320
150	315
155	310

Таблица 2. Зависимость стойкости инструмента от скорости резания, прила скрещивания при $\gamma=140^\circ$, $S=0,38$ мм/об, $t=0,4$ мм

Скорости резания V м/с	Стойкости инструмента Т мин
3	320
4,5	300
6	270
9	250
10,5	235
12	230

Таблица 3. Зависимость стойкости инструмента от подачи при $\gamma=140^\circ$, $V=8$ м/с, $t=0,4$ мм

Подача S мм/об	Стойкости инструмента Т мин
0,2	320
0,4	280
0,5	275
0,6	270
0,7	260
0,9	255
1	245

Таблица 4. Зависимость стойкости инструмента от глубины резания при $\gamma=140^\circ$, $V=8$ м/с, $S=0,38$ мм/об

Глубины резания t мм	Стойкости инструмента T мин
0,2	320
0,4	305
0,6	290
0,8	285
1	280
1,2	270

Приведенные исследования (табл.1-4), (рис.1) показали, что стойкость инструмента в значительной степени зависит от угла скрещивания осей обрабатываемого вала и инструмента γ_c , скорости резания V , глубины резания t и подачи S . Изменение величины γ_c угла скрещивания от $105^\circ \dots 135^\circ$ изменяет стойкость инструмента 200...320мин. Увеличение угла скрещивания ведет к увеличению стойкости инструмента за счет уменьшения угла контакта инструмента с обрабатываемой деталью. При дальнейшем увеличении угла скрещивания стойкость инструмента остается постоянной.

С увеличением скорости резания 3...12м/с стойкость инструмента снижается 320...240мин. Это объясняется тем, что с увеличением скорости увеличивается температура в зоне резания, что приводит к более интенсивному износу инструмента.

Увеличение глубины резания 0,2...1,4 мм снижает стойкость инструмента 320...200мин.

Подача оказывает существенное влияние на стойкость инструмента. Так, при изменении величины подачи 0,2...1мм/об стойкость снижается 320...120мин. На величину стойкости принудительно вращающегося чашечного резца существенное влияние оказывает диаметр чашки инструмента(рис.2). С его увеличением

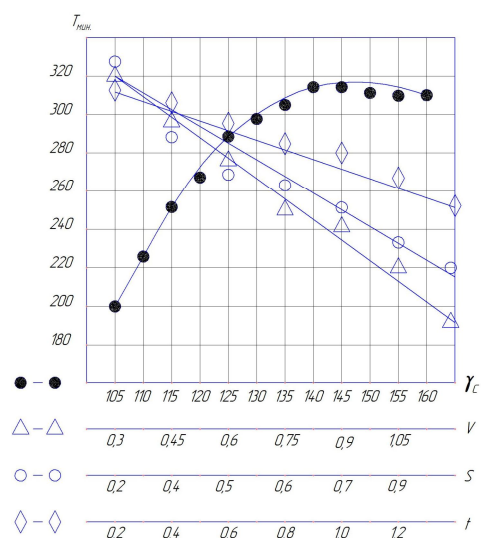


Рис.1 Зависимость стойкости инструмента T от угла скрещивания γ_c , скорости резания V , подачи S и глубины резания t

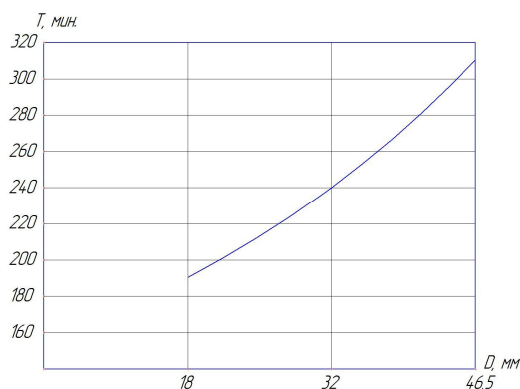


Рис.2 Зависимость стойкости инструмента T от диаметра D
 $\gamma_c=135^\circ$, $V=7,5$ м/с, $S=0,4$ мм/об, $t=0,4$ мм

стойкость резца повышается, так как при этом увеличивается длина контакта режущей кромки с деталью и улучшаются условия отвода тепла в тела резца и детали, кроме того увеличивается участок, контактируя с окружающей средой, отдает ей значительную часть своего тепла. Исследования стойкости инструмента проводились при диаметрах: 18мм, 32мм, 46,6мм; режимах резания и угле скрещивания $V=7,5\text{ м/с}; S=0,4\text{ мм/с}; t=0,4\text{ мм/с}; \gamma=135^\circ$.

Общее уравнение для определения стойкости принудительно вращающегося чашечного резца можно представить в виде отношения:

$$T = C_m \cdot \gamma^{0,41} \cdot D^{0,82} \cdot V^{0,45} \cdot t^{0,15} \cdot S^{0,18} \quad (1),$$

где C_m – коэффициент, зависящий от свойств обрабатываемого материала. Увеличение стойкости за счет кинематических и физических особенностей процесса резания чашечными резцами влечет за собой охлаждение режущей кромки в момент ее холостого поворота путем контакта с окружающей средой, образование окисных пленок, уменьшающих коэффициент трения и силы в зоне резания.

Стойкость чашечного резца может быть увеличена за счет создания условий для оптимальной его работы. К ним относится геометрия заточки режущих кромок инструмента. Для выяснения оптимальных значений геометрии заточки проводились исследования стойкости резцов с заточкой переднего угла ($\gamma_{\text{заг.}}$) $15^\circ, 25^\circ, 30^\circ$; заднего угла ($\alpha_{\text{заг.}}$) $5^\circ, 10^\circ, 15^\circ$ (рис.3).

Ширина фаски на задней поверхности составила $f_{\text{ф.}}=0,25 \dots 0,5\text{ мм}$. Износ

твердосплавных инструментов при точении происходит преимущественно по задней поверхности. Это объясняется силами трения по задней поверхности, большей скоростью скольжения по обработанной поверхности, чем стружки по передней поверхности резца (рис.4). Отсюда можно сделать вывод, для повышения стойкости режущей кромки круглого резца заточка по передней поверхности должна быть выполнена таким образом, чтобы обеспечить оптимальный кинематический угол в работе равный $\alpha_3^{\text{опт}} 8^\circ \dots 10^\circ$.

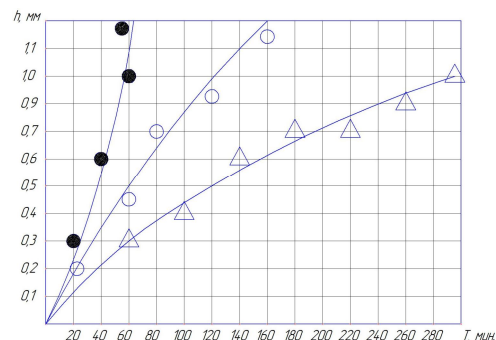


Рис.3 Зависимость износа круглого резца по задней поверхности от времени работы при $\gamma_c=135^\circ$, $\beta=25^\circ$, $V=8\text{ м/с}$, $S=0,4\text{ мм/об}$, $t=0,5\text{ мм}$
 ● – ● $\gamma_3=15^\circ$, $\alpha_3=5^\circ$; ○ – ○ $\gamma_3=25^\circ$, $\alpha_3=10^\circ$
 △ – △ $\gamma_3=30^\circ$, $\alpha_3=15^\circ$

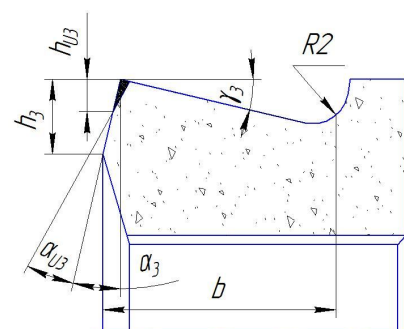


Рис.4 Схема заточки и износа режущей кромки твердосплавного круглого резца: γ_3 – передний угол заточки; α_3 – задний угол заточки; $\alpha_{\text{из}}$ – угол износа резца по задней поверхности; $h_{\text{из}}$ – ширина фаски задней поверхности; ρ – радиус закруглений режущей кромки; $h_{\text{из}}$ – ширина фаски износа по задней поверхности.

Матовая ленточка, образующаяся по задней поверхности резца в начале работы, в дальнейшем не изменяется ни по величине, ни по форме, вплоть до его полного затупления.

Чашечный резец имеет, в основном, следующие виды износа: абразивный, окислительный, адгезионный, хрупкий.

Износ режущей кромки чашечного резца происходит следующим образом: в первые минуты работы на задней поверхности резца образуется фаска в виде равномерной ленточки $\alpha_{из} = 2^\circ \dots 5^\circ$. В процессе работы ширина этой фаски увеличивается, величина угла уменьшается, а в месте сопряжения фаски износа с передней поверхностью образуется радиус округления режущей кромки. При достижении фаски износа 0,25...0,5мм резко повышаются усилия и температура резания из-за малого заднего угла, большой площади контакта и радиуса округления режущей кромки, соизмеримого с толщиной срезаемого слоя.

Увеличение температуры резания влечет за собой еще больший перепад температуры режущей кромки на входе в зону резания и выхода из нее. В результате этого на задней поверхности появляются микротрещины, которые в дальнейшем углубляются и приводят к тому, что материал инструмента крошится. Вследствие этого качество обработанной поверхности резко ухудшается, на ней появляются рифленый рисунок и риски, оставляемые выкрошенной режущей кромкой.

Таким образом, с некоторой величины фаски износа (1...1,2мм) наступает износ инструмента, приводящий к ухудшению качества обработанной поверхности.

Критерием износа можно считать износ по задней поверхности при $h_{из.} = 1,5 \dots 2,5$ мм.

В результате экспериментальных исследований определены технологические возможности чашечных резцов в зависимости от режимов резания, угла скрещивания осей обрабатываемой заготовки вала и инструмента, диаметра резца.

Выводы

1. Экспериментальными исследованиями установлено, что стойкость режущей кромки чашечного принудительно вращающегося резца зависит от режимов резания, угла скрещивания инструмента и детали, а также диаметра инструмента.
2. Установлено, что критерием износа чашечного резца является фаска появляющаяся на его задней поверхности. При достижении ширины фаски $h_{из.} = 1,5 \dots 2$ мм наступает износ резца.
3. Определенно, что максимальная стойкость инструмента $T = 280-300$ мин будет при $\gamma_c = 135 \dots 140$; $V = 5 \dots 6$ м/с; $S = 0,2$ мм/об; $t = 0,6 \dots 0,7$ мм; $D = 46,5$ мм

Список литературы: 1. Бобров В.Ф. «Основы теории резания металлов» М:Машиностроение.1975.-345с. 2. Гук Л.А. Чистовое ротоционное точение гребных валов.- «Судостроение», № 4, 1977г., с.49-45. 3. Мелконов Л.Д. Технологическое обеспечение качества и точности обработки валов чашечными принудительно вращающимися резцами. -Дис...канд. техн. наук.- Москва, 1985г-188с.

Поступила в редколлегию 15.01.2012

И. Ш. НЕВЛЮДОВ, докт.техн.наук, проф.,ХНУРЭ, Харьков

И. С. ХАТНЮК, асп., ХНУРЭ, Харьков

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА КИНЕТИКУ ФОРМИРОВАНИЯ СВАРНОГО МИКРОСОЕДИНЕНИЯ

У даній роботі розглядається процес формування надійних мікрос'єднань методом зварювання ультразвуком при виготовленні гнучких друкованих плат, проаналізовано вплив технологічних чинників і конструктивних параметрів на механізм утворення зварного з'єднання.

Ключові слова: мікрос'єднання, ультразвук, показник якості, поліімід, зварювання

В данной работе рассматривается процесс формирования надёжных микросоединений методом сварки ультразвуком при изготовлении гибких печатных плат, проанализировано влияние технологических факторов и конструктивных параметров на механизм образования сварного соединения.

Ключевые слова: микросоединение, ультразвук, показатель качества, полиимид, сварка

In this paper the process of making a reliable microbonds by ultrasonic bonding in the flexible-rigid board manufacture is examined, the influence of technological factors and constructive parameters on the microbonds formation mechanism is analyzed.

Keywords: microbond, ultrasonic, quality, polyimide, bonding

Введение

В производстве гибких печатных плат (ГПП) широко используются технологические процессы сборки и монтажа. Для обеспечения надёжности конструкции ГПП, особенно в микроэлектронном исполнении существует потребность в реализации необходимых конструктивно-технологических характеристик микросоединений [1-3].

На сегодняшний день наиболее перспективным методом получения монтажных соединений в микроэлектронике является ультразвуковая сварка [1]. По сравнению с другими методами формирования соединений метод сварки при помощи ультразвука обладает целым рядом преимуществ: простотой использования; технологичностью; широкими возможностями для автоматизации технологического процесса монтажа. Кроме того, прочность сварного микросоединения близка к прочности исходных соединяемых элементов микросхем; сварное соединение имеет минимальное омическое сопротивление; основные параметры процесса соединения (температура нагрева, удельное давление и длительность выдержки) являются минимальными, что позволяет исключить повреждения элементов схемы; ультразвуковая сварка позволяет выполнять соединение материалов разнообразных сочетаний и типоразмеров; после соединения не остаётся материалов, вызывающих коррозию.

Влияние технологических факторов на процесс образования сварных микросоединений может привести к отклонению их параметров от ожидаемых, что обуславливает необходимость детального анализа влияния технологических

факторов на механизм формирования соединений в ГПП методом ультразвуковой (УЗ) сварки.

Влияние конструктивно-технологических факторов на кинетику формирования сварных микросоединений

Качество и надежность соединений металлических микровыводов ГПП во многом определяется правильным выбором конструктивно-технологических параметров сварных узлов, обеспечением металлургической совместимости, соединяемых микровыводов, высокой электропроводности, механической прочности и минимизацией напряженно-деформированного состояния структурных компонентов микросоединения.

Прочность и надежность соединения типа А1-А1 характеризуются высокими показателями вследствие отсутствия гетерогенных диффузионных процессов в процессе сварки и при последующем температурном старении. Так, при ускоренных испытаниях (выдержка при 300 °С в течение 150 час) целостность сварных соединений А1-А1 сохраняется, а при отрыве проволоки происходит разрыв в месте перехода вывода в сварное соединение. Металлографический анализ косых микрошлифов показал, что зона взаимодействия А1-А1 имеет металлический блеск и незначительные включения окислов алюминия [5].

Однако при чрезмерной деформации выводов (более 60%) и при непараллельности поверхности кристалла относительно торца инструмента имеет место (до 4%) предельно низкое усилие на отрыв $-13 \cdot 10^{-2}$ Н.

Использование плоских ленточных выводов в конструкции гибких коммутационных структур вместо проволоки позволяет во многом избежать проблем, связанных с переменным сечением проволоки (диаметр 30 мкм), так как ширина ленточного вывода (фольги) составляет 100-200 мкм и фактор разнотолщинности сглаживается за счет интегральной картины сварного микросоединения. К тому же ленточный вывод гибкого носителя поступает на сварочный монтажный стол в готовом виде и не подвергается внешним воздействиям протяжных механизмов, как в случае подачи проволоки.

В условиях формирования сварного микросоединения плоских алюминиевых выводов гибкой коммутационной платы дополнительных требований к материалу проводникового слоя по сравнению с проволоочным способом сборки ранее не обнаружено [3]. Однако, экспериментально установлено, что толщина слоя алюминиевой металлизации на ГКП должна быть не менее 10 мкм. Уменьшение толщины ведет к снижению прочности сварного соединения микровыводов ГКП (рис. 1).

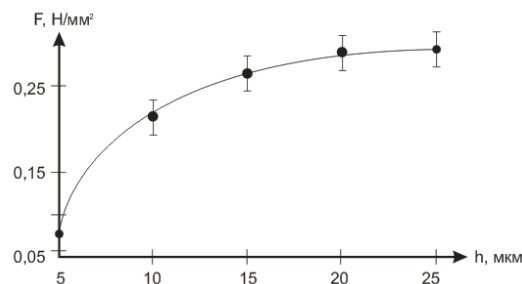


Рис. 1. Зависимость прочности микросоединения от толщины слоя алюминия на полиимидной подложке

Процесс соединения проволоочных выводов с металлизированными контактными площадками на полиимидной подложке изучен достаточно полно [1-5]. Для случая соединения ленточных выводов картину кинетических

закономерностей формирования соединения, в основном, следует считать идентичной за исключением некоторых допущений, связанных с геометрией привариваемого вывода и профилем торца инструмента. Кинетика формирования соединения в реальном масштабе времени ранее подробно изучалась [3, 4] с помощью регистрации осциллограмм, изменения температуры в зоне сварки, контактного электросопротивления на границе сварочный инструмент - проводник или проводник - проводник, записи акустической эмиссии (рис. 2 - 3).

Кинетику формирования соединений при УЗ-микросварке подобных образцов можно представить следующим образом. До включения ультразвуковых колебаний (УЗК) под действием статически приложенной нагрузки на инструмент из-за деформации проводника создается некоторая первоначальная площадь контактирования по разнице раздела инструмент – металлический проводник и металлический проводник – металлический проводник.

После включения УЗ-колебаний в результате активирующего действия ультразвука, снижающего предел текучести алюминия, облегчается пластическая деформация проводника и идет интенсивная осадка его, о чем свидетельствует резкое возрастание ширины контакта и интенсивности акустической эмиссии. При этом из-за наличия канавки (канавок) на рабочем инструменте процессы трения сначала идут, в основном, на контактной поверхности металлический проводник – металлический проводник, что и подтверждают экспериментальные данные по резкому возрастанию и последующему спаду R_K (рис. 2). На этой стадии в зоне трения происходит значительное тепловыделение, которое резко повышает температуру в зоне сварки (рис.3), способствуя ускоренной пластической деформации проводника.

Таким образом, УЗ-колебания при сварке, прежде всего, создают условия для быстрого формирования физического контакта. Одновременно с этим происходит активация контактных поверхностей, приводящая к образованию

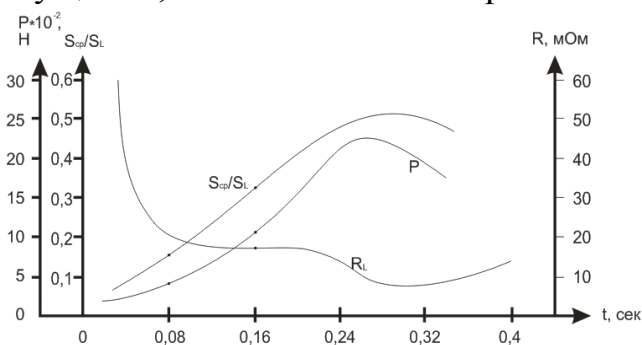


Рис. 2. Характер изменения прочности (P) и электросопротивления (R_k) контакта, отношения площади сварного соединения ($S_{св}$) к общей площади контакта S_k от времени (t) для контактных пар А1-А1 при УЗ-микросварке

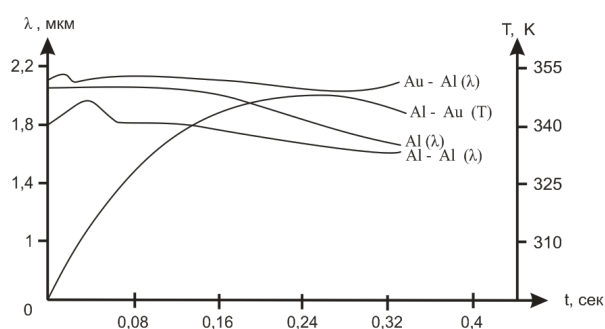


Рис. 3. Характер изменения температуры T и амплитуды колебаний (λ) для контактных пар при ультразвуковой сварке на кремниевой подложке

очагов взаимодействия в условиях пластической деформации алюминия. При осадке алюминиевого проводника окисная пленка на нем растрескивается и в зону контакта выходит чистый алюминий, растекание которого по поверхности способствует удалению из зоны сварки загрязнений и осколков окисных пленок.

При наличии УЗ колебаний в зоне контакта резко возрастают касательные напряжения за счет интенсивного перемещения трущихся поверхностей, что приводит к локализации пластической деформации в поверхностных слоях и резкому градиенту плотности структурных дефектов у контактной поверхности.

Под действием структурной и термической активации в зоне трения образуются первые дискретные очаги взаимодействия, разрастающиеся затем в результате протекания диффузионных процессов, которые значительно ускоряются в условиях пластической деформации проводника и трения его по поверхности контакта с одновременным наложением ультразвукового поля [3, 5]. Естественнo предположить, что при УЗ-микросварке под влиянием необычайно больших пластических деформаций в приконтактных слоях и кратковременных температурных всплеск, возникающих в зоне трения, первые очаги взаимодействия образуются при относительно небольшом увеличении температуры. Наличие первых очагов взаимодействия при очень малых временах сварки подтверждается экспериментально с помощью металлографических исследований [4], и, кроме того, контакты, полученные за такие малые времена сварки, обладают уже некоторой прочностью, но суммарная площадь очагов взаимодействия при этом мала (рис. 2).

В дальнейшем, с увеличением площади контактирования и плотности очагов взаимодействия, сопротивление перемещению металлического проводника верхнего слоя относительно микропроводника нижнего слоя возрастает настолько, что, в основном, происходит перемещение инструмента уже относительно верхнего проводника. При этом резко возрастает падение напряжения на границе раздела инструмент-проводник. Эта граница и является теперь источником тепла. Следует отметить, что температура в зоне сварки под действием обоих источников тепла, которые как бы меняются местами, все время растет до определенного момента (рис. 3).

Характерно, что при достижении максимальной температуры в зоне сварки происходит вторичная осадка проводника. Это хорошо подтверждается резким падением напряжения, а также резким падением R_K . Кроме того, этому временному интервалу соответствует наиболее интенсивный рост площади $S_{св}$, ($S_{св}/S_K$) и, соответственно, прочности сварки P (рис. 2). Причем максимальный прирост прочности сварки происходит, в основном, за время активной деформации проводника. Перегибы на кривых R_K соответствуют задержке по деформации проводника из-за деформационного упрочнения алюминия в процессе первичной осадки и резкого уменьшения удельного давления сварки из-за прироста площади контактирования свариваемых материалов при постоянной величине нагрузки на сварочный инструмент. С увеличением параметров УЗС отдельные стадии процесса накладываются друг на друга.

Выводы

Таким образом, исходя из рассмотренных закономерностей кинетики формирования микросоединения в процессе ультразвуковой сварки можно сделать вывод, что прочность и надёжность соединений на заданном в технической документации уровне обеспечивается технологическими факторами: усилием нагружения, мощностью импульса, временем сварки, а также свариваемыми материалами с соответствующими физико-химическими свойствами. Оптимальный режим процесса микросварки характеризуется достижением максимальной прочности соединения при минимальном электрическом сопротивлении контакта. При этом заметное влияние на параметры режима сварки оказывает состояние поверхности используемых материалов, соотношение размеров зоны контактной микросварки и микропроводников, конструктивные параметры гибкой печатной платы.

Список литературы: 1. *Борщов, В.Н.* Исследование и выбор оптимальных технологических режимов сварки для автоматизации монтажа гибких алюминий-полиимидных микрокабелей [Текст] / В.Н. Борщов, И.Ш. Невлюдов, М.А. Проценко, И.Т. Тымчук, И.С. Хатнюк // Технология приборостроения. - 2011.- №1.- С. 3 - 8. 2. *Гуськов, Г.Я.* Монтаж микроэлектронной аппаратуры [Текст] / Г.Я. Гуськов, Г.А. Блинов, А.А. Азаров.- М. : Радио и связь, 1986. - 175 с. 3. *Грачёв, А. А.* Ультразвуковая микросварка [Текст] / А. А. Грачёв, А. П. Кожевников, В. А. Лебига. - М. : Энергия, 1977. - 184 с. 4. *Балабанов, В. Т.* Технология создания плоских микромодулей для приборов бесконтактной идентификации [Текст] : автореф. дис. ... к.т.н. : 05.27.06 / В. Т. Балабанов ; [Московский гос. ин-т электронной техники]. – М., 2008. - 26 с. 5. *Заводян, А. В.* Анализ сборочно-монтажных процессов производства электронных средств [Текст] / А. В. Заводян, А. М. Грушевский. - М.: МИЭТ, 2005. - 200 с.

Поступила в редколлегию 27.01.2012

УДК 338.244:62.503.55:621.371

Л. И. НЕФЁДОВ, докт. техн. наук, проф., зав.каф., ХНАДУ, Харьков,
Ю. А. ПЕТРЕНКО, канд.техн.наук, доц., ХНАДУ, Харьков,
А. С. КОНОНЫХИН, ассис., ХНАДУ, Харьков

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СРЕДЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРОЕКТНОГО ОФИСА В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИНФОРМАЦИИ

У статті розглянута оцінка якості середовища функціонування проектного офісу в умовах високої невизначеності інформації за рахунок розробки моделей експертної оцінки вагових коефіцієнтів для різномірних екологічних чинників і функціональних зон.

Ключові слова: функціональна зона, екологічний фактор, проектний офіс, метод аналізу ієрархій

В статье рассмотрена оценка качества среды функционирования проектного офиса в условиях высокой неопределенности информации за счет разработки моделей экспертной оценки весовых коэффициентов для разнородных экологических факторов и функциональных зон.

Ключевые слова: функциональная зона, экологический фактор, проектный офис, метод анализа иерархий

In the article concerns the evaluation of environmental quality in the project office functioning under conditions of high uncertainty due to information modeling, expert assessment of weights for heterogeneous ecological factors and functional areas.

Keywords: functional area, ecological factors, project office, the method of hierarchy analyze

1. Введение

В современных городах постоянными спутниками даже здорового человека стали стрессы, усталость и недомогания, связанные как с его деловой активностью, так и с воздействием на организм различных экологических факторов.

По оценкам экспертов ВОЗ, городской житель проводит в помещениях почти 80% жизни. Исследователи, сравнивавшие воздух в офисах и жилых помещениях с городским воздухом, установили, что первые в 4-6 раз грязнее и в 8-10 раз токсичнее. Загрязнения воздуха в помещениях принято разделять на два типа - химические и микробиологические. В настоящее время известно около 1000 химических и биологических видов загрязнений, обнаруженных в воздухе помещений. Загрязнения воздуха в закрытых пространствах могут вызвать заболевания разной степени тяжести, начиная от простого недомогания и головной боли и заканчивая сильной аллергией и онкологической патологией [1].

Кроме того, на здоровье человека, много времени проводящего в офисном помещении, могут воздействовать и другие экологические факторы, снижающие комфортные условия его жизнедеятельности. К ним относятся техногенные

воздействия электромагнитных излучений, шума и вибрации, а также такие природные воздействия, как инсоляция и естественное освещение.

2. Постановка проблемы в общем виде и анализ литературы

Оценка экологического состояния помещения офиса включает в себя сбор объективных данных о состоянии окружающей среды в районе расположения здания, определение типа имеющихся вентиляционных устройств или кондиционеров, внутренний осмотр помещения, проведение инструментальных исследований с помощью соответствующих приборов основных экологических параметров обследуемого помещения, выделение и классификацию характерных зон, определение критического экологического фактора соответствующей зоны или группы неблагоприятных факторов для каждой зоны.

Исходными данными для экологической экспертизы офиса служат его размеры, число окон и отопительных устройств, характерные основные зоны продолжительного нахождения людей: рабочая зона, служебная, зона отдыха. Для выявленных зон продолжительного нахождения людей определяют их расположение относительно окон, отопительных и вентиляционных систем, узлов электропитания, а также перечень основной мебели, приборов и оборудования, входящих в данную зону. По результатам осмотра составляют общий план помещения с обозначением на нем выявленных зон продолжительного нахождения людей.

Для создания комфортных условий на рабочем месте в проектом офисе необходимо тщательно изучить и оценить текущее экологическое состояние офиса по всем экологическим факторам (ЭФ) и выработать решение по улучшению качества экологической среды. Для решения поставленной задачи возникает необходимость создания информационной технологии управления качеством экологической среды функционирования офиса. В состав такой технологии входят: модели анализа, оценки и выбора офисного помещения; модели анализа и оценки ЭФ и их предельно-допустимых уровней; модели анализа и оценки источников экологических факторов; модели анализа и оценки среды их распространения; методы построения зон комфорта и дискомфорта по каждому ЭФ и по всем одновременно; модели анализа и оценки зон комфорта и дискомфорта по выбранным критериям (площадь, количества в них сотрудников и т.д.); модели и методы выбора решений по повышению качества экологической среды функционирования проектного офиса.

Информационная технология управления качеством экологической среды функционирования офиса позволит:

- оценить среду функционирования офиса и степень влияния экологических факторов на здоровье сотрудников и состояние окружающей среды;
- проанализировать негативное влияние экологических факторов;
- выбрать эффективное планировочное решение.

При рассмотрении проблемы создания комфортных условий в офисах рассматриваются модели [2-3] оценки по каждому фактору в отдельности. Вопросу комплексной оценки по всем факторам одновременно уделяется мало внимания.

Цель статьи: повышение качества экологической среды функционирования офиса за счет разработки моделей экспертной оценки весовых коэффициентов для разнородных ЭФ функциональных зон (ФЗ) офиса.

3. Результаты исследования

Исходя из общей методологии управления проектами [4, 5], рассмотрим задачу управления качеством экологической среды функционирования офиса, которая включает следующие этапы.

1. Констатирование (постановка) проблем, т.е. определения факта превышения ЭФ над допустимыми санитарными нормами. Это определяется в ходе экологической экспертизы помещения офиса. На этом этапе выбираются расчетные точки в соответствующих функциональных зонах, определяется значение по каждому ЭФ, а также уровень превышения их над предельно допустимым значением и определяют зоны комфорта и дискомфорта.

2. Определение причин проблемы (диагноз). Для решения задач этого этапа используется технология анализа и оценки ЭФ, общая задача которого состоит в следующем [2]: известно множество ЭФ, которые имеют место в офисе и множество источников возникновения ЭФ $I = \{i_{fi}\}$ (где $f = \overline{1, f'}$ количество ЭФ, $n = \overline{1, n'}$, n' - количество источников f -го ЭФ). Известны параметры всех источников ЭФ.

Задано множество расчетных точек $X = \{x_r\} (r = \overline{1, r'})$, которые находятся в помещении офиса.

Надо определить:

- для любой расчетной точки $x_r (r = \overline{1, r'})$ значение f -го ЭФ от каждого источника Z_r^{fi} , значение комплексной оценки $Z_{\text{компл.}r}^f$ по всем источникам одновременно для f -го ЭФ, а также некую интегральную оценку Z_r^Σ для всех ЭФ и от всех источников;
- для каждого источника f -го ЭФ i_{fi} и всех источников одновременно зоны комфорта и дискомфорта и рассчитать их характеристики.

Значение $Z_{\text{компл.}r}^f$ f -го ЭФ, который имеет волновую природу распространения, в любой точке $x_r (r = \overline{1, r'})$ от всех источников его возникновения i_{fi} находится как энергетическая сумма значений уровней в результате прямолинейного распространения, отраженных от каких-либо препятствий и поверхностей, прошедших через них и дифрагирующих, т.е. криволинейных, огибающих препятствия на пути распространения. Чаще всего наибольший вклад получают за счет прямолинейного распространения. Значение $Z_{\text{компл.}r}^f$ f -го ЭФ, который имеет другую природу (химические вещества, пыль, бактериологическое загрязнение, концентрация положительных и отрицательных ионов и т.д.), в любой точке $x_r (r = \overline{1, r'})$ от всех источников его возникновения i_{fi} определяется законами диффузии и конвекцией воздуха.

Для получения интегральной оценки Z_r^Σ для всех ЭФ от всех источников аналитических методов не существует из-за различия физических и химических

свойств ЭФ. Для этой цели предлагается графический метод, когда графические проекции зон дискомфорта от каждого ЭФ и их источников накладываются друг на друга. Тогда одним из экспертных методов определяется интегральная оценка Z_r^Σ в заданной точке.

Математическое обеспечение этапа включает: базы моделей источников ЭФ; базы моделей распространения ЭФ в реальной среде; алгоритмы расчета значений ЭФ в расчетных точках; метод графической оценки зон комфорта и дискомфорта; алгоритмы расчета критериев зон комфорта и дискомфорта.

Как результат этого этапа должна быть сформулирована общая цель для достижения – обеспечение комфортных условий функционирования проектного офиса.

3. Следующим этапом является генерация решений и выбор эффективного из них для достижения поставленной на предыдущем этапе цели. Для этого рассмотрим постановку задачи генерация решений и выбор эффективного из них [3].

Существуют три основных принципа Π защиты от ЭФ: в источнике возникновения – Π_1 ; на пути распространения – Π_2 ; в защищаемом объекте (на рабочем месте) – Π_3 .

Общая задача заключается в выборе такого набора принципов $p' \in \Pi$ и соответствующего им набора видов средств и мероприятий защиты $s' \in S$ с параметрами $p' \in P$, при которых обеспечивается устойчивость основных видов жизнедеятельности по всем ЭФ с учетом ресурсов и достигаются экстремальные значения следующих критериев [3]:

– максимальное число людей, для которых обеспечивается устойчивость жизнедеятельности по всем ЭФ

$$N(p'_1, f'_1, p'_1) = \max N(p, f, p) ; \quad (1)$$

– максимальное качество средств или мероприятий защиты от ЭФ

$$Q(p''_2, f''_2, p''_2) = \max Q(p, f, p) ; \quad (2)$$

– минимальные затраты ресурсов на средств или мероприятий защиты от ЭФ

$$C(p'''_2, f'''_2, p'''_2) = \min C(p, f, p) . \quad (3)$$

При ограничениях

$$p' \in \Pi ; s' \in S(p') ; p' \in P . \quad (4)$$

Ввиду большой сложности и размерности общей задачи (1)-(4) она сводится к двум более простым частным задачам.

Первая частная задача заключается в выборе видов средств защиты или мероприятий $s' \in S(p')$ и параметров $p' \in P$ при заданных принципах p' .

Вторая частная задача состоит в выборе параметров $p' \in P$ при заданных принципах p' и видах средств защиты s' .

Основные трудности решения поставленной задачи связаны со следующими особенностями: большой размерностью задачи, разнообразием принципов, видов

средств и мероприятий защиты и возможных значений их параметров, а также с неоднородностью, несвязанностью и сложностью областей допустимого размещения; многокритериальностью; трудностью формализации архитектурно-композиционных и планировочных требований. Все это значительно усложняет решение задачи в общем виде, как с математической, так и с вычислительной точки зрения.

С целью разработки технологии структурно-параметрического синтеза средств защиты [2, 3] рассмотрим задачи определения коэффициентов важности ЭФ: v_f , v_{fj} (где $f = \overline{1, f'}$ – индекс ЭФ при условии однородности функциональной зоны, а $j = \overline{1, m}$ – индекс функциональной зоны).

Одной из основных трудностей применения моделей такого расчета есть представление сравнений в виде числовых значений по некоторой шкале. Любой метод такого представления должен удовлетворять многим критериям. Он должен правильно отображать те рассуждения, которые проявляются в результатах сравнения. Некоторая неопределенность в сравнениях не должна сильно влиять на соответствующее числовое значение, и наоборот, значительная разница в сравнениях должна отображаться настолько же значительным разбросом на числовой шкале.

Кроме того, модель должна давать близкие результаты при небольших отклонениях в числовом представлении сравнений.

Обычно при числовых попарных сравнениях двух сложных элементов не так просто бывает передать в виде точных цифр, на сколько влияние одного из элементов на достижение некоторой цели больше, чем другого. Само назначение цифр нередко кажется искусственным. Поэтому нужна систематическая процедура распределения элементов за разными рангами важности или приоритетности и присвоением каждому элементу соответствующего ранга своего числового знания.

Чтобы представить результат сравнения двух элементов в виде конкретных цифр, нужно глубокое понимание характеристик обоих сравниваемых элементов и особенно того, в какой мере их свойства влияют на достижение цели. Предусматривается, что источником для сравнений является опрос экспертов, знакомых со сравниваемыми элементами, с общей целью и их взаимосвязью. Сами сравнения указывают на относительную важность или приоритетность одного объекта по сравнению с другим с точки зрения достижения цели [6].

Рассмотрим сначала задачу определения весовых коэффициентов v_i ($i = \overline{1, n}$) для моделей при наличии разных по происхождению ЭФ и однородной функциональной зоны (ФЗ): “Какие из ЭФ существенно влияют на данную функциональную зону?”. То есть, для решения конечной задачи: “Какие именно средства или мероприятия защиты необходимо разработать для данной функциональной зоны в первую очередь?”.

На первом (верхнем) уровне находится общая цель – “Определение весовых коэффициентов (ВК) различных ЭФ для однородной функциональной зоны” (рис.1).

На втором уровне находятся критерии, которые уточняют цель (цель): $K_1, K_2, \dots, K_p$. Это могут быть, например, для ЭФ химическая природа, количественный показатель – гранично-допустимая концентрация, условия распространения ЭФ (летучесть, растворимость и т.п.) и тому подобное.

На третьем (нижнему) уровне находятся ЭФ: $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_f$, которые должны быть оценены.

Для оценки ЭФ необходимо получить относительную информацию о их степени вредности. Она может быть получена при помощи экспертных оценок. Для получения количественной оценки степени вредности ЭФ введем переменную «вредный ЭФ», определенную на дискретном множестве из f факторов.

Для получения матриц попарного сравнения W опрашивают экспертов, о том, на сколько по их мнению, фактор Φ_1 более соответствует содержанию «вредный ЭФ», чем фактор Φ_2 и так по каждому фактору. Для выставления оценок W эксперт при помощи шкалы Т. Саати сравнивает вредность пары факторов.

В качестве коэффициентов, полученных в результате экспертной оценки, принимают компоненты собственного вектора матрицы попарных сравнений W .

Пусть $\vec{r}$ - максимальный собственный фектор матрицы W . С целью вычисления его компонент решим уравнение

$$W \cdot \vec{r} = \lambda \cdot \vec{r}, \quad (5)$$

где λ - собственное число матрицы W .

Препишем уравнение в координатной форме

$$\begin{cases} W_{11} \cdot r_1 + W_{12} \cdot r_2 + W_{13} \cdot r_3 + \dots + W_{1f} \cdot r_f = \lambda \cdot r_1 \\ W_{21} \cdot r_1 + W_{22} \cdot r_2 + W_{23} \cdot r_3 + \dots + W_{2f} \cdot r_f = \lambda \cdot r_1 \\ W_{31} \cdot r_1 + W_{32} \cdot r_2 + W_{33} \cdot r_3 + \dots + W_{3f} \cdot r_f = \lambda \cdot r_1 \\ \dots \\ W_{f1} \cdot r_1 + W_{f2} \cdot r_2 + W_{f3} \cdot r_3 + \dots + W_{ff} \cdot r_f = \lambda \cdot r_f \end{cases} \quad (6)$$

и канонической форме

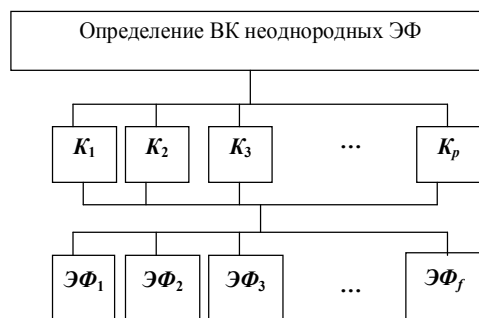


Рис. 1. Декомпозиция задачи определения ВК разных по происхождению ЭФ для однородной функциональной зоны

	Φ_1	Φ_2	Φ_3	...	Φ_f
Φ_1	1	W_{12}	W_{13}	...	W_{1f}
Φ_2	$1/W_{12}$	1	W_{32}	...	W_{2f}
Φ_3	$1/W_{13}$	$1/W_{23}$	1	...	W_{3f}
...	...	...	...	...	...
Φ_f	$1/W_{1f}$	$1/W_{2f}$	$1/W_{3f}$	...	1

Рис. 2. Матрица попарных сравнений ЭФ по вредности

$$\begin{cases} (1-\lambda) \cdot r_1 + W_{12} \cdot r_2 + W_{13} \cdot r_3 + \dots + W_{1f} \cdot r_f = 0 \\ W_{21} \cdot r_1 + (1-\lambda) \cdot r_2 + W_{23} \cdot r_3 + \dots + W_{2f} \cdot r_f = 0 \\ W_{31} \cdot r_1 + W_{32} \cdot r_2 + (1-\lambda) \cdot r_3 + \dots + W_{3f} \cdot r_f = 0 \\ \dots \\ W_{f1} \cdot r_1 + W_{f2} \cdot r_2 + W_{f3} \cdot r_3 + \dots + (1-\lambda) \cdot r_f = 0 \end{cases} \quad (7)$$

Также данную систему можно записать в матричной форме

$$(W - \lambda \cdot E) \vec{r} = 0, \quad (8)$$

где E – единичная матрица f -ого порядка.

Известно, что система однородных линейных уравнений имеет ненулевое решение только в случае, когда определитель соответствующей матрицы равен нулю

$$\det(W - \lambda \cdot E) \vec{r} = 0. \quad (9)$$

Разложив этот определитель, получим характеристическое уравнение f -ой степени относительно λ . Решение этого уравнения даст f значений λ .

Затем необходимо найти компоненты собственного вектора матрицы W , отвечающего $\lambda_{\max}$, для чего необходимо решение системы однородных уравнений

$$(W - \lambda_{\max} \cdot E) \vec{r} = 0. \quad (10)$$

В некоторых задачах количество элементов, которые сравниваются на уровне 3, может быть большой ($n > 9$). Кроме того, возможные трудности в сравнении некоторых из них попарно. В этом случае вводятся субкритерии на третьем уровне: $СК_1, СК_2, СК_l$, которые объединяются в группы не больше чем 9 элементов ЭФ на четвертом уровне (рис.3). Например, для $СК_l$: $\Phi_{1l}, \Phi_{12}, \Phi_{lr}$, аналогично – для остальных.

При этом, для каждого ЭФ проверяют, какой из субкритериев описывает его наилучшим образом, и принимается приоритет этого субкритерия, понятно, что общее количество ЭФ на уровне 4 не меньше n , то есть: $r_1 + r_2 + \dots + r_i \geq n$.

Следующей задачей является задача определения весовых коэффициентов $v_{jf} (j = \overline{1, m})$

функциональных зон для моделей синтеза мероприятий и средств защиты для f -го ЭФ и j -й функциональной зоны.

Построим иерархическое представление данной задачи: “Какая функциональная зона нуждается в наибольшей защите с точки зрения экологической безопасности?” (рис. 4).

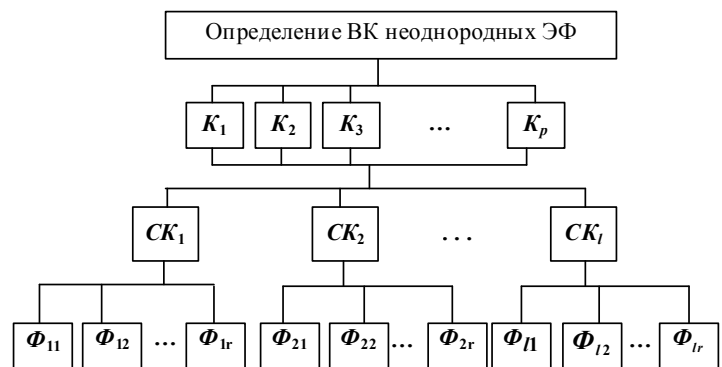


Рис. 3. Декомпозиция определения ВК разных по происхождению ЭФ для однородной функциональной зоны при наличии субкритериев $СК$

На первом уровне находится цель – “Определение весовых коэффициентов функциональных зон”. Как и раньше, на втором уровне находятся критерии, которые уточняют цель: $K_1, K_2, \dots, K_\eta$. Это могут быть критерии, которые характеризуют отдельные функциональные зоны по предельно допустимым нормам.

На третьем уровне находятся

функциональные зоны проектного офиса. Отметим, что в общем случае связи между элементами второго и третьего уровней могут быть неполными. Таким

образом, обоснованно применение рассмотренных методов в зависимости от полноты и определенности информации.

4. Подготовка реализации проектного решения. На этом этапе выбираются мероприятия и очередность их выполнения (план мероприятий). Для выполнения этого этапа эффективным средством является «ЧКГККП», что означает Что? Кто? Где? Когда? Как? Почему? Это средство позволяет охватить всесторонне этот этап, т.е. полностью «сканировать» его причину или само решение, задавая все вопросы, которые позволяют не оставить ни одного элемента в тени.

Порядок вопросов «ЧКГККП» является в принципе логичным. Тем не менее, в зависимости от поставленной проблемы, может использоваться иной порядок. С другой стороны, для каждого из вопросов (Что? Кто? ...) полезно задаваться вопросом «Сколько?» с тем, чтобы измерить полноту полученного ответа.

5. На этапе непосредственной реализации составляется реестр сроков реализации (календарный график) мероприятий, который позволяет продемонстрировать наглядно (графически) логическую последовательность, зависимость и параллельность различных этапов деятельности, чтобы достигнуть в установленные сроки поставленной цели. Утверждение реестра сроков выполнения является фундаментальным элементом, когда приступают к реализации мероприятий.

Заключительным этапом является оценка и завершение проекта. Оценка результата реализованного проекта заключается в проведении мониторинга среды функционирования.

Таким образом, возникает обратная связь и при необходимости проводится коррекция полученного проекта. Если оценка показала, что проект достиг заданных целей, т.е. уровень качества экологической среды функционирования проектного офиса достиг требуемых величин, то проводится перспективный анализ возможных причин его ухудшения и при необходимости вырабатываются мероприятия по устранению этих причин.

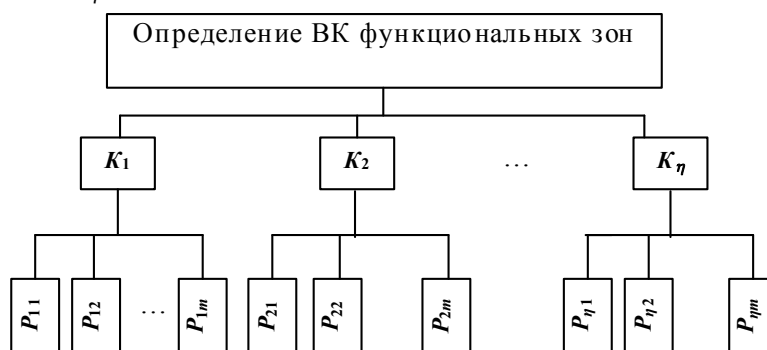


Рис. 4. Декомпозиция задачи определения весовых коэффициентов функциональных зон, которые испытывают влияние от f -го ЭФ

Рассмотрим пример определения весовых коэффициентов функциональных зон проектного офиса в зависимости от следующих критериев освещенности:

- цветопередача;
- распределение яркости;
- уровень освещения;
- температурные характеристики;
- бликование.

В качестве функциональных зон рассматривается:

- кабинет руководителя - №1;
- рабочая зона -№2 ;
- зона отдыха - №3.
- зона совещаний- №4;

В таблице 1 приведены попарные сравнения ФЗ по цветопередаче.

Таблица 1. Попарные сравнения ФЗ по цветопередаче

	№1	№2	№3	№4	Приоритет
№1	1	1/3	7	3	0,2763
№2	3	1	7	5	0,3754
№3	1/3	1/7	1	1/7	0.0394
№4	1/3	1/5	7	1	0,1404

В таблице 2 приведены попарные сравнения ФЗ по распределению яркости.

Таблица 2. Попарные сравнения ФЗ по распределению яркости

	№1	№2	№3	№4	Приоритет
№1	1	1/3	5	1/3	0,2201
№2	1	1	5	1/3	0,2201
№3	1/5	1/5	1	1/5	0.0579
№4	3	3	5	1	0,5017

В таблице 3 приведены попарные сравнения ФЗ по уровню освещения.

Таблица 3. Попарные сравнения ФЗ по уровню освещения

	№1	№2	№3	№4	Приоритет
№1	1	1/3	5	2	0,3619
№2	1	1	5	2	0,3619
№3	1/5	1/5	1	1/5	0.0608
№4	1/2	1/2	5	1	0,2152

В таблице 4 приведены попарные сравнения ФЗ по температурным характеристикам.

Таблица 4. Попарные сравнения ФЗ по температурным характеристикам

	№1	№2	№3	№4	Приоритет
№1	1	1/3	2	1/3	0,1463
№2	3	1	2	1/3	0,2534
№3	1/2	1/2	1	1/3	0.1144
№4	3	3	3	1	0,4857

В таблице 5 приведены попарные сравнения ФЗ по блицированию.

Таблица 5. Попарные сравнения ФЗ по блицированию

	№1	№2	№3	№4	Приоритет
№1	1	1	5	3	0,3921
№2	1	1	5	3	0,3921
№3	1/5	1/5	1	7	0.1449
№4	1/3	1/3	1/7	1	0,0707

Попарно сравним ФЗ по каждому критерию и всем одновременно, используя математический аппарат метода анализа иерархий получили следующие значения весовых коэффициентов важности ФЗ с точки зрения экологической безопасности:

- для рабочей зоны – 0,3542;
- для зоны совещаний – 0,2827;
- для кабинета руководителя – 0,2793;
- для зоны отдыха – 0,0835

Таким образом, с точки зрения экологической безопасности необходимо рассмотреть сначала рабочую зону, потом зону совещаний, кабинет руководителя и зону отдыха.

4. Выводы

В работе проведен анализ известных методов экспертной оценки и предложена методология для управления качеством экологической среды функционирования проектного офиса.

Получил дальнейшее развитие метод анализа иерархий за счет его распространения на новую предметную область - управления качеством экологической среды функционирования проектного офиса в условиях высокой неопределенности информации.

Список литературы: 1.Экология офиса. Создание комфортных условий в рабочих помещениях [Электронный ресурс] / Санкт-Петербургский центр гигиены и эпидемиологии «Эконтроль»–Режим доступа: http://www.ekontrol.ru/info/id_77 – Загл. с экрана. 2.Коржик Б.М. Моделі аналізу та оцінки рівня шуму/ Б.М. Коржик, А.Л. Нефьодова, Ю.А. Петренко // Науковий вісник будівництва. - Харків: ХДТУБА, 1998, Вип. 3.- С. 162-169. 3.Нефедов Л.И. Модели структурно-параметрического синтеза средств защиты от шума/ Л.И. Нефедов, Ю.А. Петренко, А.Л. Нефедова // Науковий вісник будівництва. – 1999. - Вип. 7. - С. 113-117. 4. Модели и методы синтеза офисов по управлению программами и проектами: монография / [Л.И. Нефёдов, Ю.А. Петренко, Т.В. Плугина и др.]– Харьков: ХНАДУ, 2010 – 344 с. 5.Управление проектами / И.И. Мазур, В.Д. Шапиро, С.А. Титов и др. Справочное пособие / Под ред. И.И. Мазура и В.Д. Шапиро. – М.: Высшая школа, 2001. – 875 с. 6. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий/ Т. Саати – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.

Поступила в редколлегию 03.01.2012

УДК 65.012.123

Л. І. НЕФЬОДОВ, докт. техн. наук, проф., зав.каф., ХНАДУ, Харків,
Д.О. МАРКОЗОВ, асис., ХНАДУ, Харків

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОПИТУ НА ТОВАРИ

У статті розроблено математичну модель прогнозування вірогідного попиту на

багатономенклатурні товари. Показано, що дана модель дозволяє спрогнозувати попит на значні періоди часу та створити раціональний багатономенклатурний запас товарів.

Ключові слова: математична модель, попит, невизначеність, прогноз.

В статье разработана математическая модель прогнозирования вероятного спроса на многономенклатурные товары. Показано, что данная модель позволяет спрогнозировать спрос на значительные периоды времени и создать рациональный многономенклатурных запас товаров.

Ключевые слова: математическая модель, спрос, неопределенность, прогноз.

In the article developed mathematical model prediction of the likely demand for goods. It is shown that this model can predict the demand for considerable periods of time and create a rational stock of goods.

Keywords: mathematical model, demand uncertainty, goods, forecast.

1. Вступ

В умовах ринкових відносин, що супроводжуються конкуренцією, невизначеністю економічної та фінансової ситуації, прогнозування попиту на товари різних типів та видів отримує першорядну значущість для ефективної роботи виробничих та торговельних підприємств. Незважаючи на важливість даної проблеми при плануванні закупок товару, керівники підприємств досить часто формують прогноз майбутнього попиту, спираючись тільки на суб'єктивний аналіз попередньої діяльності організації, що у практичній діяльності може призвести до значних фінансових втрат.

У зв'язку із цим, постає проблема розробки та впровадження в роботу торговельної організації математичних моделей та методів управління запасами, що потребує досить точно прогнозувати вірогідний попит на багатономенклатурні товари.

2. Аналіз публікацій

Прогнозування попиту на різні групи товарів було і залишається досить актуальною задачею як для виробничих, так і для торговельних організацій. У зв'язку із цим, аналізу різних аспектів даного питання присвячені дослідження таких вчених як Раскин Л. Г., Пустовойтов П. Е., Кузнецов Л. А., Назаркин О. А., Гордієнко О. С., Нефьодов Л. І. [1 - 4] та багатьох інших. У той же час, огляд наукових публікацій свідчить, що існуючі математичні моделі та методи прогнозування вірогідного попиту на багатономенклатурні товари не завжди дозволяють прийняти ефективне управлінське рішення в умовах різного ступеня невизначеності початкової інформації. Проблема полягає у тому, що у практичній діяльності без необхідної аргументації використовуються окремі математичні моделі або методи розрахунку вірогідного попиту, які не дозволяють адекватно та оперативно отримувати достовірну інформацію.

Виходячи із вище сказаного, актуальність даного дослідження обумовлена тим, що без розробки та використання ефективних методів прогнозування вірогідного попиту на багатономенклатурні товари, що будуть включати в себе комбінацію математичних моделей та методів, неможлива ефективна робота торговельної організації.

3. Мета і постановка задачі

Метою даного дослідження є підвищення ефективності роботи торговельної організації за рахунок розробки та впровадження математичної моделі прогнозування попиту. Результатом використання даної моделі буде визначення майбутнього попиту на товари різних типів та видів, що дозволить мінімізувати витрати, а отже підвищить прибуток підприємства.

Для досягнення даної мети необхідно вирішити наступні задачі: проаналізувати сутність проблеми прогнозування попиту на товари; розглянути існуючі моделі та методи вирішення даної проблеми; розробити математичну модель прогнозування вірогідного попиту в умовах різного ступеня невизначеності початкової інформації.

4. Модель прогнозування вірогідного попиту

Прогнозування будь-яких процесів починається із збору та обробки статистичних даних, які демонструють розвиток у часі явища, що вивчається. Для здійснення прогнозу відносно майбутнього попиту на багатомономенклатурні товари, перш за все, необхідно зібрати інформацію про попередні об'єми та асортимент реалізованої продукції за певні періоди часу (тиждень, місяць, рік) та також інші дані, в залежності від завдань, що стоять перед дослідником.

Дослідження, що описано у даній роботі, було проведено для оптової компанії, яка є дистриб'ютором. Для розрахунку вірогідного попиту використовувалися дані про попередню реалізацію товару, з періодом деталізації один тиждень. Ці дані надходять до дистриб'ютора із складів великих супермаркетів та роздрібних магазинів. На основі отриманої інформації формується сумарний попит на товари. Прогноз попиту розраховується на наступні десять тижнів. Цей процес буде безперервним. Після закінчення першого прогнозованого тижня, дані про реальні продажі переносяться до інформації про реалізацію товару і прогноз автоматично перераховується.

Відомо:

- множину типів товарів $i = \overline{1, N}$;
- для кожного типу – множину видів $v = \overline{1, \theta}$ товарів;
- статистичні дані з реалізації товару i -го типу v -го виду за попередні періоди $[t_l; t_r]$;

Необхідно визначити інтервальну оцінку попиту на товар i -го типу v -го виду $S_{iv} \in [S_{iv}^H, S_{iv}^B]$ на період $[t_{ol}; t_{on}]$, де $t_{ol} > t_r$.

Проведене дослідження [5, 6] показало, що для розрахунку вірогідного попиту на продовольчі товари доцільно застосовувати моделі часового ряду, серед яких існує дві основні: адитивна (1) і мультиплікативна (2).

$$Y_t = T_t + S_t + e_t \quad (1)$$

$$Y_t = T_t \times S_t + e_t \quad (2)$$

де t – час (тиждень або інший період деталізації);

Y_t – значення величини часового ряду в t -й період;

T_t – значення тренду попиту в t -й період;

S_t – значення сезонних змін в t -й період;

e_t – значення шуму в t -й період.

Використання адитивної моделі (1) відповідає ситуації, коли попит рівномірний. У нашому дослідженні, коливання попиту мають сезонний та стохастичний показник, що визначає необхідність застосування мультиплікативної моделі (2).

У практичних завданнях виділити точний (вірніше, «майже точний») тренд T_t може виявитися технічно дуже складно [7]. Тому ми будемо розглядати наближені тренди. Для мультиплікативної моделі найбільш доцільний спосіб отримання наближеного тренду – згладжування ряду методом ковзної середньої [8] з періодом згладжування, що дорівнює максимальному періоду сезонних коливань. Згладжування майже повністю усуне сезонні коливання і шум. Формула ковзної середньої з періодом згладжування t :

$$M_t = \frac{1}{t} \sum_{i=t_1}^{t_2} Y_i \quad (3)$$

де M_t – значення ковзної середньої в t -й період;

Існують випадки з динамікою продажів, де довжина повного періоду не тільки не дорівнює року, але й «плаває». У таких ситуаціях, скоріше за все, коливання викликані не сезонними змінами, а якимись іншими, більш потужними чинниками.

Прологарифмуємо рівняння мультиплікативної моделі (2), і якщо шум e_t має мале значення, то його можна не враховувати:

$$\ln(Y_t) = \ln(T_t \times S_t) \quad (4)$$

Якщо розкрити логарифм, то отримаємо адитивну модель, яка є більш простою для розрахунку.

$$\ln(Y_t) = \ln(T_t) + \ln(S_t) \quad (5)$$

Тепер необхідно виділити тренд ковзної середньої за період t . Після чого його треба спрогнозувати на наступний період $[t_{\delta 1}; t_{\delta n}]$. Прогноз можна отримати методом параметричної апроксимації. В якості функцій наближення будемо використовувати наступні:

Лінійна функція: $y(t) = a + b \times t$.

Логарифмічна функція: $y(t) = a + b \times \ln(t)$.

Поліном п'ятого ступеня: $y(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + a_4 t^4 + a_5 t^5$.

Степенева функція: $y(t) = a \times t^b$.

Експоненціальна функція: $y(t) = a \times e^{b \times t}$.

Точність наближення будемо оцінювати за величиною достовірності апроксимації апроксимації R^2 :

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{t=t_1}^{t_2} [y(t) - \hat{y}_t]^2}{[\sum_{t=t_1}^{t_2} y(t)^2] - [\sum_{t=t_1}^{t_2} y(t)]^2 / t} \quad (6)$$

де $\hat{y}_t$ – реальне значення функції попиту в t -й період;

Отже, ми отримали логарифмічний прогноз тренда продажів товару на наступний період $[t_{\delta 1}; t_{\delta n}]$. Тепер можна зробити прогноз самого показника попиту на багатоміноміклатурні товари.

Так як розроблена нами функція попиту має сезонні та стохастичні коливання, то для розрахунку попадання значення прогнозу у заданий діапазон необхідно використовувати методи обробки даних, що призначені для роботи з величинами, які не підпорядковуються нормальному закону розподілу вірогідності здійснення прогнозу.

Більшість проаналізованих методів відновлення функції розподілу вірогідності вимагають великої кількості даних і є неприйнятними для малих вибірок. Тому виникає необхідність в ефективному методі побудови функції розподілу вірогідності випадкової величини, інформацію про яку можна знайти у малій вибірці.

Аналіз існуючих методів показав [9], що у нашому випадку найбільш прийнятним є метод вкладів з використанням бета-розподілу. Сутність даного методу полягає у тому, що кожному вибіркового значенню величини попиту S_{iv} ставиться у відповідність певна безперервна функція $\varphi_t(S_{iv})$. Дана функція називається функцією вкладів і в якості вкладів використовується бета-функція [10].

$$\varphi_t(S_{iv}) = c'_{n'} (S_{iv} - a')^{n_{iv}-1} (b' - S_{iv})^{m_{iv}-1},$$

$$\text{де } c'_{n'} = \frac{\Gamma(n_{iv} + m_{iv})}{(b' - a')^{n_{iv} + m_{iv} - 1} \Gamma(n_{iv}) \Gamma(m_{iv})}; \quad (7)$$

де $a' < S_{iv} < b'$ – область існування величини попиту;

Числовим експериментом отримані наступні оцінки параметрів часткових бета-вкладів [10]:

$$n_{iv} = 1 + \frac{5,7\tau^{0,5254}}{\frac{b' - S_{iv}}{S_{iv} - a'} + 1}; \quad m_{iv} = 1 + 5,7\tau^{0,5254} - n_{iv} \quad (8)$$

$$a' = S_{iv}^{\min} - \frac{0,3996\tau^{-0,2335} (S_{iv}^{\max} - S_{iv}^{\min})}{1 - 0,6286\tau^{-0,2380} - 0,3996\tau^{-0,2335}} \quad (9)$$

$$b' = S_{iv}^{\min} + \frac{(1 - 0,3996\tau^{-0,2335}) (S_{iv}^{\max} - S_{iv}^{\min})}{1 - 0,6286\tau^{-0,2380} - 0,3996\tau^{-0,2335}} \quad (10)$$

де τ – кінцеве значення предісторії;

$S_{iv}^{\min}, S_{iv}^{\max}$ – відповідно найменше та найбільше вибірконе значення попиту.

Для розрахунку гамма функції використаємо апроксимацію [...]:

$$\Gamma\left(1 + \frac{1}{\{\beta\}}\right) \approx 1 - 0,427(\{\beta\} - 1) \cdot \{\beta\}^{1,9} \quad (11)$$

де $\{\beta\}$ – дробна частина аргументу Γ -функції.

В загальному випадку розрахунки гамма-функції по будь-якому аргументу проводяться за формулою:

$$\Gamma\left([z] + \frac{1}{\{\beta\}}\right) \approx (1 - 0,427(\{\beta\} - 1) \cdot \{\beta\}^{1,9}) \cdot \prod_{u=1}^{[z]-1} \left\{ [z] + \frac{1}{\{\beta\}} - u \right\} \quad (12)$$

де $[z]$ – ціла частина числа; $u = \overline{1; [z] - 1}$ – натуральне число.

Підсумкова щільність розподілу у точці S_{iv} розраховується по формулі:

$$f(S_{iv}) = \frac{1}{t_\tau} \sum_{t=t_1}^{t_\tau} \varphi_t(S_{iv}). \quad (13)$$

Після отриманої щільності розподілу, необхідно розрахувати діапазон прогнозованого попиту і його довірчу вірогідність. Використовуючи щільність розподілу вірогідності попиту у точці, можна розрахувати вірогідність того, що подія відбудеться у заданому інтервалі.

$$P(f(S_{iv})) = \int_{-\infty}^{\infty} f(S_{iv}) dS_{iv} = 1. \quad (14)$$

Для даного розрахунку будемо використовувати метод прямокутників. Якщо відрізок $[S_{iv}-1, S_{iv}]$ є елементарним і не піддається подальшому розбиттю, значення інтеграла можна знайти за формулою прямокутників:

$$\int_{S_{iv}-1}^{S_{iv}} f(S_{iv}) dS_{iv} \approx f\left(\frac{S_{iv}-1+S_{iv}}{2}\right) = f\left(S_{iv} - \frac{1}{2}\right). \quad (15)$$

У нашому випадку, мінімальний крок розрахунку вірогідності (довжина відрізка $[S_{iv}-1; S_{iv}]$) дорівнює 1.

Для отримання значень довірчої вірогідності виключаємо з розрахунку точки, що розташовані у найбільшому видаленні від медіани вибірки, та вірогідність в яких менше вірогідності виникнення одиничної події.

З урахуванням отриманої вірогідності розподілу продажів товарів, можна розрахувати діапазон прогнозованого попиту при довірчій вірогідності 92%.

Для перевірки працездатності та точності розрахунку вірогідного попиту проведемо розрахунки попиту на прикладі продовольчих товарів.

Статистичні дані з реалізації товару за попередні 42 тижні зведемо у таблицю 1, а також представимо у вигляді графіка (рис. 1).

Таблиця 1. Сумарні статистичні дані по реалізації товару за попередні 42 тижні

Тиждень	Об'єм реалізації, ящ.	Тиждень	Об'єм реалізації, ящ.	Тиждень	Об'єм реалізації, ящ.
1	533	15	554	29	572
2	544	16	552	30	567
3	556	17	563	31	569
4	557	18	564	32	574
5	544	19	567	33	567
6	548	20	566	34	560
7	550	21	573	35	558
8	550	22	573	36	562
9	553	23	566	37	561
10	566	24	563	38	568
11	567	25	563	39	574
12	560	26	579	40	571
13	562	27	572	41	559
14	553	28	582	42	571

Виділимо тренд (ковзної середньої за 42 тижні) для перетвореної моделі (2). Прологарифмовані величини показника попиту $\ln(Y_t)$ та розраховані показники тренду M_t зведемо у таблицю 2, а також представимо у вигляді графіка (рис. 2).

Таблиця 2. Прологарифмовані величини показників попиту на товар та тренду ковзної середньої M_t

Тиждень	$\ln(Y_t)$	M_t	Тиждень	$\ln(Y_t)$	M_t	Тиждень	$\ln(Y_t)$	M_t
1	6,28	6,28	15	6,32	6,32	29	6,35	6,33
2	6,30	6,29	16	6,31	6,32	30	6,34	6,33
3	6,32	6,30	17	6,33	6,32	31	6,34	6,33
4	6,32	6,31	18	6,34	6,32	32	6,35	6,33
5	6,30	6,30	19	6,34	6,32	33	6,34	6,33
6	6,31	6,30	20	6,34	6,32	34	6,33	6,33
7	6,31	6,31	21	6,35	6,32	35	6,32	6,33
8	6,31	6,31	22	6,35	6,32	36	6,33	6,33
9	6,31	6,31	23	6,34	6,32	37	6,33	6,33
10	6,34	6,31	24	6,33	6,32	38	6,34	6,33
11	6,34	6,31	25	6,33	6,32	39	6,35	6,33
12	6,33	6,31	26	6,36	6,33	40	6,35	6,33
13	6,33	6,32	27	6,35	6,33	41	6,33	6,33
14	6,32	6,32	28	6,37	6,33	42	6,35	6,33

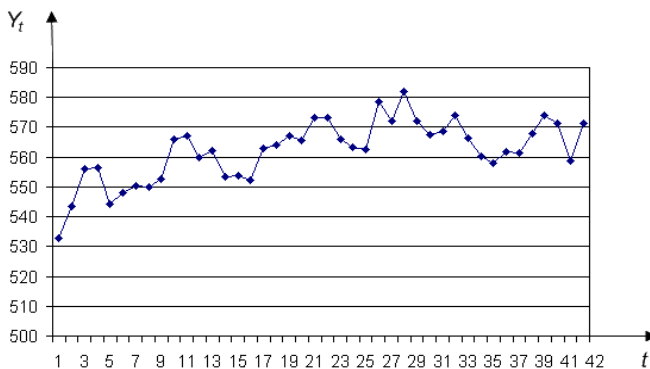


Рис. 1. Динаміка щотижневих продажів товару

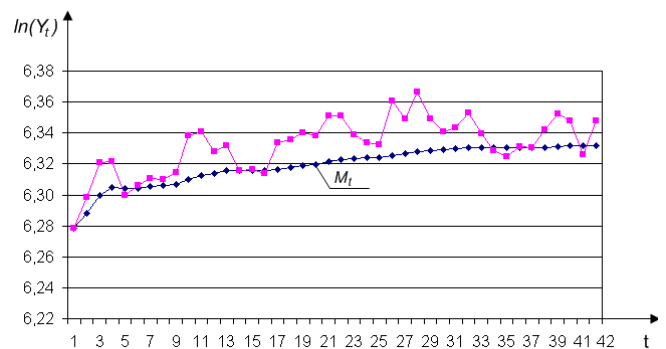


Рис. 2. Графік прологарифмованих величин показників попиту на товар та тренду ковзної середньої M_t за 42 тижні

Після розрахунку тренду продажів за 42 тижні, необхідно спрогнозувати його на наступні 10 тижнів року. Даний прогноз можна отримати декількома методами, однак достатньо ефективним, як показало попереднє дослідження, є метод параметричної апроксимації. В якості функцій наближення використаємо: лінійну, логарифмічну, степеневу, експоненціальну та поліном п'ятого ступеня.

Оцінювання точності наближення проводиться за величиною достовірності апроксимації R^2 . Чим вона ближче до 1, тим більше функція наближується до

тренду. На рисунках 3, 4, 5, 6 і 7 представлена апроксимація отриманого тренду продажів товарів за 42 тижні різними функціями.

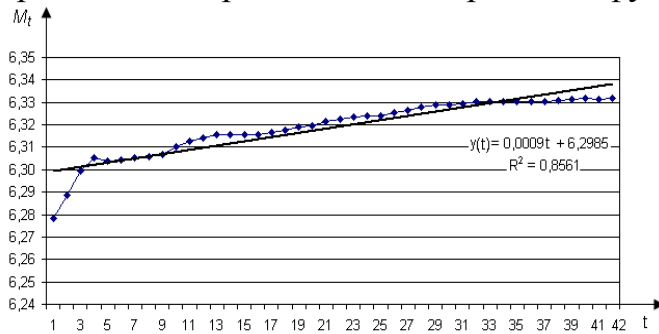


Рис. 3. Лінійна апроксимація тренду продажів товару

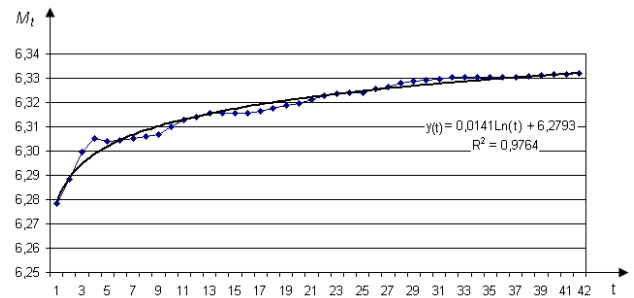


Рис. 4. Апроксимація логарифмічної функції тренду продажів товару

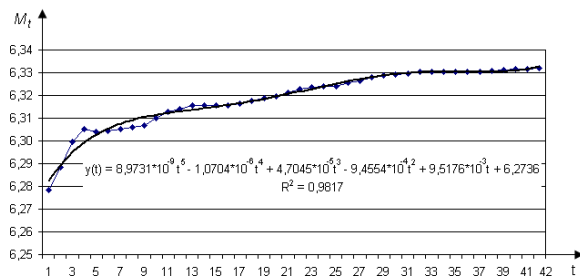


Рис. 5. Апроксимація тренду продажу товару за допомогою полінома п'ятого ступеня

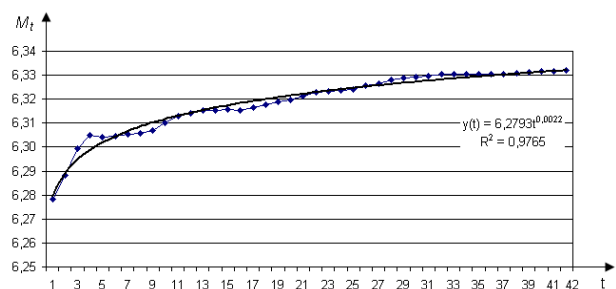


Рис. 6. Апроксимація степеневій функції тренду продажів товару

Отримані дані, представлені графічно, наочно свідчать, що значення R^2 найближче до одиниці у полінома 5-го ступеню. У той же час, його поведінка, особливо перевал у віддалених точках, визиває певні сумніви у достовірності отриманих значень. Тому, для уточнення результатів, можна взяти наступні за точністю функції апроксимації: логарифмічну або степеневу. Однак, більшої точності прогнозу вірогідного попиту буде досягнуто у результаті об'єднання трьох названих методів, тобто розрахунку середнього арифметичного між поліномом 5-го ступеню, логарифмічної та степеневій функціями. Отриманий таким чином прогноз тренду M_t графічно зображений на рисунку 8, де по осі t знаходяться номери періодів.

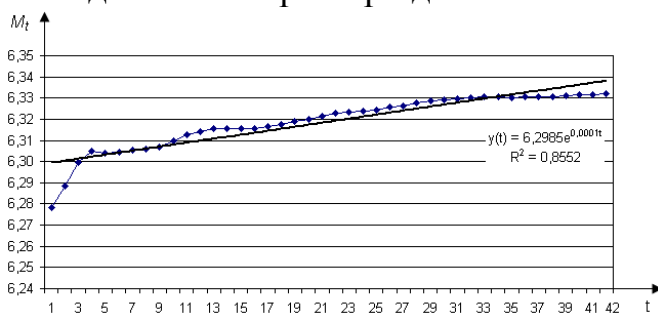


Рис. 7. Апроксимація експоненціальної функції тренду продажів товару

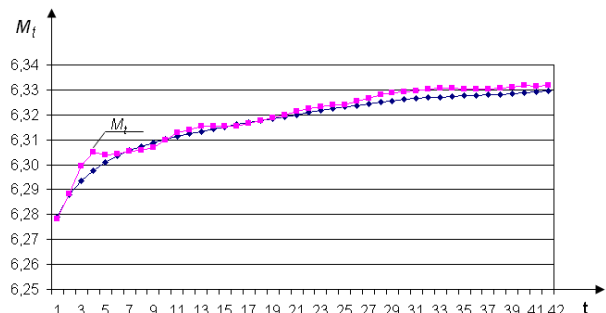


Рис. 8. Тренд продажів M_t та його прогноз

Після знаходження прогнозу тренда продажів товару за 42 тижні, можна розрахувати його на наступні 10 тижнів, та зробити прогноз самого показника попиту. Отримані результати представлені у таблиці 3 та зображені графічно на рисунку 9.

Таблиця 3. Прогноз вірогідного попиту на товар на наступні 10 тижнів

Період, тиждень	Ln (прогнозу)	Прогнозований попит, ящ.
43	6,33	561
44	6,33	562
45	6,33	563
46	6,34	564
47	6,34	565
48	6,34	566
49	6,34	568
50	6,34	571
51	6,34	573
52	6,34	577

Дана функція попиту має сезонні та стохастичні коливання, а отже, для визначення вірогідності попадання значення у заданий діапазон, необхідно використовувати методи обробки даних, які призначені для роботи з величинами, що не підпорядковуються нормальному закону розподілу вірогідності.

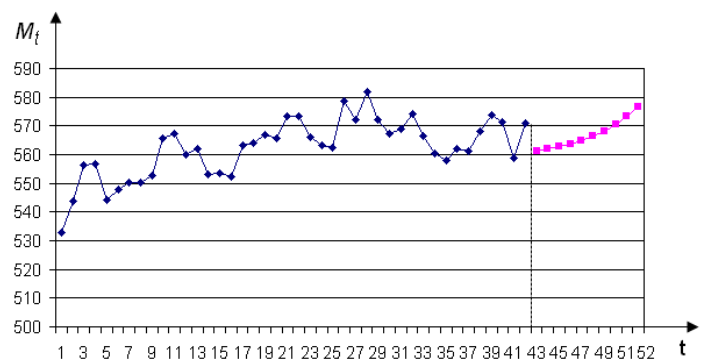


Рис. 9. Прогноз показника вірогідного попиту

Проведений аналіз існуючих

методів показав, що у нашому випадку найбільш ефективним є метод вкладів з використанням бета-розподілу. Після розрахунків, проведених за формулою (13), була отримана підсумкова щільність розподілу у точці S_{iv} , яка графічно представлена на рисунку 10.

З урахуванням отриманої вірогідності розподілу продажів товарів, можна розрахувати діапазон прогнозованого попиту при довірчій вірогідності 92%. Результати розрахунків представлені у таблиці 4 та на рисунку 11.

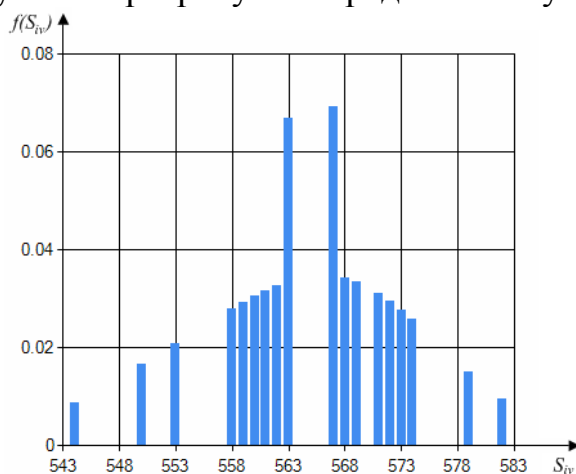


Рис. 10. Гістограма щільності розподілу продажів методом вкладів з використанням бета-розподілу

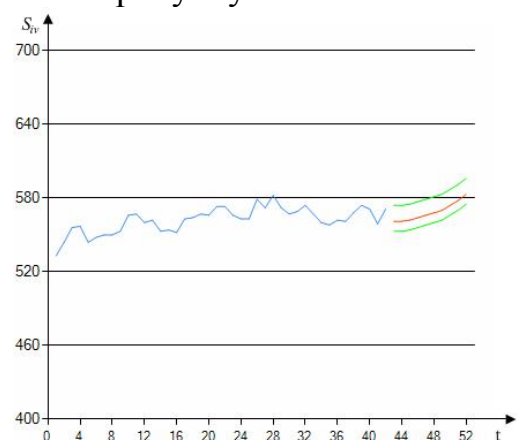


Рис. 11. Діапазон вірогідного попиту при довірчій вірогідності 92%

Таблиця 4. Діапазон прогнозованого попиту

Період	Значення попиту		
	S_{iv}^H	S_{iv}	S_{iv}^B
43	553	561	574
44	553	561	574
45	554	562	575
46	556	564	577
47	558	566	579
48	560	568	581
49	562	570	583
50	566	574	587
51	570	578	591
52	575	583	596

Тепер проведемо порівняльний аналіз реальних продажів з їх прогнозованими величинами, отримані дані представлені у таблиці 5.

Таблиця 5. Порівняльний аналіз реальних продажів з їх прогнозом

Номер товару	Назва товару	Прогноз попиту (ящ)	Реальні продажі (ящ)	Δ , (ящ)	Абсолютна похибка (%)
1	2	3	4	5	6
1	Шоколад Корона чорний без додатків 100г	561	550	11	2
2	Шоколад Корона чорний з цілим лісовим горіхом 100г	510	484	26	5
3	Шоколад Корона чорний з цілим лісовим горіхом 200г	367	378	-11	3
4	Шоколад Корона чорний з горіхом 100г	523	518	5	1
5	Шоколад Корона чорний з родзинками 100г	488	464	24	5
6	Шоколад Корона чорний з родзинками та горіхом 100г	395	379	16	4
7	Шоколад Корона молочний без додатків 100г	574	591	-17	3
8	Шоколад Корона молочний з цілим лісовим горіхом 100г	498	483	15	3
9	Шоколад Корона молочний з цілим лісовим горіхом 200г	387	368	19	5
10	Шоколад Корона молочний з горіхом 100г	486	467	19	4
11	Шоколад Корона молочний з родзинками 100г	430	434	-4	1
12	Шоколад Корона молочний з родзинками та горіхом 100г	403	395	8	2
13	Шоколад Корона чорний без додатків 50г	217	206	11	5
14	Шоколад Корона молочний без додатків 50г	239	251	-12	5

1	2	3	4	5	6
15	Шоколад Корона, кава 100г	328	318	10	3
16	Шоколад Корона, горіх 100г	341	334	7	2
17	Шоколад Корона, шоколад 100г	344	358	-14	4
18	Шоколад Корона, коньяк 100г	286	283	3	1
19	Молочний шоколад Корона, кокосовий ром 100г	260	247	13	5
20	Молочий шоколад Корона, лікер Айріш Крім 100г	269	280	-11	4
21	Шоколад Мілка без додатків 80г	348	338	10	3
22	Шоколад Мілка з горіхом 80г	356	349	7	2
23	Шоколад Мілка з родзинками та горіхом 80г	382	363	19	5
24	Шоколад Мілка грильяж з мигдалем 80г	347	350	-3	1
25	Шоколад Мілка без додатків 15г	183	174	9	5
26	Шоколад Мілка з цілим мигдалем 200г	287	273	14	5
27	Шоколад Мілка М-Джой без додатків 70г	314	327	-13	4
28	Шоколад Мілка М-Джой з цілим лісовим горіхом 70г	309	294	15	5
29	Шоколад Мілка М-Джой з цілим мигдалем 70г	292	283	9	3
30	Шоколад Мілка М-Джой з арахісом та пластівцями 70г	283	269	14	5

5. Висновки

Таким чином, розроблена комбінована математична модель прогнозування вірогідного попиту на багатоміністерні товари. Як видно із розрахунків, похибка прогнозу із застосуванням розробленої моделі не перевищує 5 %. Дана модель є універсальною, а отже, її можуть застосовувати як виробничі, так і торговельні підприємства для прогнозування вірогідного попиту на будь які типи та види товарів.

Перспективним напрямком подальшого розвитку цієї моделі є розробка інформаційного забезпечення та її реалізація.

Список літератури: 1. Раскин Л. Г. Оценка параметров нестационарного процесса спроса [Текст] / Л. Г. Раскин, П. Е. Пустовойтов // Системный анализ, управление, информационные технологии. – Х.: НТУ «ХПИ». – 2003. – №6. – Т.1. – С.93 - 96. 2. Кузнецов Л. А. Управление запасами в условиях неопределенности потребительского спроса [Текст] / Л. А. Кузнецов, О. А. Назаркин. – Липецк: ЛГТУ, 1999. – 206 с. 3. Гордієнко О. С. Адаптивна модель управління запасами медикаментів в умовах випадкового попиту [Текст] / О. С. Гордієнко // Торгівля і ринок України: Зб. наук. пр. – Донецьк, ДонДУЕТ. – 2000. – Вип.10. – Том 2. – С. 33 - 38. 4. Нефьодов Л. І., Маркозов Д. О. Багатоетапна математична модель підтримки прийняття рішення з управління багатоміністерним запасом в умовах стохастичного попиту [Текст] / Л. І. Нефьодов, Д. О. Маркозов // Восточно- Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – Выпуск 5/7 (47). – С. 4 - 6. 5. Маркозов Д. О. Застосування нечітких чисел при моделюванні вірогідного попиту [Текст] / Д. О. Маркозов // «Автомобильный транспорт». – Сборник научных трудов. – Харьков, ХНАДУ. – 2007. – Выпуск 20. – С.119 - 121. 6. Степнова И. В. Прогнозирование потребительского спроса в зависимости от цены на товар [Текст] / И. В. Степнова // Маркетинг и маркетинговые исследования . – 2008. – № 03. – С.232-241. 7.

Минько Э. В. Методы прогнозирования и исследования операций: учебное пособие [Текст] / Э. В. Минько, А. Э. Минько; под ред. А. С. Будагова. – М.: Финансы и статистика, 2010. – 480 с. 8. Абчук В. А. Прогнозирование в бизнесе, менеджменте и маркетинге [Текст] / Абчук В. А. – СПб.: Изд-во Михайлова В. А., 2005. – 448 с. 9. Маркозов Д. О. Аналіз основних методів прогнозування вірогідного попиту: позитивні риси та недоліки [Текст] / Д. О. Маркозов // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наук. праць - Харків: НТУ «ХПІ». – 2006. – № 41. – С.53 - 56. 10. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников [Текст] / Кобзарь А. И. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.

Поступила в редколлегию 03.01.2012

УДК 378.147

К. В.ВЛАСЕНКО, канд. пед. наук, доц., ДДМА, Краматорськ

О. О. ЧУМАК, асис., ДДМА, Краматорськ

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МАЙБУТНІМИ ІНЖЕНЕРАМИ В ХОДІ НАВЧАННЯ ТЕОРІЇ ЙМОВІРНОСТІ ТА ТЕОРІЇ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ

Проаналізовано сутність процесу навчання математичних дисциплін у вищій інженерній школі. Розроблено методичні рекомендації щодо управління математичним моделюванням майбутніми інженерами у ході аудиторних занять з теорії ймовірності та теорії випадкових процесів. Запропоновано організаційні методи і форми розв'язування професійно орієнтованих завдань з ТЙ та ТВП.

Проанализирована сущность процесса обучения математическим дисциплинам в высшей инженерной школе. Разработаны методические рекомендации по управлению математическим моделированием будущими инженерами во время аудиторных занятий по теории вероятностей и теории случайных процессов. Предложены организационные методы и формы решения профессионально ориентированных заданий по ТВ и ТСР.

Nature of the learning process of mathematical disciplines in higher engineering school is analyzed. Guidelines are designed to manage the mathematical modeling of future engineers in the classroom on probability theory and stochastic processes. Organizational forms and methods proposed to address the career-oriented jobs in probability theory stochastic processes.

Актуальність. Суспільні зміни, зростаючі темпи розвитку науки і техніки висувають принципово нові завдання перед технічним вищим навчальним закладом (ВНЗ), серед яких особливе місце належить підвищенню якості підготовки інженерних кадрів. Професійно орієнтоване навчання математики, поліпшуючи фундаментальну математичну підготовку і розвиваючи вміння математичного моделювання в галузі професійної діяльності, сприяє досягненню цілей навчання в технічному ВНЗ та формує математичний аспект компетентності майбутнього інженера. За таких умов, навчання студентів вищих технічних навчальних закладів (ВНЗ) математичному моделюванню набуває безапеляційної актуальності.

Особливе значення в рамках даної роботи мають педагогічні дослідження з проблеми використання математичного моделювання в ході навчання студентів теорії ймовірностей (Я. В. Гончаренко [2], В. М. Дрибан [3], В. В. Корнещук [4],

Л. Л. Панченко [5], О. В. Трунова [7], О. Г. Фомкіна [8]). Аналіз науково-методичної літератури показав, що на сьогодні недостатньо висвітленими залишаються питання формування вмінь математичного моделювання в студентів ВТНЗ під час навчання теорії ймовірності та теорії випадкових процесів (ТЙ та ТВП).

Отже, **завдання нашої розвідки** полягає в розробці методичних рекомендацій щодо управління математичним моделюванням майбутніми інженерами у ході аудиторних занять з теорії ймовірності та теорії випадкових процесів. Крім того, нами розглядаються організаційні методи і форми розв'язування професійно орієнтованих завдань з ТЙ та ТВП.

Виклад основного матеріалу. Курс теорії ймовірності та теорії випадкових процесів, що викладається у ВНЗ для технічних спеціальностей дуже віддалений від практичних застосувань і, як наслідок, сприймається студентами як дисципліна, що ніяк не пов'язана з їхньою майбутньою професійною діяльністю. Це призводить до байдужого, а підчас, і негативного ставлення до дисципліни, до низького рівня якості знань студентів. З метою подолання даної проблеми ми пропонуємо професійно орієнтований підхід до навчання ТЙ і ТВП, а саме використання професійно орієнтованих завдань (ПОЗ), розв'язання яких супроводжується формалізацією тобто побудовою математичної моделі.

За К. В. Власенко [1]: «професійно орієнтоване завдання враховує брак у студентів знань із вищої математики для розроблення нових об'єктів навчання, проте актуалізує знання, які сприяють створенню цих об'єктів». Кожне таке завдання потребує індивідуального підходу, що ґрунтується на знанні відповідних законів (фізичних, технологічних, хімічних) і вмінні перекладати завдання мовою математики. Ці завдання описують реальні виробничі ситуації, а їх розв'язання сприяє виробленню вмінь аналізувати, узагальнювати факти, інтегрувати набуті знання, будувати і досліджувати математичні моделі. Таким чином використання професійно орієнтованих завдань дає можливість студентам усвідомити необхідність, універсальність математики та її методів, робить навчання вмотивованим.

Оволодіння таким універсальним апаратом як моделювання, уможливорює його застосовування інженером у ході проведення різноманітних досліджень в технічній галузі, що характеризуються невизначеністю, випадковістю. Це дає можливість формування в майбутнього спеціаліста вміння приймати нестандартні рішення, сприяє розвитку творчого мислення і професійної мобільності.

Таким чином, не викликає сумнівів, що математичне моделювання є одним із засобів підвищення якості професійної компетентності майбутнього фахівця.

За В. О. Швецом [9] під математичним моделюванням будемо розуміти процес встановлення відповідності між даним реальним об'єктом чи явищем та деяким математичним об'єктом, що називається математичною моделлю (фігура, рівняння, система рівнянь, функція, тощо). Побудова математичної моделі полягає у визначенні зв'язків між тими чи іншими процесами та явищами, створенні математичного апарату, що уможливорює кількісний і якісний вираз зв'язку між тими чи іншими процесами і явищами, між фізичними величинами, що цікавлять спеціаліста, між факторами, що впливають на кінцевий результат.

Основними етапами математичного моделювання є:

- побудова моделі (I-й етап);
- розв'язання математичного завдання, до якої призводить модель (II-й етап);
- інтерпретація отриманих висновків із математичної моделі (III-й етап);
- перевірка адекватності моделі;
- модифікація моделі.

Ми застосовуємо схему, що пропонується В. О. Швецем [9] до математичного моделювання професійно орієнтованих завдань, для яких зазначається: умова професійно орієнтованого завдання (УПОЗ), математичне завдання (МЗ), розв'язання математичного завдання (РМЗ), розв'язок професійно орієнтованого завдання (РПОЗ) (рис. 1).

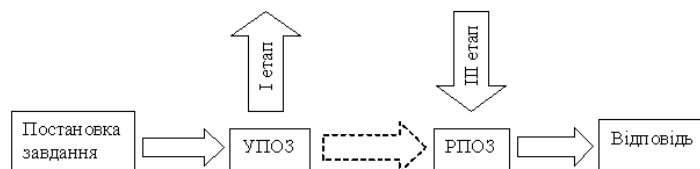


Рис. 1. Схема математичного моделювання професійно орієнтованих завдань

Розглянемо деякі методичні прийоми і орієнтовні

дії (для кожного з вказаних етапів) з метою ефективного оволодіння студентами математичним моделюванням у ході навчання ТЙ та ТВП.

I етап – використання евристичних запитань та прийомів (розв'язування «з кінця», узагальнення тощо); абстрагування від властивостей об'єкту, несуттєвих для побудови адекватної моделі; формулювання умови ПОЗ на мові математики тощо;

II етап – використання додаткових теоретичних відомостей; застосування ілюстративних креслень, графіків, ескізів; пошук задач – двійників тощо;

III етап – здійснення відбору тих розв'язків математичної задачі, що є розв'язками ПОЗ із забезпеченням області визначення даних завдання, здійснення перевірки розв'язку.

Розглянемо фрагменти організації розв'язування ПОЗ за допомогою використання, зазначених вище, евристичних прийомів. Проілюструємо застосування організаційних методів і форм навчання на прикладах завдань з теми «Дискретна випадкова величина».

Завдання 1. Задано закони розподілу двох незалежних випадкових величин X та Y , де X – кількість виробів, що деформуються протягом тижня за допомогою гарячого деформування, Y – кількість виробів, що деформуються протягом тижня за допомогою холодного деформування.

X	1	2
P	0,4	0,6

Y	0	1	2
P	0,2	0,6	0,2

Скласти закон розподілу випадкової величини Z – загальної кількості виробів, що деформуються протягом тижня. Обчислити середню кількість виробів та міру відхилення кількості виробів від середнього значення.

При розв'язанні даного завдання передбачається формулювання завдання на математичній мові, використання евристичних запитань та розв'язування «з кінця», що підведе студентів до побудови математичної моделі. Серед запитань можуть

бути наступні: що необхідно знайти у завданні? Опустіть пояснення про те, що представляють незалежні випадкові величини X і Y та переформулюйте завдання математичною мовою?

Таким чином математичною моделлю даного ПОЗ є задача, що записана математичною мовою: «Задано закони розподілу двох незалежних випадкових величин X та Y . Скласти закон розподілу випадкової величини $Z = X + Y$ ». Для допомоги при розв'язанні студентами даної математичної моделі, викладачу доцільно використовувати такі запитання:

Яких можливих значень набуває величина Z ?

Як визначити невідомі ймовірності $P(Z = 1)$, $P(Z = 2)$, і т. д.?

Чому дорівнюють X та Y , якщо $Z = 1, 2, 3 \dots$?

Як обчислити ймовірність одночасної появи подій $X = 1$ та $Y = 0$, якщо X та Y незалежні величини?

Для відповіді на запитання студентам необхідно узагальнити отримані раніше знання з теми «Теорема добутку незалежних подій». Як наслідок, будується розв'язання математичної моделі:

$$P(Z = 1 + 1 = 2 + 0 = 2) = P_1(X) \cdot P_2(Y) + P_2(X) \cdot P_1(Y)$$

$$P(Z = 2 + 1 = 1 + 2 = 3) = P_2(X) \cdot P_2(Y) + P_1(X) \cdot P_3(Y)$$

$$P(Z = 2 + 2 = 4) = P_2(X) \cdot P_3(X)$$

Подібні завдання можуть бути запропоновані студентам з метою мотивації навчання теми «Функція двох випадкових аргументів».

Завдання 2. Після деформації тіло може мати один із двох показників, x_1 або x_2 , при чому $x_1 < x_2$. З 10 перевірених виробів 6 мають показник x_1 . Знайти закон розподілу величини X – можливі значення показників деформації, якщо математичне сподівання $M(X) = 1,4$ та дисперсія $D(X) = 0,24$.

Студенти, за допомогою викладача починають міркування з кінця завдання. Наведемо приклад евристичного діалогу, що допоможе студентам у побудові математичної моделі:

Викладач: що необхідно знайти?

Студент: необхідно знайти закон розподілу величини X – можливі значення показників деформації.

Викладач: чи можна переформулювати це завдання математичною мовою?

Студент: можна переформулювати це завдання математичною мовою таким чином: скласти закон розподілу випадкової величини X , що може набувати двох значень x_1 та x_2 , з відповідними ймовірностями p_1 та p_2 .

Викладач: запишіть закон розподілу для даної задачі.

Студенти записують закон:

X	x_1	x_2
P	p_1	p_2

Викладач: чи задані ймовірності за умовою?

Студент: за умовою задано лише ймовірність $p_1 = \frac{6}{10} = 0,6$.

Викладач: як визначити невідому ймовірність p_2 ?

Студент: оскільки сума ймовірностей дорівнює 1, то $p_2 = 1 - p_1$.

Викладач: що залишилось невідомим в даній задачі?

Студент: невідомими залишились змінні x_1 та x_2 .

Викладач: чи достатньо буде скласти одне рівняння для знаходження двох невідомих?

Студент: необхідно скласти систему двох рівнянь, що відображає данні умови.

Викладач: звідки можна отримати перше рівняння системи двох рівнянь?

Студент: використати формулу для знаходження математичного сподівання $M(X) = 0,6 \cdot x_1 + 0,4 \cdot x_2$, і задану умову $M(X) = 1,4$.

Викладач: як скласти друге рівняння системи двох рівнянь?

Студент: для складання другого рівняння необхідно використати формулу для знаходження дисперсії $D(X) = 0,6 \cdot x_1^2 + 0,4 \cdot x_2^2 - M^2(X)$, і задані умови $M(X) = 1,4$, $D(X) = 0,24$

Таким чином, будується математична модель завдання, що вимагає розв'язування системи двох рівнянь (І етап). Розв'язання даної системи відбувається способом підстановки (ІІ етап). У результаті отримано дві пари значень для x_1 та дві пари для x_2 . Необхідно виокремити лише ті значення, що належать до області визначення даної величини $X: x_1 < x_2$ (ІІІ етап). Зобразимо схематично процес розв'язування для даного завдання (рис.2).

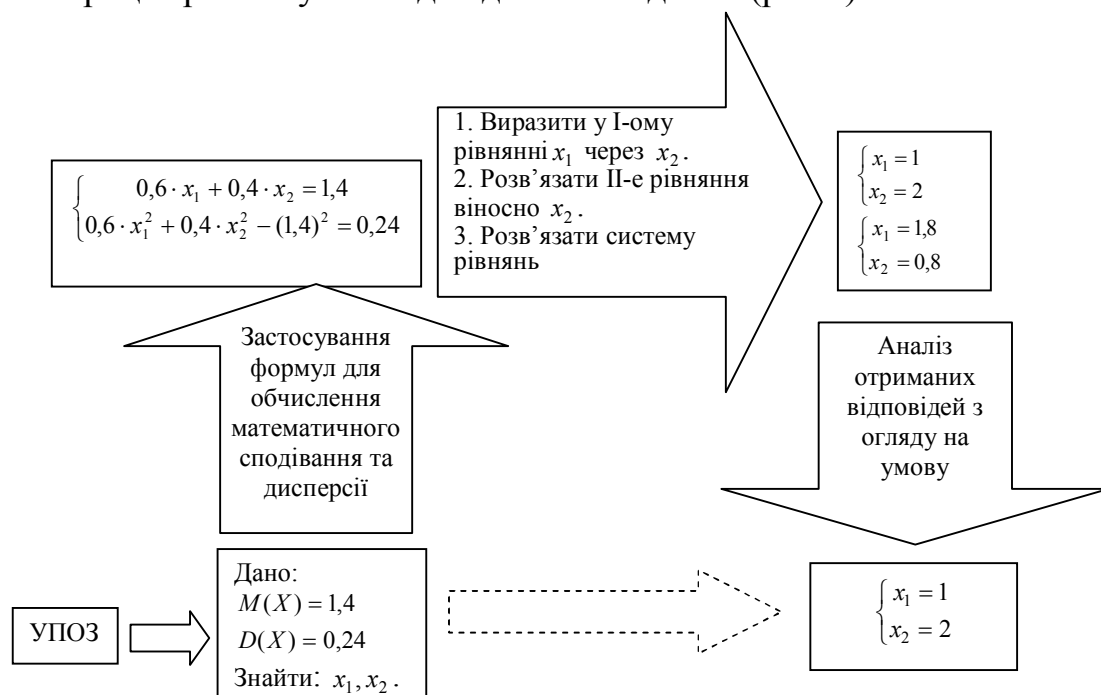


Рис.2. Схема процесу розв'язування завдання 2

Таким чином, застосування професійно орієнтованих завдань з ТЙ та ТВП поліпшуючи фундаментальну математичну підготовку і розвиваючи вміння математичного моделювання в галузі професійної діяльності, сприяє досягненню цілей навчання в технічному ВНЗ: появи в студентів інтересу до обраної професії, самостійному оволодінню знаннями інженерної справи з виявленням ініціативи, творчості, розвитку розумових і творчих здібностей, формуванню математичного аспекту компетентності майбутнього інженера.

Список літератури: 1. *Власенко К. В.* Про необхідність формування професійної спрямованості студентів інженерно-педагогічної академії в процесі вивчення вищої математики / К. В. Власенко // Міжнародна науково-практична конференція «Математична освіта в Україні: минуле, сьогодення, майбутнє». Національний педагогічний університет ім. М. П. Драгоманова. – К., 2007. – С. 123. 2. *Гончаренко Я. В.* Система задач з початків теорії ймовірностей та вступу до статистики і методика їх розв'язання / Я. В. Гончаренко, І. Д. Чепорнюк // Дидактика математики: проблеми і дослідження: Міжнар. зб. наук. робіт. – Вип.28. – Донецьк : Фірма ТЕАН, 2007. – С. 94 – 99 3. *Дрибан В. М.* Використання деяких прийомів створення проблемних ситуацій в курсі теорії ймовірностей / В. М. Дрибан // Дидактика математики: проблеми і дослідження: Міжнар. зб. наук. робіт. – Вип. 30. – Донецьк : Фірма ТЕАН, 2008. – С. 83 – 87. 4. *Корнєщук В. В.* Застосування професійно орієнтованих імовірнісних задач у підготовці студентів економічних спеціальностей / В. В. Корнєщук, В. М. Шинкаренко // Дидактика математики: проблеми і дослідження: Міжнар. зб. наук. робіт. – Вип.34. – Донецьк : Фірма ТЕАН, 2010. – С. 53 – 57. 5. *Панченко Л. Л.* Цільові аспекти навчання студентів педагогічних університетів математичного моделювання / Л. Л. Панченко, Н. В. Шаповалова // Науковий часопис НПУ ім. М. П. Драгоманова. Серія №3. Фізика і математика у вищій і середній школі. – К. : Вид-во НПУ ім. М. П. Драгоманова, 2010. - №6. – с.100-107. 6. *Соколенко Л. О.* Система прикладних задач природничого характеру як засіб формування евристичної діяльності учнів / Л. О. Соколенко // Дидактика математики: проблеми і дослідження: Міжнар. зб. наук. робіт. – Вип.32. – Донецьк : Фірма ТЕАН, 2009. – С. 24 – 28. 7. *Трунова О. В.* Система задач з початків теорії ймовірностей та вступу до статистики і методика їх розв'язування / О. В. Трунова // Дидактика математики: проблеми і дослідження: Міжнар. зб. наук. робіт. – Вип.26. – Донецьк : Фірма ТЕАН, 2006. – С. 96 – 104. 8. *Фомкіна О. Г.* Методичне забезпечення самостійної роботи студентів з курсу «Теорія ймовірностей» / О. Г. Фомкіна // Дидактика математики: проблеми і дослідження : Міжнар. зб. наук. робіт. – Вип.21. – Донецьк : Фірма ТЕАН, 2004. – С. 48 – 51. 9. *Швець В. О.* Математичне моделювання як змістова лінія шкільного курсу математики / В. О. Швець // Дидактика математики: проблеми і дослідження: Міжнар. зб. наук. робіт. – Вип.32. – Донецьк : Фірма ТЕАН, 2009. – С. 16 – 23.

Поступила в редколлегию 08.01.2012

УДК [614.1:312.6]:681.3

О.Г. КИСЕЛЬОВА, ст. преп., НТУУ «КПІ», Киев

КЛАСТЕРНИЙ АНАЛІЗ НЕЛІНІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕРЦЕВОГО РИТМУ

В роботі запропоновано використання алгоритму автоматичної класифікації методом “к-середніх”, що дало змогу підвищити достовірність результатів статистичного аналізу медико-біологічних сигналів, виключити із розгляду не інформативні послідовності скорочень серця та виділити інформативні патерни – послідовності з ідентифікацією діагнозів всередині їх

Ключові слова: серцевий ритм, статистичний аналіз, кластерний аналіз, дисперсійний аналіз, метод «k-means».

В работе предложено применение алгоритма автоматической классификации методом «к-средних», что повысило достоверность результатов статистического анализа медико-биологических сигналом, исключить из рассмотрения не информативные интервалы сокращений сердечного ритма и выделить информативные паттерны – последовательности з идентификацией диагнозов внутри их.

Ключевые слова: сердечный ритм, кардиоинтервалограмма, статистический анализ, кластерный анализ, дисперсионный анализ.

In this paper the method “k-means” of cluster analysis was used for increasing the reliability of the statistic analysis results of medical data and definition of the non-informative RR-intervals and pattern recognition of different pathologies of human body blood circulation.

Key words: heart rate, RR-interval, statistical analysis, cluster analysis, variance analysis.

1. Вступ

Сьогодні розроблено велику кількість нелінійних динамічних оцінок часових рядів, які можна застосовувати для оцінки складності поведінки біологічних сигналів різної природи, зокрема, серцевого ритму. Складність поведінки оцінюється за повторюваністю певних фрагментів кардіоінтервалограми. При вирішенні задач, пов'язаних із використанням великих масивів вхідних даних (наприклад, результатів добових спостережень) важливим є автоматична класифікація та знаходження внутрішніх закономірностей в даних, де традиційним підходом є застосування статистичного аналізу. Як правило, для класифікації результатів даних медико-біологічної природи, найчастіше застосовуються методи описової статистики та дисперсійного аналізу. Крім того, слід зазначити, що для ідентифікації патологічних станів системи кровообігу людини, використовуючи дані добового серцевого ритму (ДСР), важливим є не лише вид патології, але і період доби, коли спостерігались характерні зміни серцевого ритму. Важливим при аналізі ДСР є також специфічність серцевого ритму, при якій патологічні періоди можуть зустрічатися при нормальній динаміці серцевого ритму (СР), так і навпаки. Саме тому, дослідження, пов'язані з точною диференціацією нормальних та патологічних ділянок СР є важливими та актуальними при аналізі системи кровообігу людини.

2. Матеріали та методи

Для оцінки станів організму людини на основі добового моніторингу серцевого ритму необхідно підібрати набір показників станів організму, властивості яких покривають окремі властивості досліджуваного об'єкту. Для аналізу системи кровообігу було запропоновано вибір таких нелінійних показників як коефіцієнт алгоритмічного стиснення за Колмогоровим (CompresRatio), показник апроксимаційної ентропії (ApEn), характеристику флікер-шуму β та показник фрактальної розмірності (FD). Крім того, для аналізу даних було розраховано значення середнього відхилення (σ), коефіцієнту варіації (v) та середнє значення RR в інтервалі з 1000 RR значень (Mean RR) [1].

В якості вихідних значень для обробки запропоновано використання значень кардіоінтервалів протягом 24 годин (RR-інтервалів).

Коливальність серцевого ритму включає у себе широкий спектр частот (від дуже низьких (VLF, 0,01 – 0,025 Гц), низьких (LF, 0,025 – 0,125 Гц), середніх (MF, 0,125 – 0,2 Гц) до високих (HF, 0,2 – 0,5 Гц)), тому аналіз ритму у кожному з даних діапазонів є актуальним при диференціації певних станів системи кровообігу людини.

Застосування алгоритмічного стиснення за Колмогоровим, передбачає побудову словника, в якому записано послідовності певної довжини, які зустрічаються найчастіше у серцевому ритмі [2].

Показник апроксимаційної ентропії також оцінює повторюваність певних фрагментів кардіоінтервалограми, однак, оптимальна довжина порівняльного

патерну залишається сталою. Довжина найчастіше повторюваних слів словника дозволяє оцінити необхідну довжину патерну.

Тобто, обидва методи доповнюють один одного та дозволяють проводити порівняльний аналіз даних кількісних оцінок ДСР.

Наднизькі коливання частоти пульсу, що оцінюються у теорії самоорганізованої критичності (СОК) показником фліккер-шуму, у співставленні із характеристикою фрактальної розмірності, дозволяють оцінити як наднизькі коливання кардіоінтервалограми. Низькочастотні коливання СР частіше за все прямо пов'язані з розвитком гіпоксії тканин, дизадаптаційних синдромів та інших подібних порушень.

Таким чином, було сформовано комплекс показників з частково спільними властивостями, які представляють собою формалізовану структуру похідних даних СР (табл. 1), що дозволяє проводити крос-перевірку результатів та аналіз їх співставлення.

Таблиця 1. Формалізована структура похідних даних СР

Пацієнт, діагноз	Етап спостереження	Інтервал спостереження (по 1000 відліків RR)		σ	ν	CompresRatio	ApEn	FD	β	Mean RR
		Час початку інтервалу у	Час кінця інтервалу							
К., чол., 43 р., Діагноз - 2	1	9:05:00	9:15:31	0,0911	0,0977	0,295	0,0147	0,4779	0,9781	780
...										

Під етапом спостереження розуміють **4 етапи спостереження**:

1- період навантаження (період розумових та фізичних навантажень, тобто денний час);

2- перший перехідний період (припинення роботи з поступовим переходом до сну);

3- період спокою (сон);

4- другий перехідний період (пробудження з поступовим переходом до активної діяльності).

Для даного дослідження було обрано такі **діагнози**:

1- Нормальна динаміка серцевого ритму;

2- Ішемічна ділятация серця з недостатністю кровообігу;

3 -Пароксизмальна тахікардія;

4-Ідеопатичний гіпертрофічний субаортальний стеноз з недостатністю кровообігу.

Етапи статистичного аналізу добового серцевого ритму

В роботі запропоновано наступний алгоритм статистичного аналізу добового серцевого ритму:

1) аналіз масивів спостережень ДСР на нормальність щільності розподілу ймовірності;

2) статистичне порівняння і оцінити статистичну значимість відмінності показників за:

- інтервалами спостереження;
- видами патології;

3) автоматизована класифікація спостережень ДСР для отримання високооднорідних груп спостережень для формування функціональних патернів СР;

4) оцінка відповідності патернів діапазонам спостережень ДСР і виду патології;

5) додаткове розбиття патернів (кластерів) на підгрупи нормальних і патологічних станів організму людини.

Методологічні підходи до обробки даних добового серцевого ритму

При виборі технології обробки даних ДСР враховувались наступні особливості СР:

1) патологічні проміжки коливань ритму можуть зустрічатися як у хворих, так і у здорових, але, у хворих частіше;

2) патологічні коливання СР можуть зустрічатися в різні періоди протягом доби;

3) властивості у п.1 та п.2 унеможлиблюють використання стандартного підходу порівняння груп станів організму людини, так як дані групи не є однорідними.

Враховуючи вказані особливості СР, для отримання високо однорідних груп станів організму людини проводились наступні дослідження:

1) статистичне порівняння показників стану організму на специфічних інтервалах спостережень: сон, стан активності, перехідні процеси між ними;

2) статистичне порівняння груп станів організму на наявність та відсутність патології (тобто хворих зі здоровими) як по кардіоінтервалограмі в цілому, так і за етапами спостережень;

3) застосовувався алгоритм автоматизованої класифікації частин кардіоінтервалограми методом k-середніх;

4) аналізувалась структура отриманих кластерів, а саме:

- за відсотковими частками вмісту записів за інтервалами спостережень (скільки у кластер потрапило інтервалів сну, активності і т.д.);

- за відсотковими частками вмісту нормальних та патологічних спостережень (кластер ускладнень, кластер без ускладнень);

5) враховуючи сферичність отриманих кластерів, додатково аналізувались різні статистичні характеристики між нормою та патологією;

6) якщо всередині сферичного кластеру була різниця нормальних та патологічних спостережень, то кластер вважався однорідною групою, а нормальні та патологічні спостереження у ньому вважались функціональними патернами для діагностики відповідних станів організму людини всередині високо однорідної групи (кластера).

3. Результати

Для дослідження впливу на показники стану організму етапів спостереження та діагнозів, було проведено багатофакторний дисперсійний аналіз (MANOVA) на основі похідних даних [3]. В якості статистичного пакету обробки даних був застосований SPSS Statistics 17.0.

Результат дисперсійного аналізу (Табл. 2) показав, що існує значимий вплив діагнозу на показники, що досліджуються, а вплив етапу спостереження відсутній майже для всіх показників (крім σ та CompressRatio). Слід зазначити, що F – значення ефекту взаємозв'язку між факторами (етап та діагноз) значимий на рівні $p = 0,05$, тому діагноз та етапи мають бути дослідженими разом (ефект діагнозу необхідно досліджувати при кожному етапі, а ефект етапу – при кожному діагнозі).

Таблиця 2. Оцінка впливу факторів за діагнозом, етапом спостереження та за діагнозом і етапом разом

Показник	Діагноз		Етап		Діагноз*Етап	
	F	Знч.	F	Знч.	F	Знч.
ApEn	10,147	,000*	1,441	,229	12,434	,000**
SD	19,840	,000*	2,564	,053	7,441	,000**
SDn	24,838	,000*	1,118	,340	8,096	,000**
MeanRR	47,625	,000*	42,664	,000*	6,478	,000**
Comratio	30,830	,000*	7,019	,000*	7,584	,000**
FracDim	39,431	,000*	1,333	,262	3,926	,000**
beta	66,851	,000*	1,390	,244	5,778	,000**

Умовні позначення для табл. 2:

* - вплив фактору значимий на рівні $p = 0,05$.

** - ефект взаємозв'язку між факторами значимий на рівні $p = 0,05$.

F – критерій Фішера (чим вище його значення, тим вище статистична значимість).

Знч. – значення статистичної значимості.

ApEn – апроксимаційна ентропія, SD – стандартне відхилення, SDn – коефіцієнт варіації, MeanRR – середнє значення RR-інтервалу, Comratio – коефіцієнт стиснення за Колмогоровим, FracDim – фрактальна розмірність, beta – характеристика флікер-шуму.

Для виявлення значень параметрів, які не являються значимо відмінними при різних факторах було застосовано апостеріорні критерії ДЗР Тьюкі (Табл. 3).

Таблиця 3. Дослідження відмінності ApEn за допомогою апостеріорних критеріїв (N – кількість інтервалів похідних даних з табл. 1)

Діагноз	N	Підмножина		Етап	N	Підмножина	
		1	2			1	2
4	90	0,03105		1	896	0,062896	
3	699		0,066234	2	669	0,074632	
1	986		0,076891	3	535	0,083316	
2	486		0,090218	4	161		0,111150
Знч.		1,000	0,211	Знч.		0,189	1,000

Умовні позначення для таблиці 3:

p – вірогідність;

ідентифікатори діагнозу та етапу:

- етапи:

1 - період навантаження; 2, 4 – перехідні періоди; 4 – період сну;

- діагнози:

1 – нормальна динаміка СР; 2 - ішемічна ділятація серця з недостатністю кровообігу, 3 - пароксизмальна тахікардія 4 – ІГСС.

Як видно у табл. 2 середні значення $ArEn$ не відрізняються при діагнозах 1,2,3 на рівні $p = 0,211$ та при етапах 1,2,3 на рівні $p = 0,189$.

Дані обчислення було проведено для всіх показників, визначених у табл. 1. Отримані результати співпали з результатами для показника апроксимаційної ентропії.

Для підтвердження того факту, що етап спостереження не є статистично значимим, побудуємо залежність діагнозу від варіабельності та складності по кожному з етапів спостереження. На рис. 1 зображено залежність значення коефіцієнту варіації від діагнозу. На рис. 2 зображено значення показника флікер-шуму β для кожного з діагнозів. З рисунків видно, що графіки мало відрізняються між собою, що підтверджує твердження про те, що етап спостереження не є значимим при визначенні патології кровообігу людини.

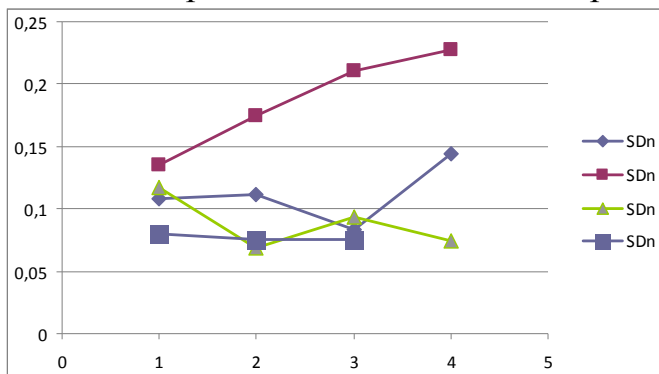


Рис. 1. Залежність значення коефіцієнту варіації від діагнозу (кожна крива відповідає одному з 4-х етапів спостереження)

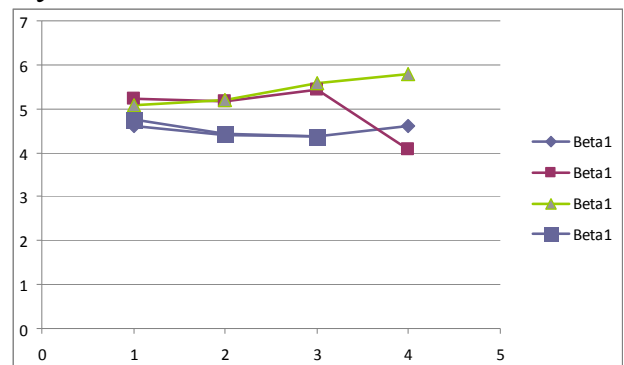


Рис. 2. Залежність значення показника флікер-шуму β для кожного з діагнозів (кожна крива відповідає одному з 4-х етапів спостереження)

В результаті проведено факторного аналізу було отримано наступні результати:

1. Кожен фактор, взятий окремо, статистично значимо впливав на досліджуємі показники, які розподілялись в залежності від етапу та діагнозу, однак, при нанесенні на графіки (рис. 1, 2) не було отримано задовільних значень показників по залежностям в цілому.

2. Обробка вихідних кардіоінтервалограм показала, що підгрупи спостережень, які розділено за признакам «діагноз» та/або «етап», хоч і вважаються однорідними при традиційному статистичному аналізу, але насправді вони не є такими. Це є причиною для застосування спеціальних методів формування дійсно однорідних груп, показники в яких є близькими один до одного.

Тому, з метою підвищення специфічності показників в роботі було проведено розподіл спостережень на високо компактні однорідні групи за

допомогою автоматизованої класифікації – кластерного аналізу методом «к-середніх». При цьому виявилось, що ряд кластерів містить не інформативні інтервали коливань СР, а інші можуть роздівлятися як функціональні патерни, що представляють собою кластери, показники в яких розрізняються за всіма 4 діагнозами.

Алгоритм кластеризації результатів спостережень

Вихідними показниками для виявлення патернів динаміки СР були характеристики складності коливань (флікер-шум, апроксимаційна ентропія та ін.) та амплітудні характеристики варіабельності.

Навчання алгоритму виявлення функціональних патернів динаміки поведінки СР було проведено на основі алгоритму кластерного аналізу «без вчителя», використовуючи метод «к-середніх» [3].

Алгоритм кластеризації складався з наступних кроків (даними для кластеризації були характеристики складності та варіабельності СР):

1. Деяким чином обирались початкові центри кластеризації, кількість яких була завідомо більшою за очікуване число «не порожніх» кластерів. Робота алгоритму починається з вибору 12 кластерів, в яких отримали частину пустих кластерів та побачили, що вибірка представлена 6 кластерами. Тому провели перекластеризацію по 6 центрам та отримали 6 сталих кластерів.

2. Шляхом розрахунку мінімальної локальної відстані до кожного центру кластеру, об'єктам присвоювались номери найближчих кластерів.

3. Після перебору всіх об'єктів, останні об'єднувались у кластери по відповідності до присвоєних ним номерів.

4. Після об'єднання обчислювались координати нових центрів кластерів.

5. Процедура кластеризації повторювалась до тих пір, поки спостереження не припиняли переходити із одного кластеру в інший.

Подальша послідовність формування патернів:

1. З розгляду виключаються кластери, що вміщують менше, ніж 5% спостережень вхідного масиву.

2. Із врахуванням поправок на множинні порівняння (Бонферроні та ін.) проводиться статистичне порівняння однорідних показників у «не-порожніх» кластерах. Статистично не відмінні показники виключаються з розгляду.

3. Близькі за статистичними характеристиками показників кластери об'єднуються.

4. Далі досліджується структурний склад кожного із кластерів за показниками, які не брали участі у процедурі кластеризації:

- відсоток ускладнень у кластері від загального числа таких ускладнень;
- відсоток спостережень, що відповідали певній статі пацієнта;
- відсоток спостережень, що відповідали певному часовому інтервалу спостережень (сон, активна діяльність та перехідні періоди від одного стану до другого).

5. Структурно-подібні кластери, що містять близькі за величиною показники (за подібністю середніх значень) додатково об'єднуються.

6. Однорідні групи спостережень, що утворились в результаті вказаних вище процедур в подальшому використовуються в якості функціональних патернів. Кожному патерну ставиться у відповідність назва патернів (етап спостереження, стать, вид ускладнення), тобто відповідна назва. Отже, отримані патерни розділяються на нормальні та патологічні через наявність певної патології (недостатність кровообігу, порушення ритму тощо).

В результаті проведено кластерного аналізу нелінійних характеристик СР, було підтверджено не залежність постановки діагнозу від етапу спостереження, що підтверджує результати, отримані при проведенні дисперсійного аналізу.

На рис. 3 – 5 зображено результати кластерного аналізу за етапами спостережень. З рисунків видно, що в середині кожного кластеру точки, що відповідають інтервалам спостережень, розташовувались близько одна до одної. Дані статистично значимо не розрізняються в залежності від етапу спостереження (сон, активний стан, перехідні періоди). Це дозволило підтвердити висновок про те, що етап спостереження не є інформативним показником при формуванні функціональних патернів ДСР. Тому у роботі досліджувалась статистична значимість різниці показників в залежності від діагнозу. Виявилось, що інформативними для діагностики були кластери 1, 4, 5, 6.

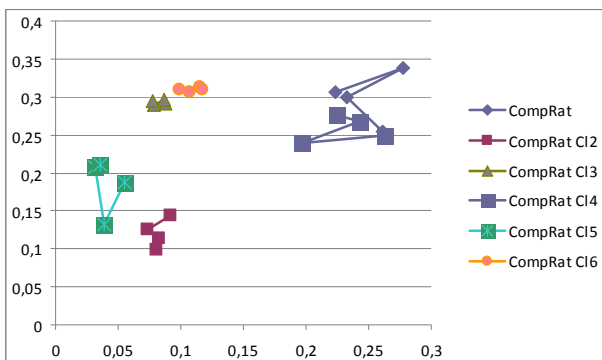


Рис. 3. Залежність складності від варіабельності коливань СР (значення коефіцієнту алгоритмічного стиснення за Колмогоровим від коефіцієнту варіації) для кожного з кластерів при кожному з інтервалів спостереження

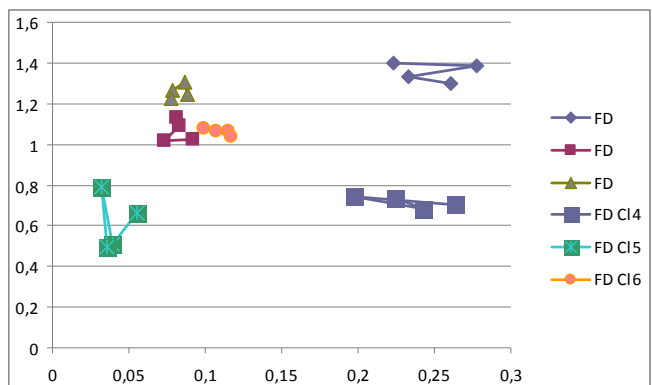


Рис. 4. Залежність складності від варіабельності коливань СР (значення фрактальної розмірності від коефіцієнту варіації) для кожного з кластерів при кожному з інтервалів спостереження

На рис. 6 - 8 зображено результати кластерного аналізу за діагнозами. Виявилось, що інформативними для діагностики були кластери 1, 4, 5, 6. Дані кластери є інформативними для передбачення погіршення або покращення стану, тобто можуть роздивлятися як функціональні патерни, що мають диференційовану внутрішню структуру, тобто кластер передбачає «світлі» проміжки у хворих з патологією та нормальні інтервали коливань СР. Інші, навпаки, передбачають періоди погіршення стану пацієнтів.

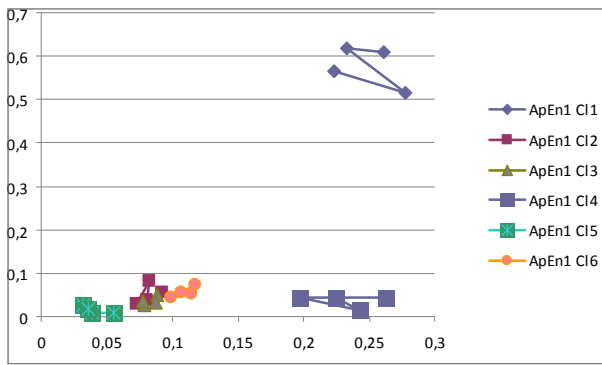


Рис. 5. Залежність складності від варіабельності коливань СР (значення апроксимаційної ентропії від коефіцієнту варіації) для кожного з кластерів при кожному з інтервалів спостереження

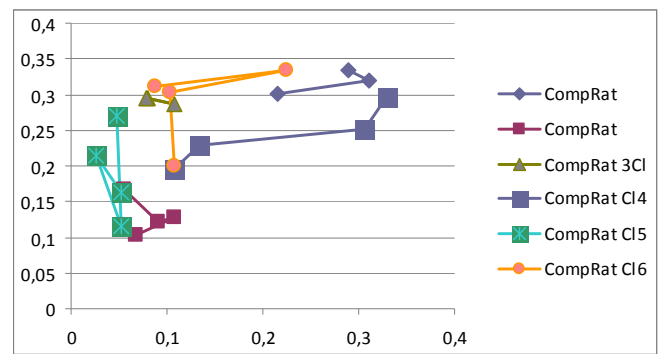


Рис. 6. Залежність складності від варіабельності коливань СР (значення коефіцієнту алгоритмічного стиснення за Колмогоровим від коефіцієнту варіації) для кожного з кластерів при кожному з діагнозів спостережень

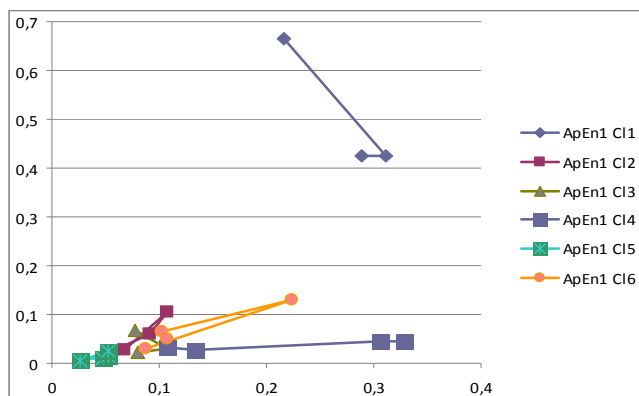


Рис. 7. Залежність складності від варіабельності коливань СР (значення апроксимаційної ентропії від коефіцієнту варіації) для кожного з кластерів при кожному з діагнозів спостережень

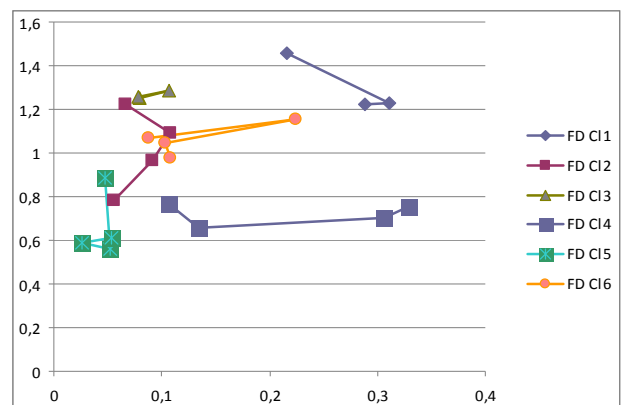


Рис. 8. Залежність складності від варіабельності коливань СР (значення фрактальної розмірності від коефіцієнту варіації) для кожного з кластерів при кожному з діагнозів спостережень

3. Висновки

В роботі було проведено статистичне порівняння показників станів кровообігу людини за етапами спостереження та діагнозами. В результаті проведеного аналізу було показано, що одним із способів підвищення ефективності аналізу СР є формування однорідних груп спостережень методами кластерного аналізу. В роботі показано, що з метою підвищення специфічності показників доцільним є проведено розподіл спостережень на високо компактні однорідні групи за допомогою автоматизованої класифікації – кластерного аналізу методом «к-середніх». При цьому виявилось, що ряд кластерів містить не інформативні інтервали коливань СР, а інші можуть роздивлятися як функціональні патерни, окремими фрагментами яких є діагнози, що досліджуються. Застосування описаної процедури кластеризації дозволить проводити донавчання або перенавчання діагностичної системи при зміні структури досліджуємих патологій (діагнозу).

Список літератури: 1.Olga Kyselova, Ievgen Nastenکو, Maksym Gerasymchuk. Method of human organism adaptive reserves level estimation. Journal "Biomedical Engineering Acta", vol. 4/2011. P. 193-200. 2.O. Kyselova, Ie. Nastenکو, M. Gerasymchuk. Heart rate complexity definition using Kolmogorov algorithmic complexity method. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, № 1/10 (49), 2011, P.11-14. 3.Антомонов М.Ю. Математическая обработка и анализ медико-биологических данных. – Киев: Изд-во „Малий друк”, 2006. – 558с.

Поступило в редколлегию 15.01.2012

УДК 656.13

Н.У. ГЮЛЕВ, канд.техн.наук, доц., ХНАГХ, Харьков

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ВОДИТЕЛЯ ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЯ

Викладено деякі особливості зміни функціонального стану водія вантажного автомобіля. Наведені результати відповідних досліджень.

Ключові слова: функціональний стан, транспортний затор, показник активності регуляторних систем.

Изложены некоторые особенности изменения функционального состояния водителя грузового автомобиля. Представлены результаты соответствующих исследований.

Ключевые слова: функциональное состояние, транспортный затор, показатель активности регуляторных систем.

Presents some particular changes in the functional condition of the driver of the truck. Presents the results of relevant studies.

Keywords: functional status, traffic congestion, the rate of activity of regulatory systems.

1. Введение

Транспортный процесс перевозки грузов и пассажиров во многом зависит от надежности работы системы «водитель-автомобиль-дорога-среда».

Безопасность и надежность работы этой системы на 70% зависит от водителя, который является ее главным звеном [1]. Поэтому при проектировании этой системы особое внимание необходимо уделять состоянию водителя.

2. Постановка проблемы

Формирование транспортных потоков происходит путем взаимодействия отдельно взятых автомобилей между собой и внешней средой. Во многом это взаимодействие носит случайный характер. Транспортный поток представляет собой сложную систему, требующую постоянного управления. Активным элементом этой системы является водитель, от состояния которого во многом зависит эффективность работы всей транспортной работы города.

Транспортный поток состоит из автомобилей, которые имеют разные динамические характеристики и которыми управляют водители с различной психофизиологией [2-5].

Все автомобили в транспортном потоке делятся на маршрутизированные и немаршрутизированные. Маршрутизированный транспорт должен придерживаться заранее определенных маршрутов, в отличие от немаршрутизированного, водители которого вольны в выборе пути следования.

По данным исследований в транспортном потоке легковые автомобили составляют 80-90%, грузовые – 5-15%, мототранспорт – 5-15% [6,7].

С увеличением интенсивности и плотности транспортного потока уменьшается скорость автомобиля. В условиях плотного транспортного потока водитель постоянно пребывает в напряженном состоянии, чтобы не допустить столкновения с впереди движущимся автомобилем. Дополнительное напряжение у водителей вызывают транспортные заторы особенно в утренний период «пик». Они приводят к ухудшению функционального состояния (ФС) водителя [8,9].

Еще большее напряжение в плотном транспортном потоке и в заторе испытывают водители грузовых автомобилей вследствие того, что эти автомобили имеют большие габариты и массу по сравнению с легковыми автомобилями [6]. Водителю грузового автомобиля приходится постоянно соблюдать не только дистанцию между ним и впереди едущим автомобилем, но и боковые зазоры с автомобилями, движущимися в соседних рядах.

Все это свидетельствует о необходимости проведения исследований по оценке изменения ФС водителей грузового транспорта.

3. Анализ последних исследований и публикаций

Количество транспортных заторов и их продолжительность зависит от правильной технологии организации дорожного движения.

Авторы работ [3,10-12] вопросы организации дорожного движения рассмотрели с учетом интенсивности, скорости и пропускной способности дорог.

В работах [4,10,11,13-16] рассмотрены закономерности формирования транспортных потоков и организация дорожного движения. Однако задача влияния транспортных заторов на ФС водителей грузовых автомобилей изучена не в полном объеме.

В работах [1,6,17-19] вопросы организации дорожного движения рассмотрены с учетом психофизиологии водителя. В них отмечено, что от технологии организации дорожного движения зависит ФС водителя. Однако вопросы исследования факторов, влияющих на ФС водителя грузового автомобиля в них рассмотрены не в полном объеме.

4. Цель исследования

Целью исследования является изучение особенностей изменения ФС водителя грузового автомобиля.

5. Основной материал

Большое нервно-эмоциональное напряжение водителя обусловлено постоянной готовностью реагировать на различные внезапно возникающие изменения дорожной обстановки.

Дополнительными причинами эмоционального напряжения водителей, в том числе и грузовых автомобилей являются: скорость движения, не соответствующая скорости потока транспортных средств; чувство ответственности за сохранность груза; безопасность пассажиров и свою собственную безопасность; неравномерность поступления информации, которая колеблется от полного отсутствия значимых раздражителей до десятков в минуту; частое принятие весьма ответственных решений.

С целью оценки влияния условий передвижения на ФС водителей грузовых автомобилей были проведены экспериментальные исследования.

ФС водителя оценивалось путем математического анализа сердечного ритма водителя и определения показателя активности регуляторных систем (ПАРС) в баллах по методу профессора Баевского Р.М. [20,21].

ПАРС является интегральным показателем оценки ФС. В зависимости от величины ПАРС определяется, в каком состоянии находится человек: до 3 баллов – нормальное состояние, с 3 до 6 баллов – состояние напряжения, с 6 до 8 баллов – состояние перенапряжения, с 8 до 10 баллов – состояние истощения [20,21]. Для анализа и сопоставления результатов исследований были допущены водители с одинаковым типом нервной системы, передвигавшиеся в одинаковых условиях, у которых начальное значение ПАРС было примерно одинаковое.

Результаты некоторых исследований приведены на рис.1. При этом для наглядности наряду с изменением ФС трех водителей грузовых автомобилей приведено и соответствующее изменение ФС водителя легкового автомобиля.

Как видно из рисунка, величина ФС водителей грузовых автомобилей и легкового автомобиля перед транспортным затором и в самом заторе возрастают. При этом рост прямо пропорционален грузоподъемности автомобиля. Однако после первого транспортного затора величина ФС водителей двух грузовых автомобилей и легкового автомобиля несколько снижается в отличие от водителя автомобиля наибольшей грузоподъемности КамАЗ 5511. Это объясняется более высоким напряжением условий работы этого водителя и инерционностью, вследствие больших габаритов и массы автомобиля.

Во втором транспортном заторе ФС водителя КамАЗ 5511 несколько улучшается, в то время, как у остальных водителей величина ФС возрастает. Это объясняется тем, что величина ПАРС у водителя КамАЗ 5511 превысил уровень перенапряжения и во втором транспортном заторе его степень напряжения несколько снижается. После второго транспортного затора величина ФС водителей грузовых автомобилей возрастает, а легкового автомобиля снижается. Это объясняется наличием соответствующих динамических и эргономических характеристик автомобилей.

6. Выводы и перспективы дальнейших исследований

Проведенные исследования свидетельствуют об объективном влиянии условий передвижения и эргономических характеристик автомобиля на изменение ФС водителя. При этом выявлено, что возрастание ФС водителей грузовых автомобилей происходит прямо пропорционально грузоподъемности автомобиля. Дальнейшие исследования могут быть направлены на установление

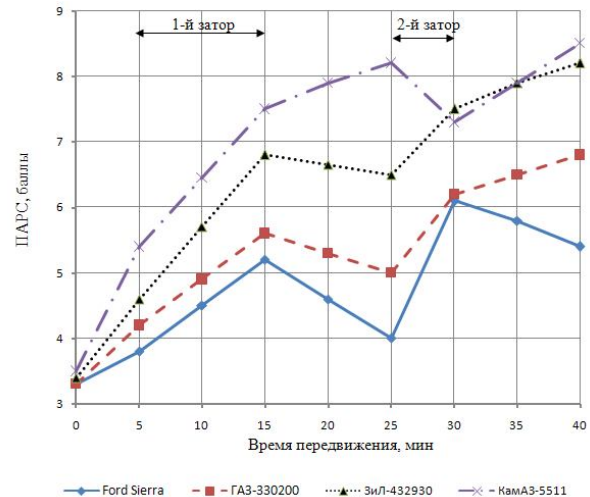


Рис. 1. Изменение функционального состояния водителей при передвижении на легковом и грузовых автомобилях

зависимости плотности транспортного потока от изменения ФС водителей грузовых автомобилей.

Список литературы: 1.Мишурин, В. М. Психофизиологические основы труда водителей автомобилей : учеб. пособие / В. М. Мишурин, А. Н. Романов, Н. А. Игнатов. — М. : МАДИ, 1982. — 254 с. 2.Печерский, М. П. Автоматизированные системы управления дорожным движением в городах / М. П. Печерский, Б. Г. Хорович. — М. : Транспорт, 1979. — 176 с. 3.Дрю, Д. Теория транспортных потоков и управление ими : пер. с англ. — М. : Транспорт, 1972. — 423 с. 4.Брайловский, Н. О. Моделирование транспортных систем / Н. О. Брайловский, Б. И. Грановский. — М. : Транспорт, 1978. — 125 с. 5.Брайловский, Н. О. Управление движением транспортных средств / Н. О. Брайловский, Б. И. Грановский. — М. : Транспорт, 1975. — 112 с. 6.Давідіч, Ю. О. Проектування автотранспортних технологічних процесів з урахуванням психофізіології водія / Ю. О. Давідіч. — Харків : ХНАДУ, 2006. — 292 с. 7.Бабков, В. Ф. Дорожные условия и режимы движения автомобилей / В. Ф. Бабков, М. Б. Афанасьев, А. П. Васильев. — М. : Транспорт, 1967. — 227 с. 8.Гюлев, Н.У. К вопросу о зависимости функционального состояния водителя от его индивидуально – типологических свойств / Н.У. Гюлев // Комунальне господарство міст: науково-технічний збірник. — Х.: ХНАМГ, 2011. — Вип. 97. — с. 314–319. 9.Гюлев, Н.У. Об изменении времени реакции водителя вследствие пребывания в транспортном заторе / Н. У. Гюлев // Вестник Национального технического университета «ХПИ». — 2011. — №2. — С. 117–120. 10.Хомяк, Я. В. Организация дорожного движения / Я. В. Хомяк. — К. : Вища школа, 1986. — 271 с. 11.Клинковштейн, Г. И. Организация дорожного движения / Г. И. Клинковштейн, М. Б. Афанасьев. — М. : Транспорт, 2001. — 247 с. 12.Системологія на транспорті : підручник у 5 кн. / під заг. ред. Дмитриченка М.Ф.— кн.IV: Організація дорожнього руху / Е.В.Гаврилов, М.Ф. Дмитриченко, В.К.Доля та ін. — К. : Знання України, 2007 р. — 452 с. 13.Автомобильные перевозки и организация дорожного движения: справочник. пер. с англ. / В.У. Рэнкин, П. Клафи, С. Халберт и др. — М. : Транспорт, 1981. — 592 с. 14.Романов, А. Г. Дорожные условия в городах: закономерности и тенденции / А. Г. Романов. — М. : Транспорт, 1984. — 80 с. 15.Бабков, В. Ф. Дорожные условия и безопасность движения / В. Ф. Бабков. — М. : Транспорт, 1982. — 288 с. 16.Хейт, Ф. Математическая теория транспортных потоков : пер. с англ. — М. : Мир, 1966. — 288 с. 17.Гюлев, Н.У. Влияние времени простоя автомобиля в дорожном заторе на функциональное состояние водителя / Н. У. Гюлев // Восточно-европейский журнал передовых технологий. — 2011. — Т.1/10(49). — С. 50–52. 18.Гюлев, Н.У. Модель влияния транспортного затора на функциональное состояние водителя / Н. У. Гюлев // Восточно-европейский журнал передовых технологий. — 2011. — Т.2/6(50). — С. 73–75. 19.Лобанов, Е. М. Проектирование дорог и организация движения с учетом психофизиологии водителя / Е. М. Лобанов. — М. : Транспорт, 1980. — 311 с. 20.Баевский, Р. М. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе / Р. М. Баевский, О. Н. Кириллов, С. З. Клецкин. — М. : Наука, 1984. — 222 с. 21.Парин, В. В. Космическая кардиология / В. В. Парин, Р. М. Баевский, Ю. Н. Волков, О. Г. Газенко. — Ленинград : Медицина, 1967. — 206 с.

Поступила в редколлегию 15.01.2012

УДК 621.373.072.9

В.В. РАПИН, канд.техн.наук, доц., УИПА, Харьков,

А.И. ФЕДЮШИН, канд.техн.наук, доц., УИПА, Харьков

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИНХРОНИЗИРОВАННОГО АВТОГЕНЕРАТОРА

Представлено математичну модель синхронізованого автогенератора з фазовим оберненим зв'язком, яка бере до уваги вплив природного шуму, та флуктуацій параметрів. Отримані рівняння мають бути використані для моделювання, як автогенераторів так і їх систем.

Ключові слова: автогенератор, синхронізація, фазовий обернений зв'язок, завадостійкість.

Представлена математическая модель синхронизированного автогенератора с фазовой обратной связью, учитывающая влияние естественных шумов и флуктуаций параметров. Полученные уравнения предназначены для моделирования, как отдельных автогенераторов, так и их систем.

Ключевые слова: автогенератор, синхронизация, фазовая обратная связь, помехоустойчивость.

This article represents mathematical model of synchronized oscillator with phase feedback, taking into account natural noises and fluctuation of the parameters. The obtained results intended for simulation of oscillators and their systems.

Key words: oscillator, synchronization, phase feedback, jam protection.

1. Введение

Синхронизированные автогенераторы широко используются в различных радиоэлектронных устройствах в радиотехнике, связи, информационно-измерительной технике, автоматике. Они позволяют выполнять такие операции как усиление АМ, ЧМ, ФМ сигналов, их детектирование, умножение и деление частоты, фазовую коррекцию, нелинейную фильтрацию и т.д. [1,2]. Дальнейшее совершенствование характеристик автогенераторных устройств привело к использованию в них фазовой обратной связи [3]. Это позволило в значительной мере реализовать потенциальные возможности синхронизированных автогенераторов. Однако влияние фазовой обратной связи на помехоустойчивость таких систем не исследована. Таким образом, целью статьи является разработка математической модели синхронизированного одноконтурного LC- автогенератора с фазовой обратной связью, которая бы позволяла моделировать функционирование его в разных режимах с учетом воздействия естественных шумов и флуктуаций крутизны.

2. Разработка математической модели

При синхронизации на основном тоне, рассмотрим автогенератор с трансформаторной обратной связью, представленный на рисунке 1.

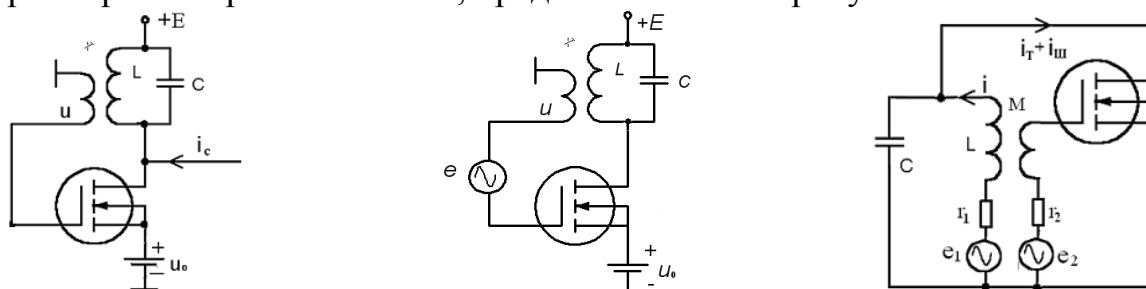


Рис.1. Схемы автогенераторов

а) синхронизация на основном тоне

б) режим умножения и деления частоты

в) эквивалентная схема автогенератора

Результаты, как известно, не изменятся существенно, если исходить из иной схемы одноконтурного автогенератора. Нелинейную характеристику усилительного элемента считаем безынерционной и при синхронизации на основном тоне аппроксимируем полиномом четвертой степени $i = a_0 + a_1 u_y + a_2 u_y^2 + a_3 u_y^3 + a_4 u_y^4$, где $u_y = u + u_0$ управляющее напряжение, u_0 -

смещение, а u -напряжение положительной обратной связи на входе усилительного элемента. Выражение $i_c = I_c \cos(\omega_c t + \psi)$ описывает непосредственный сигнал синхронизации. Исходный сигнал синхронизации представлен соотношением $i_c = I_c \cos(\omega_c t + \varphi_c)$. При исследовании воздействия естественных шумов на процесс синхронизации автогенератора будем исходить из эквивалентной схемы, представленной на рис. 1в.

Крутизна проходной динамической характеристики усилительного элемента автогенератора представлена в виде суммы детерминированной составляющей и флуктуационной $S = S_0 + S_\phi$. Тогда на основании законов Кирхгофа можно записать основное уравнение одноконтурного автогенератора в виде

$$\frac{d^2 u}{d\tau^2} - \varepsilon \frac{d}{d\tau} \{u - \beta u^2 - \gamma u^3 - \delta' u^4 - \frac{s_\phi}{s_0} (\frac{s_0}{\alpha_0} u + \beta u^2 + \gamma u^3 + \delta' u^4)\} + \frac{\omega_0^2}{\omega_c^2} u = \varepsilon \frac{KR}{\alpha} \frac{di_c}{d\tau} + E(\tau),$$

где

$$E(\tau) = \frac{M}{L} \frac{d^2 e_1}{d\tau^2} + M\omega_0 \frac{di_u}{d\tau} + \frac{d^2 e_2}{d\tau^2} + \frac{1}{Q} \frac{de_2}{d\tau} + e_2 - \text{выражение, описывающее шум,}$$

$\varepsilon = \delta_k \alpha$ -малый параметр; $\tau = \omega_c t$ -безразмерное время; $\alpha = (KR\alpha_0 - 1)$; $\beta = \beta_0 / \alpha_0'$; $\gamma = \gamma_0 / \alpha_0'$; $\delta = \delta_0 / \alpha_0'$; $\delta_0 = a_4$; $\alpha_0 = a_1 + 2a_2 u_0 + 3a_3 u_0^2 + 4a_4 u_0^3$; $\beta_0 = a_2 + 3a_3 u_0 + 6a_4 u_0^2$; $\gamma_0 = a_3 + 4a_4 u_0$; $\alpha_0' = -\alpha_0 + 1/(KR)$; $\delta_k = 1/Q$; ω_0, R, Q - резонансная частота контура автогенератора, его сопротивление и добротность, K -модуль коэффициента положительной обратной связи, M - взаимная индуктивность.

Учитывая высокую добротность контуров автогенераторов считаем амплитуду и фазу колебаний медленно меняющимися функциями времени. Решение вышеуказанных уравнений для квазигармонических автогенераторов, как известно, может быть найдено в виде $u = A \cos(\omega_c t + \varphi)$. Учет влияния фазовой обратной связи производится путем введения сдвига фазы сигнала автогенератора относительно внешнего сигнала синхронизации, т.е. $\theta = \varphi - \psi = k(\varphi - \varphi_c) = k\theta^0$, где параметр k характеризует фазовую обратную связь. Тогда, используя метод усреднения, можно получить укороченные уравнения

$$\frac{dy}{d\tau} + \frac{\varepsilon}{2} (y^3 - y) + \frac{\varepsilon}{2} (y^3 + \frac{s_0}{\alpha_0} y) \frac{s_\phi}{s_0} = \frac{\varepsilon B}{2\alpha} \cos(k\theta^0) + \frac{1}{A_0} (e_{10}(\tau) \cos \varphi - e_{20}(\tau) \sin \varphi),$$

$$\frac{d\theta^0}{d\tau} + \frac{\varepsilon B}{2\alpha y} \sin(k\theta^0) = -(\frac{\Delta\omega}{\omega_0}) - \frac{d\varphi_c}{d\tau} - \frac{1}{A_0 y} (e_{10}(\tau) \sin \varphi - e_{20}(\tau) \cos \varphi),$$

где $y = A / A_0$ -безразмерная амплитуда колебаний; $A_0 = \sqrt{4\alpha_0' / (3\gamma_0)}$ -амплитуда колебаний в автономном режиме; A -амплитуда колебаний автогенератора в режиме синхронизации; $B = I_c / I_0$, $I_0 = A_0 / R$; $|d\varphi_c / d\tau| \ll 1$, $(\Delta\omega / \omega_0) = (\omega_c - \omega_0) / \omega_0 \ll 1$,

$$e_{10}(\tau) = -\frac{1}{2\pi} \int_{\tau}^{\tau+2\pi} E_{(v)j} \sin v dv, \quad e_{20}(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{\tau}^{\tau+2\pi} E_{(v)j} \cos v dv.$$

При работе синхронизированных одноконтурных автогенераторов в режимах умножения или деления частоты в них устанавливают режим колебаний второго рода. В связи с этим нелинейная характеристика усилительного элемента

автогенератора аппроксимируется полиномом пятой или шестой степени

$$i = a_0 + a_1 u_y + a_2 u_y^2 + a_3 u_y^3 + a_4 u_y^4 + a_5 u_y^5 + a_6 u_y^6,$$

где $u_y = u + e + u_0$, u_0 - фиксированное смещение, $e = E \cos(\omega_c t + \psi)$ -

непосредственный сигнал синхронизации. Исходный сигнал синхронизации представлен соотношением $e_c = E_c \cos(\omega_c t + \varphi_c)$. Считаем, что контур автогенератора имеет высокую добротность, а амплитуда и фаза колебаний являются медленно меняющимися функциями. Тогда решением вышеприведенного уравнения, как известно, является выражение $u = A \cos(\omega_c t + \varphi)$, где $\omega_c = m / n \omega_0$ - частота генерирования. По аналогии с предыдущими случаями, можно получить укороченные уравнения для малых сигналов синхронизации в виде

$$\begin{aligned} \frac{dy}{d\tau} + \frac{\varepsilon}{2} (b_0 y^5 + b_1 y^3 + b_2 y) &= \frac{\varepsilon}{2} B_{1(y)} \cos(k\theta^0) + \frac{1}{A_0} (e_{10}(\tau_j) \cos - e_{20}(\tau) \sin \varphi), \\ \frac{d\theta^0}{d\tau} + n \frac{\varepsilon}{2} B_{2(y)} \sin(k\theta^0) &= -n \left(\frac{\Delta\omega}{\omega_0} \right) - m \frac{d\varphi_c}{d\tau} - \frac{1}{A_0 y} (e_{10}(\tau) \sin \varphi - e_{20}(\tau) \cos \varphi), \end{aligned} \quad (1)$$

где

m и n - небольшие неравные целые числа, $(\Delta\omega / \omega_0) = (m / n \omega_c - \omega_0) / \omega_0 \ll 1$,

$$\theta^0 = n\varphi - m\varphi_c.$$

Выражения для коэффициентов B , входящих в полученные уравнения, существенным образом зависят от режима работы синхронизированного автогенератора.

Например, при умножении частоты в два раза, $n = 1$, $m = 2$, они имеют вид:

$$B_{1(y)} = B_1 + B_2 y^2 + B_3 y^4, \quad B_{2(y)} = -(B_4 / y + B_5 y + B_6 y^3),$$

$$B_1 = -B_4 = -\frac{E^2}{2A_0} (\beta + \delta E^2 + 15/16 g E^4), \quad B_2 = -\frac{9}{4} E^2 A_0 (\delta + 5/2 g E^2), \quad B_3 = -\frac{75}{16} g E^2 A_0^3,$$

$$B_5 = \frac{3}{4} E^2 A_0 (\delta + 5/2 g E^2), \quad B_6 = \frac{15}{16} g E^2 A_0^3.$$

Для режима умножения на три, $n = 1$, $m = 3$ меняются следующие коэффициенты, $B_{1(y)} = -(B_1 + B_2 y^2)$, $B_{2(y)} = -(B_3 / y + B_4 y)$, $B_2 = B_4 = 15 f E^3 A_0 / 8$, $B_1 = B_3 = E^3 (\gamma + 5/4 f E^2) / (4 A_0)$.

Для режима деления на два, $n = 2$, $m = 1$, $B_{1(y)} = -(B_1 y + B_2 y^3 + B_3 y^5)$, $B_{2(y)} = -(B_4 + B_5 y^2)$, $B_1 = B_4 = (\frac{3}{2} \delta E^2 + \beta) E$, $B_2 = E (2\delta + 15/2 g E^2) A_0^2$, $B_3 = 15/4 g E A_0^4$, $B_5 = E (\delta + 45/8 g E^2) A_0^2$.

В случае режима деления на три, $n = 3$, $m = 1$, $B_{1(y)} = -(B_1 y^2 + B_2 y^4)$, $B_{2(y)} = -(B_3 y + B_4 y^3)$. $B_1 = B_3 = 3E(\gamma + 5fE^2/2)A_0/4$, $B_2 = 25fEA_0^3/16$, $B_4 = 15fEA_0^3/16$.

В вышеприведенные соотношения входят также выражения

$$b_0 = \frac{5}{8} f A_0^4, \quad b_1 = \frac{3}{4} A_0^2 (5fE^2 + \gamma), \quad b_2 = -1 + \frac{3}{2} \gamma E^2 + \frac{15}{8} f E^4, \quad \beta = \beta_0 / \alpha_0', \quad \gamma_j = \gamma_{0j} / \alpha_{0j}',$$

$$\delta = \delta_0 / \alpha_0', \quad f = f_0 / \alpha_0', \quad g = g_0 / \alpha_0', \quad \alpha_0 = a_1 + 2a_2u_0 + 3a_3u_0^2 + 4a_4u_0^3 + 5a_5u_0^4 + 6a_6u_0^5, \\ \beta_0 = a_2 + 3a_3u_0 + 6a_4u_0^2 + 10a_5u_0^3 + 15a_6u_0^4, \quad \delta_0 = a_4 + 5a_5u_0 + 15a_6u_0^2 \quad f_0 = a_5 + 6a_6u_0 \quad g_0 = a_6 \\ \gamma_0 = a_3 + 4a_4u_0 + 10a_5u_0^2 + 20a_6u_0^3.$$

Уравнения (1) с соответствующими коэффициентами и являются математической моделью синхронизированного одноконтурного ЛС-автогенератора, работающего в режиме умножения и деления частоты. Ввиду малых непосредственных сигналов синхронизации $|B_{1(y)}| \ll 1$, и $|B_{2(y)}| \ll 1$

Все разнообразие полученных укороченных уравнений автогенератора, как при синхронизации на основном тоне так и в режимах умножения и деления частоты можно представить в общем виде.

$$\frac{dy}{d\tau} + \frac{\varepsilon}{2} B_{0(y)} = \frac{\varepsilon}{2} B_{1(y)} \cos k\theta^0 + \frac{\varepsilon}{2} B_{s(y)} \frac{s\phi}{s_0} + \frac{1}{A_{0j}} (e_{10(\tau)} \cos \varphi - e_{20(\tau)} \sin \varphi),$$

$$\frac{d\theta^0}{d\tau} + n \frac{\varepsilon}{2} B_{2(y)} \sin k\theta^0 = -n \left(\frac{\Delta\omega}{\omega_0} \right) - m \frac{d\varphi_c}{d\tau} - \frac{1}{A_{0j}} (e_{10(\tau)} \sin \varphi - e_{20(\tau)} \cos \varphi).$$

Эти уравнения и являются обобщенной математической моделью синхронизированных автогенераторов с фазовой обратной связью.

3. Эксперимент

Проверка полученных теоретических соотношений заключалась в определении различий между реальной амплитудой колебаний и полученной в результате численного решения укороченных уравнений для экспериментального автогенератора. Решение проводилось методом Рунге-Кутты четвертого порядка. Исследовался синхронизированный на основном тоне автогенератора с параметрами $f_0 = 50 \text{ kHz}$, $\varepsilon = 1.7 \times 10^{-3}$, $R = 7.5 \text{ k}\Omega$, $u_0 = -1 \text{ V}$, $K = 0.16$, $I_c = 8 \mu\text{A}$,

$\delta = 0.0213$, $B/\alpha = 0.133$. Проходная динамическая характеристика его усилительного элемента аппроксимировалась полиномом

$$i = 1.538 + 1.302u_c - 0.356u_c^2 - 0.502u_c^3 - 0.098u_c^4$$

мА. Различие между теорией и экспериментом в полосе синхронизации представлено на рис. 2.

Легко видеть хорошее совпадение теоретических и экспериментальных данных. Это означает достаточно малую погрешность разработанных математических моделей.

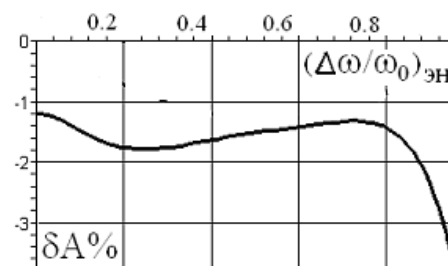


Рис. 2. Несоответствие расчетных и экспериментальных данных

Список литературы: 1. Kaushik Sengupta, T. K. Bhattacharyya, Hossein Hashemi, A Nonlinear Transient Analysis of Regenerative Frequency Dividers// IEEE Transactions. Circuits and Systems, 2007, CAS-54, № 12, p.2646-2660. 2. Геллер Л.Я. Усилительные свойства автоколебательной системы, находящейся под действием амплитудно-модулированного сигнала // Вопросы радиоэлектроники, сер. "Техника радиосвязи". -1972. -№5. -С. 145-150. 3. Rapin. V. Synchronized oscillators with the phase negative feedback// IEEE Transactions. Circuits and Systems, 2002, CAS-49, № 8, p.1242-1245.

Поступила в редколлегию 15.01.2012

М.А. НЕФЬОДОВ, канд.,техн.,наук, доц., ХНАДУ, Харків
Н.В. ПТИЦЯ, асис., ХНАДУ, Харків

ДО ПРОБЛЕМИ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ВАРТОСТІ ГОДИНИ ВІЛЬНОГО ЧАСУ

Розглядаються існуючі методик визначення вартості вільного часу населення і його впливу на зміну об'ємів реалізації підприємства. Представлена альтернативна аналітична модель розрахунку вартості години вільного часу.

Ключові слова. Вартість вільного часу, радіус обслуговування клієнтури, рівень обслуговування, об'єм реалізації підприємства.

Рассматриваются существующие методики определения стоимости свободного времени населения и его влияния на изменение объемов реализации предприятия. Представлена альтернативная аналитическая модель расчета стоимости часа свободного времени.

Ключевые слова. Стоимость свободного времени, радиус обслуживания клиентуры, уровень обслуживания, объем реализации предприятия.

Existent methodologies of determination of cost of notice time of population and his influence are examined on the change of volumes of realization of enterprise. The alternative analytical model of calculation of cost of notice time is presented.

Keywords: Cost of spare time, radius of service, level of service, volume of realization.

1. Вступ

У багатьох дослідженнях, присвячених проблемам логістики, вказується на існування оптимального рівня обслуговування клієнтури, який визначається як частина витрат часу або фінансових коштів клієнта, пов'язаних з придбанням продукту, що приймаються на себе підприємством. При цьому втрати підприємства від недостатньо високого рівня обслуговування виражаються у зниженні доходів через зниження об'ємів реалізації продукції.

Серед інших чинників, що визначають витрати на придбання продукту, неминучою складовою є час і, відповідно, витрати клієнта на комунікаційну складову замовлення, тобто на те, щоб дістатися до пункту, де отримується продукт і на те, щоб доставити продукт до місця споживання [1]. Час, який покупець витрачає на придбання товару, є витратоутворюючим показником, який має свою вартість – вартість вільного часу, величина якого безпосередньо залежить від віддалення пункту реалізації продукту від клієнта, що є похідною радіусу обслуговування торгівельної мережі.

2. Аналіз публікацій

Вільний від роботи час індивід розглядає як благо, хоча б тому, що воно необхідне для споживання всіх інших благ, а оскільки загальний час обмежений робочим, то кожна година праці скорочує вільний час [2].

Наочно представити дію вільного часу на добробут індивіда, можна побудувавши його карту байдужості у просторі двох благ: вільного часу (F) і грошей

(М), що представляють всі інші блага (рис.1). Вона характеризує переваги суб'єкта щодо різних комбінацій вільного часу і грошей. Опуклість кривих байдужості до початку координат указує на те, що для збереження добробуту індивіда на незмінному рівні скорочення кожної додаткової години вільного часу повинне компенсувати все зростаючою сумою грошей. Чим далі крива байдужості знаходиться від початку координат, тим більше високий рівень добробуту вона представляє.

Якщо відома ціна праці, тобто кількість грошей, яка отримується за його одиницю, то можна дізнатися, скільки праці схоче продати індивід. Позначимо ставку годинної зарплати r_L . Тоді денний зарібок індивіда визначається по формулі:

$$W = (24 - F)r_L \quad (1)$$

Представлена в графічному вигляді вона утворює пряму заробітної платні, зображену на малюнку 2. Кожна точка цієї прямої показує доступні індивіду при даній ставці зарплати поєднання вільного часу і грошей.

З іншого боку, кожна точка кривих байдужості на рис. 1 представляє бажані індивідом поєднання цих благ – вільного часу і грошей. Наклавши пряму заробітної платні на карту байдужості індивіда, можна представити, яку кількість праці він запропонує (від якої кількості вільного часу відмовиться) при даній ціні праці. Іншими словами вільний час прирівнюється до ціни праці[3].

Наступна методика розрахунку вартісної оцінки години вільного часу громадян, яка використовується в методиці для визначення соціально-економічного ефекту і величини економії прямих витрат громадян на отримання роздрібних банківських послуг виглядає таким чином[4]:

$$C_{вч} = \frac{3\Pi_m}{\Phi_{чм} - (\Phi_{рм} + \Phi_{ом})} \quad (2)$$

де: $3\Pi_m$ – середньомісячна зарплата працівників;

$\Phi_{чм}$ – годинний фонд календарного місяця;

$\Phi_{рм}$ – місячний фонд робочого часу;

$\Phi_{ом}$ – місячний фонд вільного часу.

У основу розрахунку по даній методиці встановлена наступна теза: людина частину часу витрачає на роботу (8 годин), іншу частину на відпочинок (сон), приготування і споживання їжі (8+2). Якщо відняти з 24 годин 18, одержимо час, який умовно можна назвати вільним [4].

Для розрахунку вільного часу можна використовувати також закон Вальраса. Відповідно до цього закону: якщо десь є надмірний попит, то, значить, існує

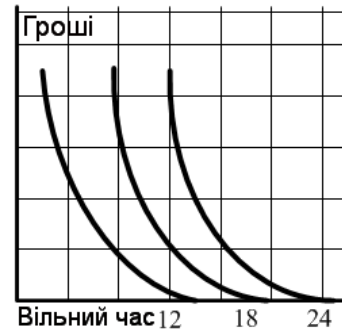


Рис. 1. Карта байдужості в просторі "вільний час – гроші"

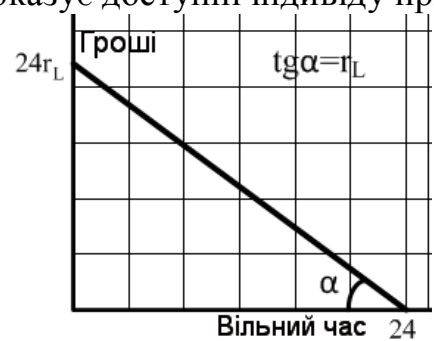


Рис. 2. Пряма заробітної плати

інадмірна пропозиція. Враховуючи його такий загальний характер, названий закон повинен охоплювати абсолютно всі блага, які має в своєму розпорядженні суспільство. Іншими словами, разом з традиційними економічними ресурсами, товарами і послугами можна розглядати в рамках закону Вальраса і нетрадиційні ресурси.

Сутність нетрадиційних видів споживання задоволень (читання книг, переглядання кінофільмів і т.ін.) полягає в тому, що всі вони пов'язані з дозвіллям людини і для своєї реалізації вимагають наявності вільного часу. Очевидно, що всі ці задоволення утворюють своєрідні економічні ринки, які також повинні бути включені у вальрасівську схему рівноваги.

Нехай серед товарних ринків в рівнянні останній m -й ринок є ринок вільного часу. Тоді надмірний попит на ньому можна записати таким чином:

$$D_{cv} = (D_m - S_m) \sqcup P_m \quad (3)$$

де D_{cv} - надмірний попит на ринку вільного часу;

D_m , S_m і P_m – відповідно попит, пропозиція і ціна вільного часу.

Категорія ціни вільного часу є вельми туманною, оскільки її ніхто і ніде не встановлює. Якщо ж немає ціни на даний ресурс, то він не може бути включений в схему загальної рівноваги. Рішення даної проблеми можливий тільки якщо припустити, що закон Вальраса має справу не тільки з фактичними (ринковими) цінами, оголошеними на ринку, але з "повними" або тіньовими цінами, що враховують ряд прихованих сторін ціноутворення. Зокрема, вільний час не купується і не продається, але це не означає, що він не має ціни. Тому аналогічний підхід може бути реалізований і відносно вільного часу. Так, величина останнього тісно пов'язана з робочим часом, загальним фондом часу, який має в своєму розпорядженні індивідуум. Відповідно відмова від роботи на користь дозвілля означає втрату певної величини доходу, яка визначається виходячи з середньогодинної оплати праці P_m з деяким коефіцієнтом "надбавки" $k > 1$. Тоді стан ринку вільного часу характеризується співвідношенням:

$$D_{cv} = (D_m - S_m) \sqcup k P_m. \quad (4)$$

Параметр k тут має достатньо прозорий економічний сенс, відображаючи суб'єктивні переваги індивідуумів при оцінці вартості наднормових годин роботи (на практиці такі години завжди дорожче основних). Резюмуючи сказане, рівняння Вальраса можна записати таким чином:

$$\sum_{j=1}^{m-1} (D_j - S_j) P_j + \sum_{l=1}^{\gamma} (D_{l_m} - S_{l_m}) k_l P_{l_m} + \sum_{i=1}^n \left(W_i - \frac{M}{V_i} \right) C_i = 0 \quad (5)$$

де l – індекс індивідуума (введення даного індексу обумовлено тим, що кожна людина формує свій власний ринок вільного часу);

W_i , M – відповідно попит і пропозиція i -го виду грошових коштів;

V_i , C_i – швидкість обігу і ціна i -го виду грошових коштів [5].

Економіст Melville Z. Wolfson представив результати в області дослідження дозвілля (вільного часу). Досліджуючи той факт, що вартість вільного часу прирівнювалася до вартості робочого часу, він дійшов висновку, що такий підхід недооцінює втрачений вільний час. Спираючись на твердження, що вартість наднормової години більше, він запропонував використовувати кратні числа 1.5,

2.0, 3.0, як коефіцієнти цінності для розрахунку вартості вільного часу. Інтереси індивідуумів полягають в тому, що для них вільна година більш цінна, ніж година роботи. Тому година вільного часу дорівнює вартості години роботи помноженої на коефіцієнт цінності вільного часу [6]:

$$C_{CB} = C_{PB} \cdot k \quad (6)$$

де: k – коефіцієнт цінності вільного часу;

C_{PB} – вартість робочого часу.

3. Постановка задачі

Віддалення пункту реалізації продукту від клієнта - радіус обслуговування, істотно впливає на витрати клієнта на комунікаційну складову його витрат. Оскільки покупець витрачає свій вільний час на придбання товару, воно є витратоутворюючим показником, який має свою вартість. При цьому втрати підприємства від недостатньо високого рівня обслуговування виявляються зниженням об'ємів реалізації продукції, і, як наслідок, доходів підприємства. Чим більше витрати часу покупця, тим більше будуть втрати доходу підприємства [7]. Таким чином, необхідно визначити вартість години вільного часу населення, що дасть можливість науково обґрунтувати його вплив на радіус обслуговування клієнтури, який веде до зміни об'ємів реалізації підприємства, а отже і до зміни об'ємів логістичних операцій.

4. Рішення задачі

Закладене в людині прагнення до підприємництва зобов'язало її отримувати «прибуток» зі всього, включаючи свій вільний час. Оскільки вільний час має більше альтернатив, ніж робочий, то і його цінність для індивідуума є більшою. Це в собі відображає стаття 106 Кзот : «Оплата работы в неурочное время. По почасовой системе оплаты труда работа в неурочное время оплачивается в двойном размере часовой ставки». Чим вище добробут індивіда, тим дорожче він оцінює свій вільний час щодо робочого.

Для окремого індивідуума з тривалістю робочого часу 8 годин, вартістю години робочого часу 11 грн/ч, результати розрахунків по вище представленим методиках різняться між собою. Так, по методиці яка представлена формулою 2 вартість години вільного часу склала 9,1 грн/год, відповідно по методиці за законом Вальраса – 0,5грн/год, а якщо використовувати коефіцієнти запропоновані М. Вольфсоном – відповідно 16,5 грн/год, 22 грн/год, 33 грн/год.

Основна частина покупок клієнтами, здійснюється у позаробочий час, тобто, вільний, таким чином його значення має безпосередній вплив на величину параметру радіус обслуговування клієнтури. Представивши в грошовій формі тимчасові витрати клієнта стає можливим визначити оптимальне значення радіусу обслуговування клієнтури, яке дасть можливість мінімізувати зниження об'ємів підприємства від недостатнього рівня обслуговування.

5. Висновок

Проведений аналіз дозволяє зробити наступні висновки:

- результати розрахунків по вищепредставленим методиках істотно відрізняються між собою і не відображають відношення індивідуума до свого вільного часу;

- численні дослідження в області вільного часу вказують, що його вартість перевищує вартість робочого часу. З розглянутих методик найбільш вірно це відображає методика з використанням коефіцієнтів цінності вільного часу запропонована М. Вольфсоном;

- оцінка вартостівільного часу дасть можливістьуправляти таким параметром торгової мережі як радіус обслуговування клієнтури, що у свою чергу дозволить максимізувати синергетичний ефект від діяльності логістики і маркетингу.

Список літератури: 1. *Нефьодов Н.А.* Маркетинговые аспекты логистики // Вестник ХГАДТУ. – вып. 8. – Харьков. – 1999. – С. 70-72. 2. *В.С.Васильев.* Фактор времени в общественных процессах // США: экономика, политика, идеология. 1993. №9. Сс.45-53 3. *Тарасевич В.С., Гребенников П.И., Леусский А.И.* – Микроэкономика – М.: «Юрайт» - 2006. – 375с. 4. *Юдин, В. В.* Перспективы дистанционного банковского обслуживания физических лиц // Банковские услуги. - 2006. - N 2. - С. 17-24 5. *Балацкий Е.В.* Свободное время как фактор экономического равновесия / Капитал страны // Федеральное интернет-издание. 6. *Melville Z. Wolfson Is Leisure Time Worth More Than Working Time?* // Journal of Forensic Economics - 14(1), - 2001, - pp.35-36. 7. *Уотерс Д.* Логистика. Управление цепью поставок: Пер. с англ. – М.: ЮНИТИ – ДАНА, 2003. – 503с.

Поступила в редколлегию 15.01.2012

УДК 656:681.518.5

А.Н. ГОРЯИНОВ, канд. техн. наук, доц., ХНАГХ, Харьков

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ В ТЕОРИИ ТРАНСПОРТНОЙ ДИАГНОСТИКИ

Виділені підходи до визначення ефективності систем діагностування в транспортній діагностиці. Запропонована класифікація показників ефективності.

Ключові слова: система діагностування, ефективність, транспорт, показник

Выделены подходы к определению эффективности систем диагностирования в транспортной диагностике. Предложена классификация показателей эффективности.

Ключевые слова: система диагностирования, эффективность, транспорт, показатель

Approaches to definition of diagnosing systems efficiency in transport diagnostics are allocated. Classification of efficiency indicators is offered.

Keywords: system of diagnosing, efficiency, transport, indicator

1. Введение

Современное состояние развития систем диагностирования на транспорте свидетельствует о неоднозначности таких систем в рамках отдельных видов диагностики. Речь идет, прежде всего, о таких видах диагностики как техническая и экономическая, которые являются базовыми для формирования методологии транспортной диагностики (согласно [1]). Если в рамках общей теории технической диагностики реализуется полный комплекс мероприятий по проектированию и использованию систем диагностирования (например, [2]), то в рамках экономической диагностики, в основном, все ограничивается разработкой алгоритмов диагностирования и построением диагностической модели (например, [3]). Соответственно, вопросы оценки эффективности систем диагностирования в экономической диагностике также не рассматриваются. Возможно, такое состояние дел относится лишь к текущему этапу развития

экономической диагностики и в будущем можно ожидать появление исследований в этом направлении.

В рамках теории транспортной диагностики предусматривается рассмотрение полного комплекса вопросов использования систем диагностирования. Это, отчасти, обосновано отнесением транспортной (технологической) диагностики в разряд подвида технической диагностики [4], что подразумевает преемственность (аналогию) основных методологических основ. Однако на текущий момент отсутствуют сформированные принципы определения (оценки) эффективности систем диагностирования в рамках транспортной диагностики. Поэтому является актуальным проведение исследований в этом направлении.

2. Анализ публикаций

Проведенный анализ работ по технической диагностике на транспорте (например, [5-7]) и транспортной диагностике (например, [8]) свидетельствует о том, что вопросам оценки эффективности систем диагностирования уделяется недостаточно внимания. В то же время в рамках общих работ по технической диагностике существуют исследования (например, [9]), которые содержат необходимую базу знаний для применения в теории транспортной диагностики. Следовательно, можно считать целесообразным изучение опыта оценки систем диагностирования в технической диагностике и адаптирование используемых методик на сферу транспорта.

3. Цель и постановка задачи

В данной работе целью является формирование подхода по определению эффективности систем диагностирования в рамках транспортной диагностики.

4. Результаты исследования

Анализ литературных источников позволил выявить два основных термина, которые характеризуют эффективность реализации диагностики: эффективность диагностирования [10, с.127] и эффективность систем диагностирования [9, с.232; 11, с.101]. Согласно [10, с.127], «Эффективность диагностирования – степень приспособленности методов и контрольно-диагностических средств к определению технического состояния автомобиля». Определить значение термина «эффективность систем диагностирования» в литературе не удалось.

Проводя детальное исследование термина «эффективность диагностирования» и показателей оценки эффективности (рис. 1), которые представлены в [10, с.127] и сравнивая с данными работ [9, с.6, 232; 11, с.101], можно сделать вывод, что рассматриваемые вопросы эффективности в основном идентичны. Это видно и на примере работы [9], в которой встречаются оба термина, но в одном понимании [9, с.6, 232]. Другими словами контекст понятий «эффективность диагностирования» и «эффективность систем диагностирования» очень близкий. В то же время можно говорить о семантических различиях указанных понятий. В понятии «эффективность диагностирования» подчеркивается сам процесс диагностирования, динамика событий. Понятие «эффективность систем диагностирования» более емкое и может включать и статические и динамические характеристики диагностики.

С одной стороны, термин «эффективность систем диагностирования»

используется в рамках проектирования систем диагностирования и проводится на заключительном этапе проектирования (согласно [9, с.232]). С другой стороны, сама реализация диагностирования в процессе функционирования систем диагностирования может быть различна, т.е. эффективная система

диагностирования с точки зрения проектирования может работать неэффективно в процесс своего функционирования. Поэтому предлагается для разрешения существующих противоречий выделить в рамках эффективности систем диагностирования две стадии: стадия проектирования (или перепроектирования) и стадия использования (функционирования). При таком разделении рассматриваемый термин «эффективность диагностирования» будет относиться к стадии «использование» в рамках эффективности систем диагностирования.

Учитывая определение эффективности диагностирования, которое приведено выше, предлагается для транспортной диагностики следующее определение эффективности систем диагностирования (с учетом определения транспортной диагностики – [12]): эффективность систем диагностирования – степень

приспособленности методов и средств диагностики к определению состояния объектов диагностирования на транспорте. С учетом этого можно предложить следующую схему показателей оценки эффективности диагностирования на транспорте – рис. 2.

Наиболее важными и изученными показателями оценки эффективности систем диагностирования на стадии проектирования являются: вероятность правильной оценки состояния объекта диагностирования и степень повышения эффективности объекта диагностирования. Данным показателям следует уделять наибольшее значение, т.к. они в наибольшей степени связаны с назначением



Рис. 1. Схема существующих показателей эффективности в технической диагностике: а) на основании [10, с.127]; б) на основании [9, с.232]

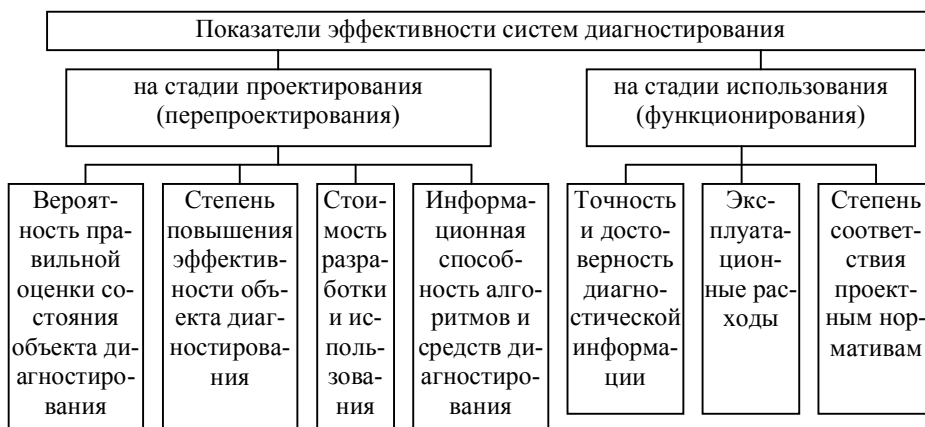


Рис. 2. Схема показателей эффективности систем диагностирования в транспортной диагностике (предлагается на основании [9, с.232; 10, с.127])

системы диагностирования – с определением состояния объекта диагностирования. Согласно [9, с.241-242] указанные показатели взаимосвязаны. Проследим это на ниже приведенных выражениях, адаптируя их под использование в рамках транспортной диагностики (на основании [9, с. 241-242; 11, с.101]):

$$\Delta E(t) = E_D(t) - E(t), \quad (1)$$

$$\Delta E_P(t) = P_D(t) - P(t), \quad (2)$$

$$\Delta E_{Kg}(t) = K_D^g(t) - K^g(t), \quad (3)$$

$$E(t) = E_0(t)P(t), \quad (4)$$

$$E(t) = E_0(t)K_N(t), \quad (5)$$

$$E^{rel}(t) = [E_D(t) - E(t)]/[E_D^{100}(t) - E(t)], \quad (6)$$

$$E_P^{rel}(t) = [P_D(t) - P(t)]/[P_D^{100}(t) - P(t)], \quad (7)$$

$$E_{Kg}^{rel}(t) = [K_D^g(t) - K^g(t)]/[K_D^{g100}(t) - K^g(t)], \quad (8)$$

$$E^{rel}(t) = [E_D(t) - E(t)]/E(t), \quad (9)$$

где $\Delta E(t), \Delta E_P(t), \Delta E_{Kg}(t)$ - соответственно абсолютное приращение эффективности объекта диагностирования (ОД), приращение надежности ОД и приращение готовности ОД; $E_D(t)$ - эффективность ОД при использовании диагностирования; $E(t)$ - эффективность ОД при отсутствии диагностирования; $P(t)$ - вероятность безотказной работы ОД при отсутствии диагностирования; $P_D(t)$ - вероятность безотказной работы ОД при использовании диагностирования; $K^g(t), K_D^g(t)$ - коэффициент готовности ОД соответственно при отсутствии диагностирования и при наличии диагностирования; $E_0(t)$ - условная эффективность ОД, обладающего идеальной надежностью; $K_N(t)$ - составляющая, которая характеризует надежность ОД; $E^{rel}(t), E_P^{rel}(t), E_{Kg}^{rel}(t)$ - соответственно относительное приращение эффективности ОД, приращение надежности ОД и приращение готовности ОД; $E_D^{100}(t), P_D^{100}(t), K_D^{g100}(t)$ - соответственно эффективность ОД, вероятность безотказной работы ОД, коэффициент готовности ОД при абсолютных средствах диагностирования и абсолютной достоверности диагноза.

Отметим, что выражения (5), (9) представлены в соответствии с данными работы [9, с.241-242], выражение (1) соответствует двум источникам [9; 11], выражения (2)-(4), (6)-(8) приведены согласно [11, с.101]. Выражение (9) можно считать разновидностью выражения (6). Это позволяет упростить расчет показателя эффективности. Следует также учитывать, что диагностирование в основном влияет именно на показатель надежности (согласно [11, с.101]). Следовательно, при определении эффективности системы диагностирования показатель надежности является ключевым показателем.

Учитывая исследования работ [9; 11], предлагается выделить два подхода к определению эффективности систем диагностирования в рамках транспортной диагностики – упрощенный и детализированный (индивидуальный). Суть упрощенного подхода заключается в проведении расчетов по показателям эффективности с минимальным учетом факторов, которые характеризуют ОД, средства диагностирования и их взаимодействие. При таком подходе

большинство недостающих данных следует получать путем экспертных оценок. Детализированный подход подразумевает подробное изучение характеристик всех элементов системы диагностирования с учетом их индивидуальных особенностей. Основным средством получения значений эффективности является моделирование. Наглядно отличие указанных подходов можно продемонстрировать, сгруппировав выражения (1) – (9), с учетом ряда подстановок, в виде табл. 1. В данной таблице в рамках упрощенного подхода представлен также измененный вариант выражения (8) по аналогии с выражением (9).

Таблица 1. Сравнение подходов к определению эффективности систем диагностирования в теории транспортной диагностики

Упрощенный подход	Детализированный (индивидуальный)
$\Delta E(t) = E_D(t) - E(t) = E_D(t) - E_0(t)K_N(t)$	$\Delta E(t) = E_D(t) - E(t) = E_D(t) - E_0(t)P(t)$
$\Delta E_{Kg}(t) = K_D^g(t) - K^g(t)$	$\Delta E_P(t) = P_D(t) - P(t)$
$E^{rel}(t) = [E_D(t) - E(t)] / E(t)$	$E^{rel}(t) = [E_D(t) - E(t)] / [E_D^{100}(t) - E(t)]$
$E_{Kg}^{rel}(t) = [K_D^g(t) - K^g(t)] / K^g(t)$	$E_P^{rel}(t) = [P_D(t) - P(t)] / [P_D^{100}(t) - P(t)]$
	$E_{Kg}^{rel}(t) = [K_D^g(t) - K^g(t)] / [K_D^{g100}(t) - K^g(t)]$

Одним из неизученных вопросов, который сдерживает развитие детализированного подхода можно считать вопрос описания и классификации средств диагностирования в транспортной диагностике. Это не позволяет в полной мере осуществлять формализацию показателей системы диагностирования и, соответственно, препятствует осуществлению моделирования значений эффективности. Учитывая технологическую особенность транспортной диагностики, предлагается на этом этапе формирования методологии предложить следующее название средств диагностирования – технико-технологические средства диагностирования. Здесь мы подразумеваем возможность использования при проведении диагностирования объектов транспорта как технических (например, детекторы транспорта), так и технологических (например, технология проведения замеров характеристик транспорта) средств. С учетом этого, а также беря за основу данные работы [11, с.102], представим сложность определения показателей эффективности при детализированном подходе – рис. 3, таб. 2.

Проведение подробного расчета эффективности систем диагностирования требует расчета промежуточных показателей. В частности, необходимым является определение вероятности правильной оценки состояния ОД ($P_S(t)$) (на основе [11, с.102]):

$$P_S(t) = P_F(t)R_D, \quad (10)$$

где $P_F(t)$ - вероятность правильности функционирования технико-технологических средств диагностирования; R_D - достоверность диагностирования, которая определяется как произведение инструментальной достоверности (R_{DI}) и методической достоверности (R_{DM}), т.е. $R_D = R_{DI}R_{DM}$.

Приведенные данные свидетельствуют о необходимости проведения большого объема исследований по установлению зависимостей между параметрами системы диагностирования. Отметим также, что в отдельных случаях при использовании детализированного подхода следует учитывать группу параметров, которые характеризуют человека-оператора (диагноста).

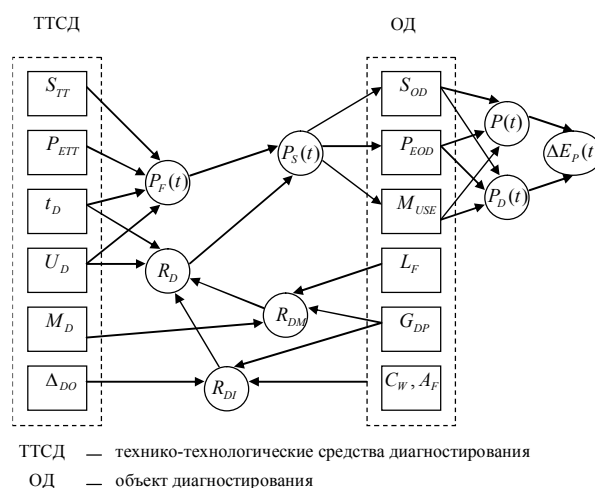


Рис. 3. Схема взаимосвязей показателей при определении эффективности систем диагностирования в транспортной диагностике (предлагается на основании [11, с.102])

Таблица 2. Показатели средств диагностирования и объекта диагностирования, необходимые для определения эффективности систем диагностирования (предлагается на основании [11, с.102])

Технико-технологические средства диагностирования (ТТСД)		Объект диагностирования (ОД)	
S_{TT}	структура ТТСД	S_{OD}	структура ОД
P_{ETT}	надежность элементов ТТСД	P_{EOD}	надежность элементов ОД
t_D	время диагностирования	M_{USE}	режимы использования ОД
U_D	периодичность диагностирования	L_F	глубина поиска недостатков в ОД
M_D	методы диагностирования	G_{DP}	совокупность диагностических показателей
Δ_{DO}	точность диагностических операций	C_W	условие работоспособности
		A_F	признаки недостатков ОД

Относительно упрощенного подхода, отметим в данной работе опыт расчета показателя $K_N(t)$ (см. выражение (5)) через показатель K (согласно [9, с.242]), который можно приравнять к показателю $K^g(t)$ (см. выражение (3)), т.е. $K_N(t) = K = K^g(t)$. В общем виде определить данный показатель можно следующим образом (на основе [9, с.242]):

$$K^g(t) = \frac{T_{OP}}{T_{OS}}, \quad (11)$$

где T_{OP} - время нахождения ОД в работоспособном состоянии; T_{OS} - рассматриваемый интервал времени эксплуатации ОД.

Отметим, что в рамках транспортной диагностики возможна градация состояний ОД. Поэтому расчет указанного показателя может быть трансформирован под отдельные виды состояний ОД.

5. Выводы

1. Основой для разработки подходов по определению эффективности систем диагностирования (СД) в рамках транспортной диагностики можно считать наработки технической диагностики. 2. Выявлены определенные противоречия в использовании терминов «эффективность диагностирования» и «эффективность систем диагностирования». 3. Впервые предложена схема показателей эффективности СД в транспортной диагностике (ТД). 4. Впервые дано определение эффективности СД в ТД. 5. Впервые предложены подходы к определению эффективности СД в ТД – упрощенный подход и детализированный подход.

Список литературы: 1. *Горяинов, А.Н.* Использование методов технической и экономической диагностики в рамках транспортной диагностики [Текст] / А.Н. Горяинов // Восточно-европейский журнал передовых технологий. - Харьков: Технологический центр, 2011. - Вып.2/3 (50). - С.61-64. 2. Надежность и эффективность в технике. Т.9. Техническая диагностика [Текст] : справочник / под общ.ред. В.В.Клюева, П.П.Пархоменко. - М.:Машиностроение, 1987. - 352с. 3. *Елисеева, О.К.* Диагностика и управление производственно-экономическими системами [Текст] : Монография / О.К. Елисеева, А.Н. Марюта, В.Н. Узунов– Днепропетровск: Наука и образование, 2004. – 191 с. 4. *Горяинов, А.Н.* Определение границ использования диагностики и мониторинга в системах транспорта [Текст] / А.Н. Горяинов // Восточно-европейский журнал передовых технологий. - Харьков: Технологический центр, 2010. – Вып.5/3 (47). - С.56-61. 5. *Говорущенко, Н.Я.* Техническая кибернетика транспорта [Текст]: учеб.пос. / Н.Я. Говорущенко, В.Н. Варфоломеев. – Харьков : ХГАДТУ, 2001. – 271 с. 6. *Мигаль, В.Д.* Технічна кібернетика транспорту [Текст] : навч.посіб. // В.Д. Мигаль, В.П. Волков. – Х.: ХНАДУ, 2007. – 308 с. 7. Технічна експлуатація та надійність автомобілів [Текст]: навч.посіб. / Є.Ю. Форнальчик, М.С. Олісевич, О.Л. Мاستикаш, Р.А. Пельо ; за заг.ред. Є.Ю. Форнальчика. – Львів: Афіша, 2004. – 492 с. 8. *Горяинов, А.Н.* Организация систем диагностирования на транспорте [Текст] / А.Н. Горяинов // Вісник НТУ «ХПІ». Зб.наук.пр. Тем.вип.: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ», 2011. – №9. - С.68-72. 9. *Заміховський, Л.М.* Проектування систем діагностування [Текст]: навч.посіб. / Л.М. Заміховський, В.П. Калявін. - Івано-Франківськ: Вид-во «Полум'я», 2003. – 248 с. 10. Техническое обслуживание, ремонт и хранение автотранспортных средств. Кн.1. Теоретические основы. Технология [Текст]: учеб. / В.Е. Канарчук, А.А. Лудченко, И.П. Курников, И.А. Луйк. – К.: Выща шк., 1991. – 359 с. 11. *Мозгалеvский, А. В.* Вопросы проектирования систем диагностирования [Текст] / А. В. Мозгалеvский, А. Н. Койда. - Л.: Энергоатомиздат, 1985. - 112 с. 12. *Горяинов, А.Н.* Основы формирования терминологического аппарата транспортной диагностики [Текст] / А.Н. Горяинов // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн.сб. – Киев:Техніка, 2011. - Вып.97. - С.299-305

Поступила в редколлегию 15.01.2012

УДК 614.8:502.5+614.7:049.3

Г. Д. КОВАЛЕНКО, докт. физ.- мат. наук, проф., зав.лаб., УкрНИИЭП,
Харьков,

А. В. ХАБАРОВА, мнс, УкрНИИЭП, Харьков

**КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ
НАСЕЛЕНИЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВЫБРОСОВ
ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА УКРАИНЫ**

Обґрунтовано застосування розробленої методики комплексної оцінки екологічного ризику при впливі хімічних та радіаційних факторів на навколишнє середовище та здоров'я населення, яка дозволить оцінити раніше недостатньо вивчену хімічну та радіаційну складові в реалізації екологічного ризику при нормальній експлуатації паливно-енергетичного комплексу. Наведено порівняльну оцінку екологічного ризику для здоров'я населення при впливі викидів ТЕС і АЕС у приземному шарі атмосферного повітря.

Ключові слова: викиди ТЕС і АЕС, хімічна та радіаційна складова, екологічний ризик для здоров'я населення.

Обосновано применение разработанной методики комплексной оценки экологического риска при воздействии химических и радиационных факторов на окружающую среду и здоровье населения, которая позволит оценить ранее недостаточно изученную химическую и радиационную составляющие в реализации экологического риска при нормальной эксплуатации топливно-энергетического комплекса. Приведена сравнительная оценка экологического риска для здоровья населения при влиянии выбросов ТЭС и АЭС в приземном слое атмосферного воздуха.

Ключевые слова: выбросы ТЭС и АЭС, химическая и радиационная составляющие, экологический риск для здоровья населения.

Application of developed methodology for the ecological risk complex assessment from the influence to chemical and radiological factors to the environment and human health is theoretically substantiated, which are allowed to evaluated not enough chemical and radiological constituents in the implementation of ecological risk for the normal operation of the fuel and energy complex. The comparative assessment of the ecological risk to human health is carried out at the impact of emissions from the surface layer of air in the normal operation of the TPP and NPP.

Keywords: emissions of the TPP and NPP, chemical and radiological constituents, ecological risk for the human health.

Введение

Приемлемость деятельности объектов повышенной экологической опасности принято оценивать на основе анализа риска для здоровья человека [1]—[4].

В настоящее время в Украине не существует общепризнанной и утвержденной на законодательном уровне методологии комплексной оценки экологического риска как главного инструментария для определения степени экологической опасности деятельности промышленного объекта.

Анализ предыдущих исследований

Для определения степени экологического риска в литературе встречаются различные методы его оценки: статистический метод, метод экспертных оценок, метод системного анализа риска. Однако имеются недостатки существующих методов:

- трудоемкость в процессе получения необходимой информации при обработке статистических данных об аварийных случаях методами математической статистики, а при ее отсутствии приводит к недостоверным результатам;

- соответствующий профессиональный и квалификационный уровень лиц, принимающих участие в экспертизе, что требует значительных усилий при формировании групп экспертов, организации их работы.

Существуют также подходы к оценке экологического риска, концептуальные сходства и отличия которых, приведены ниже.

Основу системы ПДК составляют следующие положения:

- пороговый принцип распространяется на все эффекты неблагоприятного воздействия;

- превышения норматива ПДК может вызвать неблагоприятные для здоровья эффекты, при этом отсутствует практический механизм определения эффектов и их количественного выражения.

Основными принципами оценки риска по методу US EPA являются:

- для неканцерогенных веществ используется пороговая модель "доза-эффект";

- для канцерогенных используется беспороговая модель "доза-эффект", при этом нормирование осуществляется по уровню приемлемого риска:

- риск индивидуального уменьшения продолжительности жизни равен "тангенсу угла наклона" умноженному на "среднюю дозу в течение жизни";

- популяционный риск равен "индивидуальному риску", умноженному на "размер популяции".

При этом необходимо принять ненулевую, но "достаточно низкую" дозу, которая считается безопасной для пребывания населения в данных условиях в течение "среднестатистической" продолжительности жизни [1, 5].

Выше приведенные методы оценки экологического риска не позволяют сравнивать воздействие факторов различной природы на здоровье человека в единых показателях, что является главным недостатком существующих методик.

Цель работы

Разработка методики комплексной оценки экологического риска для здоровья населения при воздействии выбросов в приземный слой атмосферного воздуха крупных ТЭС Украины (более 300 МВт) и АЭС, работающих в штатном режиме.

Материал и результаты исследования

В данной работе предлагается подход к комплексной оценке экологического риска для здоровья населения, длительно проживающего в районах расположения предприятий топливно-энергетического комплекса (ТЭК), при хроническом воздействии малых доз ионизирующего излучения в сочетании с

химическими компонентами пылегазоаэрозольных выбросов ТЭС, работающих на каменном угле.

Под термином «экологический риск» в данной работе понимается вероятность возникновения неблагоприятных эффектов для здоровья человека вследствие загрязнения окружающей природной среды радиоактивными и вредными химическими веществами.

Концепция экологического риска

Концепция экологического риска включает оценку и управление риском. Различают четыре основных этапа оценки экологического риска [1, 5, 6].

Идентификация опасности – первый этап оценки экологического риска при эксплуатации ТЭК – направлен на выявление опасности, установление источников и факторов экологического риска, в частности химического и радиационного, а также зон распространения риска.

Оценка экспозиции – второй этап оценки экологического риска при эксплуатации ТЭК заключается в оценивании реального влияния факторов экологического риска на здоровье населения.

Оценка зависимости "доза-эффект" – третий этап оценки экологического риска при эксплуатации ТЭК, связанный с анализом химических и радиационных факторов экологического риска на здоровье населения.

Характеристика риска – четвертый, заключительный этап включает полную характеристику экологического риска при эксплуатации ТЭК.

На рис. 1 приведен алгоритм оценки экологического риска, предложенный авторами, в соответствии с которым предполагается оценка канцерогенных и не канцерогенных химических и радиационных веществ [7].

Заключительная стадия модели оценки экологического риска при эксплуатации ТЭК, характеристика экологического риска, одновременно является первым звеном процедуры управления им. Основная цель управления экологическим риском при эксплуатации ТЭК складывается в выявлении путей снижения риска при заданных ограничениях на ресурсы и время. Согласно беспороговому принципу, воздействие как радиоактивных, так и химических веществ даже в малых дозах считается вредным, т. е. способно вызвать патологические изменения в организме человека [1, 8 – 10, 11].



Рис. 1. Алгоритм оценки экологического риска [7]

Поэтому для оценки риска используют линейные модели интерполяции зависимости «доза—эффект» в области малых доз вредных загрязняющих веществ.

Совокупное воздействие ионизирующего излучения и химических веществ на организм человека вызывает различные неблагоприятные эффекты, которые проявляются в отдаленные периоды. В исследованиях [1, 8 – 10, 11] отмечен идентичный характер их связей: при снижении дозы частота эффекта снижается, а латентный период возникновения случаев соматико-стохастических эффектов увеличивается.

В основе предлагаемой авторами методики комплексной оценки экологического риска используется вероятностный подход для определения ожидаемого числа дополнительных случаев возникновения соматико-стохастических эффектов в популяции при фактических уровнях воздействия исследуемых химических или радиоактивных веществ.

Методика комплексной оценки экологического риска позволяет в комплексе оценить радиационную и химическую составляющую в реализации экологического риска для здоровья населения в единых показателях вероятности соматико-стохастических эффектов на единицу индивидуальной дозы и количество случаев соматико-стохастических эффектов на единицу коллективной дозы с использованием факторов риска для оценки экологического риска для здоровья населения, рассчитанных авторами данной работы для неканцерогенных химических веществ, которые учитывают вероятность возникновения соматико-стохастических эффектов, отнесенные к единице дозы.

Оценка экологического риска основана на установлении причинно-следственных связей между показателями здоровья населения и факторами загрязнения окружающей среды [12].

С целью установления причинно-следственной связи при воздействии вредных токсических (канцерогенных) веществ и возникновения соматико-стохастических эффектов у населения, проживающего в районах эксплуатации ТЭК в течение 70 лет, работающих на каменном угле, применяется зависимость между дозой вредного вещества и вызываемым эффектом для определения величин риска реализации соматико-стохастических эффектов как дополнительных случаев рака. Уровень приемлемого риска для канцерогенных веществ составляет 10^{-6} мг^{-1} , а для неканцерогенных – 10^{-5} [5].

Гипотеза о линейном характере связи между дозой и откликом

Реализация экологического риска r , обусловленного присутствием в окружающей природной среде вредного токсического (канцерогенного) вещества, зависит от его дозы, поступившей в организм человека.

$$r = f(D). \quad (1)$$

Предполагается, что в области малых доз соотношение между дозой и реакцией на нее является линейным. Кроме того, предполагается, что действие вредного токсического (канцерогенного) химического вещества не имеет порога.

Таким образом, гипотеза о линейном беспороговом характере зависимости “доза – эффект” в области малых значений порога позволяет оценивать дополнительный риск по формуле [13 – 15]

$$[r(D)]_{ij} = (F_D \cdot c \cdot v \cdot t)_{ij}, \quad (2)$$

где c — концентрация вредного токсического (канцерогенного) вещества, мг/м³;

i — доза вредного токсического (канцерогенного) вещества, мг;

j — вредное токсическое (канцерогенное) вещество;

F_D — фактор риска, представляющий собой риск, который показывает дополнительный риск, отнесенный к единице дозы, мг⁻¹;

v — интенсивность ежедневного поступления в организм человека вредного токсического (канцерогенного) вещества, м³/сут;

t — время воздействия вредного токсического (канцерогенного) вещества за 70 лет, сут.

Принятое в Украине стандартное значение объема воздуха, поступающего в легкие населения, составляет $8,11 \cdot 10^3$ м³/год [16]. Считается, что каждый житель подвергается риску в течение всей жизни, то соотношение между значениями фактора риска, выраженными в [(мг/кг·сут)]⁻¹ и в (мкг/м³)⁻¹ принимает вид

$$F_C = F_D \cdot 10^{-3} \cdot 8,11 \cdot 10^3 \cdot 70 = 567,7 \cdot F_D, \quad (3)$$

Значение фактора риска обусловлено возможностью связи риска R с мощностью дозы токсического (канцерогенного) химического вещества H_D

$$R = F_{HD} \cdot H_D, \quad (4)$$

где R — количество дополнительных случаев тяжелых последствий при воздействии токсического вещества на население, отнесенное к одному году;

H_D — мощность дозы токсического (канцерогенного) химического вещества, т.е. количество токсического (канцерогенного) химического вещества в 1 мг, отнесенное к 1 кг массы тела человека и к одному дню экспозиции, мг/(кг·сут);

F_{HD} — фактор риска, представляющий собой риск, который показывает дополнительный риск, отнесенный к единице мощности дозы, [мг/(кг·сут)]⁻¹.

Связь между факторами риска, выраженными в [мг/(кг·сут)]⁻¹ и в мг⁻¹ для населения, в течении всей жизни проживающего в загрязненном выбросами районе эксплуатации ТЭЖ определяется выражением

$$F_{HD} = F_D \cdot m \cdot t = 1,79 \cdot 10^6 \cdot F_D, \quad (5)$$

где m — массой тела среднестатистического взрослого человека, кг.

Количество дополнительных случаев тяжелых последствий воздействия вредного токсического (канцерогенного) вещества на население, отнесенное к одному году (R), записываем в виде формулы

$$R = \left\{ F_{HD} \cdot \sum_{i=1}^n (H_D \cdot N_i) \right\} T, \quad (6)$$

где n — количество доз каждого вредного токсического (канцерогенного) вещества;

T — время экспозиции, вредного токсического (канцерогенного) вещества, сут;

N — количество населения, подвергающихся воздействию вредных токсических (канцерогенных) веществ;

n — количество доз каждого вредного токсического (канцерогенного) вещества.

Факторы риска, рассчитанные авторами данной работы для неканцерогенных химических веществ, по значениям обусловленных воздействием допустимого риска зависят от того, какая связь между дозой этого токсического (канцерогенного) вещества и вызываемым им эффектом [5, 14]. Предполагается, что соотношение “доза – эффект” не имеет порога, тогда дополнительный риск, устанавливаемый для всей продолжительности жизни индивидуума, или количество дополнительных случаев тяжелых последствий, отнесенное к одному году, может быть рассчитано по величине предельно допустимой концентрации.

Для населения, постоянно проживающего в районе эксплуатации ТЭК, получаем соотношение делением формул (3) на (5)

$$F_C = 3,17 \cdot 10^{-4} \cdot F_{HD}, \quad (7)$$

В результате получаем выражение для расчета фактора неканцерогенного риска по следующей формуле

$$F_{HD} = F_C / 3,17 \cdot 10^{-4}, \quad (8)$$

Полученные значения фактора неканцерогенного риска F_{HD} приведены в табл. 1.

Таблица 1. Факторы риска возникновения соматико-стохастических эффектов, отнесенные к единице дозы

Неканцерогенные вещества	$F_{Dch}, [\text{мг}/(\text{кг} \cdot \text{сут})]^{-1}$
NO _x	$1,26 \cdot 10^{-1}$
SO ₂	$2,52 \cdot 10^{-1}$
CO ₂	9,46
V	$2,21 \cdot 10^{-4}$
Co	$1,58 \cdot 10^{-4}$
Cd	$6,31 \cdot 10^{-3}$
Cr	$3,15 \cdot 10^{-4}$
Zn	$2,84 \cdot 10^{-3}$
Pb	$4,73 \cdot 10^{-4}$
Cu	$6,31 \cdot 10^{-5}$
PM 2,5	$4,73 \cdot 10^{-1}$
As	$9,46 \cdot 10^{-3}$
Hg	$9,46 \cdot 10^{-3}$
Cd	$6,31 \cdot 10^{-3}$
Канцерогенные вещества	$F_{Dch}, [\text{мг}/(\text{кг} \cdot \text{сут})]^{-1}$
Ni	0,91*
Pb	$4,20 \cdot 10^{-2}$ *
Cr	42,0*
Cd	6,30*
Benz()	3,10*
Ионизирующее излучение	$F_{Dr}, \text{Зв}^{-1}$
	$6,5 \cdot 10^{-2}$ **

*Коэффициенты, используемые в подходе Агентства по охране окружающей среде США для оценки канцерогенного риска химических веществ [1].

**Коэффициенты, используемые в подходе МКРЗ 103 для оценки радиационного риска [1].

Методика комплексной оценки экологического риска

Химическая составляющая. Вероятность индуцирования соматико-стохастических эффектов (возникновения фатального рака и серьезных наследственных эффектов при воздействии химических веществ) на единицу дозы химического вещества определяется соотношением

$$r_{ch} = F_{Dch} \cdot D_{ch}, \quad (9)$$

где D_{ch} — доза химического вещества, мг/кг·сут;

F_{Dch} — коэффициент пропорциональности, определяющий наклон кривой доза — эффект при воздействии химического вещества, отражающий степень нарастания риска с увеличением воздействующей дозы на одну единицу, [мг/(кг·сут)]⁻¹.

Ожидаемое количество дополнительных случаев возникновения соматико-стохастических эффектов при воздействии химических веществ

$$R_{ch} = r_{ch} \cdot N, \quad (10)$$

где N — количество населения, подвергающегося воздействию химических веществ, чел.

Радиационная составляющая. Вероятность индуцирования соматико-стохастических эффектов (возникновения фатального рака и серьезных наследственных эффектов при воздействии ионизирующего излучения) на единицу дозы радионуклида

$$r_r = F_{Dr} \cdot D_r, \quad (11)$$

где D_r — доза ионизирующего излучения, Зв;

F_{Dr} — коэффициент пропорциональности, определяющий наклон кривой доза — эффект при воздействии ионизирующего излучения, отражающий степень нарастания риска с увеличением воздействующей дозы на одну единицу, Зв⁻¹.

Ожидаемое количество случаев соматико-стохастических эффектов при воздействии ионизирующего излучения в группе определяется соотношением [2, 3, 16]

$$R_r = F_{Dr} \cdot S, \quad (12)$$

где S — коллективная эффективная эквивалентная доза, чел.·Зв.

Экологический риск при воздействии выбросов ТЭС и АЭС Украины при нормальных условиях эксплуатации

Радиационная и химическая составляющие экологического риска при хроническом воздействии выбросов в приземный слой атмосферного воздуха всех исследуемых ТЭС за период 2001—2008 гг. и радиоактивных выбросов АЭС за период 2003—2006 гг. рассчитаны с применением методики комплексной оценки экологического риска, предложенной в данной работе.

Оценка радиационной составляющей в реализации экологического риска для здоровья человека обусловлена требованием рекомендаций МКРЗ 103 в

определении уровней риска в единых показателях — вероятности фатального рака [2] и тяжелых наследственных эффектов [3].

В табл. 2 приведены показатели экологического риска для здоровья населения.

Наибольший вклад в реализацию экологического риска в показателях вероятности соматико-стохастических эффектов на 1 ГВт (эл.)·год для здоровья населения обусловлен воздействием ионизирующего излучения при работе всех исследуемых ТЭС — $9,58 \cdot 10^{-4}$ за 70 лет. Количество дополнительных случаев стохастических эффектов составляет 87,6 за 70 лет из всей популяции.

Значительный вклад в реализацию экологического риска в показателях вероятности соматико-стохастических эффектов на 1 ГВт (эл.)·год для здоровья населения обусловлен воздействием выбросов SO_2 при работе всех исследуемых ТЭС. Количество дополнительных случаев стохастических эффектов составляет 71,6 за 70 лет из всей популяции.

Таблица 2. Показатели экологического риска для здоровья населения [7]

Параметр	Вероятность соматико-стохастических эффектов на 1 ГВт (эл.)		Количество случаев соматико-стохастических эффектов на 1 ГВт (эл.)	
	ТЭС	АЭС	ТЭС	АЭС
SO_2	$2,30 \cdot 10^{-4}$	—	71,6	—
NO_2	$1,25 \cdot 10^{-5}$	—	3,87	—
CO_2	$7,98 \cdot 10^{-5}$	—	24,8	—
Твердые частицы	$1,09 \cdot 10^{-4}$	—	33,8	$1,09 \cdot 10^{-4}$
Ионизирующее излучение	$9,58 \cdot 10^{-4}$	$3,53 \cdot 10^{-6}$	87,6	$6,14 \cdot 10^{-1}$

Вероятность соматико-стохастических эффектов на 1 ГВт (эл.)·год за счет воздействия всех исследуемых АЭС Украины составляет $3,53 \cdot 10^{-6}$ за 70 лет. Количество дополнительных случаев соматико-стохастических эффектов от воздействия всех исследуемых АЭС Украины — $6,14 \cdot 10^{-1}$ за 70 лет для всей популяции.

Показатель усредненного комбинированного риска за счет радиационных и химических факторов воздействия на здоровье населения при работе ТЭС и АЭС Украины на 1 ГВт(эл.) произведенной энергии составляет $1,35 \cdot 10^{-3}$ и $3,55 \cdot 10^{-6}$ соответственно. Установлено, что значения радиационной составляющей намного больше химической составляющей в реализации экологического риска при производстве электроэнергии, как на ТЭС, так и АЭС.

Выводы

Разработанная авторами методика комплексной оценки экологического риска позволит в комплексе оценить ранее недостаточно изученную химическую и радиационную составляющие в реализации хронического риска с целью установления соматико-стохастических эффектов у населения, длительно проживающего в районах эксплуатации ТЭС и АЭС, и разработки обосновывающих решений по минимизации экологического риска.

Установлено, что экологический риск для здоровья населения в процессе производства электроэнергии на ТЭС обусловлен в большей степени воздействием радиационной составляющей, чем химической. При производстве электроэнергии на ЮУ АЭС вклад химической составляющей в экологический риск для здоровья населения пренебрежимо мал.

Комбинированный риск за счет радиационных и химических факторов воздействия на здоровье населения при работе ТЭС на 1 ГВт (эл.) почти в 400 раз больше, чем при работе АЭС.

Выявлено, что величина радиационной составляющей существенно больше химической составляющей в реализации экологического риска при производстве электроэнергии, как на ТЭС, так и АЭС Украины [7].

Список литературы: 1. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Integrated Risk Information System (IRIS). <http://www.epa.gov/iris>. 2. Radiation Protection. ICRP Publication 60. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP). — N.Y.: Pergamon Press, 1991. — 197 p. 3. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection/ Publication 103: Recommendation of the ICRP. Annals of the ICRP Volume 37/2-3. 4. Sources, effects and risks of ionizing radiation // United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 1988 Report to the General Assambly with annexes. — New York, 1988. — 123 p. 5. Risk & Decision Making. A Workshop in Risk Assessment, Risk Management & Risk Communication // U.S. Environmental Protection Agency, Aug. 1992. — 186 p. 6. Панкратова Н. І Курилина Б. Концептуальні основи системного аналізу ризиків у динаміці управління безпекою складних систем // Соціальні ризики та соціальна безпека в умовах надзвичайних катастроф. Під ред. В.В. Дурдинець, Ю.І. Саєнко, Ю.О. Привалов К.: Стилос, 2001. - 497 с. 7. Г.Д. Коваленко, А.В. Пивень. Экологический риск для здоровья населения при воздействии выбросов ТЭС Украины. 3б. наук. ст. VI міжнародної науково-практичної конференції “Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення”. – 6-10 вересня 2010 р., м. Алушта, АР Крим. Том 1 – Харків. – 2010. С. 155-161. 8. Сравнительная канцерогенная эффективность ионизирующего излучения и химических соединений. Публикация 96 НКРЗ США. — М., 1992. 9. Демин В. Ф, Голиков В. Я., Иванов Е. В. и др. О нормировании и сравнении риска от разных источников вреда здоровью человека. — М.: Междунар. центр по эколог. безопасности Минатома России, 2001. 10. В. Ф. Демин. О линейной зависимости доза—эффект для радиационного и химического риска // Гигиена и санитария. — 2003. — № 6. — С. 37—39. 11. Г. И. Румянцев, С. М. Новиков. Проблемы прогнозирования токсичности риска воздействия химических веществ на здоровье населения // Гигиена и санитария. — 1997. — № 6. — С. 13—18. 12. Коваленко Г. Д., Пивень А. В. Экологический риск нарушения состояния атмосферного воздуха при воздействии выбросов тепловых электростанций Украины // Охорона навколишнього середовища промислових регіонів як умова сталого розвитку України: 3б. статей п'ятої Всеукр. наук.-практ. конф. 10-11 грудня 2009 р. — Запоріжжя, 2009. — С. 203—205. 13. Ваганов П.А., Ман-Сунг Им. Экологические риски. Учеб. пособие. Изд-е 2-е. - СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2001. - 152 с. 14. Hallenbeck W.H. Quantitative Risk Assessment for Environmental and Occupational Health. Boca-Raton, 1993. 212 p. 15. Kunreuther H., Slovic P. Science, Values, and Risk // Challenges in Risk Assessment and Management. Thousand Oaks; London, 1996. P. 116—125. 16. Нормы радиационной безопасности Украины (НРБУ-97); Государственные гигиенические нормативы. — К.: Отдел полиграфии Укр. центра Госсанэпиднадзора М-ва здравоохранения Украины, 1998. — 134 с.

Поступила в редколлегию 05.01.2012

В. В. БЕРЕЗУЦКИЙ, докт. техн. наук., проф., НТУ «ХПИ», Харьков
Н. Л. БЕРЕЗУЦКАЯ, канд. техн. наук., доц., ХНУРЭ, Харьков

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ЧАСТИЦ НА ПРОЦЕССЫ ЭЛЕКТРООКИСЛЕНИЯ

У статті розглянуті питання визначення електрокінетичного поверхневого заряду частинок, які необхідно враховувати при розрахунку процесів і устаткування електроокислення бактерій у виробничих водних емульсіях. На підставі виконаних розрахунків, запропоновані підходи до конструювання електроокислювальних пристроїв.

Ключові слова: емульсії, бактерії, міцели, поверхневий заряд, електроокислення, електролізні гази, флотація.

В статье рассмотрены вопросы определения электрокинетического поверхностного заряда частиц, которые необходимо учитывать при расчете процессов и оборудования электроокисления бактерий в производственных водных эмульсиях. На основании выполненных расчетов, предложены подходы к конструированию электроокислительных устройств.

Ключевые слова: эмульсии, бактерии, мицеллы, поверхностный заряд, электроокисление, электролизные газы, флотация.

The questions of determination of electrokinetic superficial charge of particles which must be taken into account at the calculation of processes and equipment of electro-oxidization of bacteria in production water emulsions are considered in the article. On the basis of the executed calculations, offered approach to constructing of electro-oxidizing devices.

Keywords: emulsions, bacteria, micelly, superficial charge, electro-oxidization, electrolysis gases, flotation.

Величина электрического тока определяет скорость доставки бактерий к поверхности электродов окислителей. Особенно это важно при обеззараживании больших объемов водных сред, т.к. высокая линейная скорость потоков жидкости в межэлектродном пространстве ограничивает время вероятного контакта бактерий с окислительной поверхностью электродов (время контакта 1 - 5 с).

Исходя из этого вытекает необходимость определения ζ -потенциала бактерий и их электрофоретическую подвижность в СОЖ определенного типа. Определяется это исходя из того, что бактерии в водных средах находятся в межмицеллярных пространствах и мицеллах, образованных комплексами типа "вода - масло - частицы загрязнений", "вода - эмульгатор - масло", "масло - вода" и т.д.. Определяя электрофоретическую скорость мицелл, мы можем определить скорость их доставки к поверхности электродов-окислителей.

Измерения ζ -потенциала мицелл проводились в соответствии с методикой и приборным оборудованием, описанных в литературе [44,45].

Результаты замеров и расчетов приведены в табл. 1. Приложенное напряжение 30 В соответствует напряжению промышленного выпрямителя электрического тока (ТВР или ВАКР).

Зная линейную скорость перемещения мицелл ($U_{\text{л}}$) в электрическом поле, легко определить время прохождения мицеллами расстояния между двумя электродами, находящимися друг от друга на расстоянии $l_3 = 0,01$ м (расстояние между электродами в промышленных электролизерах, используемых для очистки и обеззараживания вод).

$$t_y = \frac{l_3}{U_{\text{л}}} = \frac{0,01}{0,114 \cdot 10^{-3}} = 87 \text{ с} \quad (1)$$

Аналогично: $t_T = 40,5 = 41 \text{ с}$

где: t_y - время прохождения мицеллами СОЖ типа "Укринол";

t_T - время прохождения мицеллами триэтаноламина.

Разработка оборудования обеззараживания бактерий для производственных установок с объемной скоростью воды более $100 \text{ м}^3/\text{ч}$ выполнялась на основании следующих исходных данных: предприятие ГПЗ-8, г. Харьков ; водные среды на основе триэтаноламина; расход воды - $500 \text{ м}^3/\text{ч}$; цеховая емкость хранения СОЖ; площадь поперечного сечения $1,2 \times 5 \text{ (м}^2\text{)}$, длина емкости - 10 м. В емкости оседает осадок и ежемесячно извлекается со дна емкости (1 - 2 т).

Таблица 1. Значения параметров ζ -потенциала и электрофоретической скорости мицелл в эмульсии

Характеристика мицелл СОЖ	Линейная скорость перемещения частиц в эл. поле, 10^{-3} м/с	Электрофоретическая скорость, 10^{-8} м/с	Величина ζ -потенциала, мВ
Триэтаноламин	2,47	8,2	114
СОЖ типа "Укринол"	0,114	3,8	53

Основная цель расчета заключается в создании условий работы электродных пар, при которых будет обеспечено перемещение мицелл в межэлектродном пространстве с обязательным контактом их с поверхностью электродов - окислителей и тем самым будет достигнут необходимый эффект окисления бактерий.

Условия перемещения мицелл из крайних левых, правых, верхних и нижних положений в потоке воды, в межэлектродном пространстве, должны иметь окислительный контакт до выхода их из этого пространства. Вероятность контакта будет определяться линейной скоростью потока воды ($V_{\text{л}}$), линейной скоростью перемещения мицелл в электрическом поле ($V_{\text{э}}$), флотационной скоростью частиц, всплывающих на поверхность жидкости ($V_{\text{ф}}$) и скоростью осаждения мицелл в межэлектродном пространстве под действием сил гравитационного осаждения ($V_{\text{г}}$). Учитывая, что $V_{\text{г}}$ значительно меньше остальных параметров, ею можно пренебречь. Под действием электрического поля в межэлектродном пространстве образуются вихревые потоки в результате возникновения электролизных токов и всплывания газовых пузырьков. Сопротивление потоку жидкости, при образовании вихревых потоков в межэлектродном пространстве, уменьшается примерно в 2-3 раза, что определяет увеличение линейной скорости перемещения мицелл в вертикальном и горизонтальном направлениях.. Необходимо определить линейную скорость потока ($V_{\text{л}}$) при размещении электродов - окислителей в емкости.

$$V_{\text{л}} = \frac{Q}{S} = \frac{0,138}{6} = 0,023 \text{ (м/с)} \quad (2)$$

где: Q - расход воды, м³/с (500 м³/ч);

S - площадь поперечного сечения емкости, м².

Следовательно, можно обеспечить окислительный контакт мицелл по длине электродной пластины окислителя ($L_{\text{пл}} = 0,5 \text{ м}$) с $L_3 = 0,05 \text{ м}$ за время 20 с, однако, это не обеспечит окислительный контакт перемещения мицелл в межэлектродном пространстве (т.к. перемещение мицелл в межэлектродном пространстве длится 41 с). Поэтому, в данной ситуации лимитирующим показателем будет скорость перемещения мицелл в межэлектродном пространстве. Для этого предлагается увеличить размеры электродных пластин по длине до 1 м, или уменьшить скорость потока в 2 раза.

Флотационная скорость частиц мала, однако за счет флотации электролизных газов скорость увеличивается и становится достаточно существенным показателем, определяющим вероятность контакта мицеллы при перемещении ее по вертикали. Исследования показали, что средняя скорость подъема мицелл в межэлектродном пространстве находится в диапазоне 0,1 - 0,5 м/с. Принимая во внимание максимальное значение скорости подъема - 0,5 м/с, определяем высоту электродной пластины (H_3):

$$H_B = V_{\text{ср}} * t = 20,5 \text{ м} \quad (3)$$

Отсюда следует вывод, что перемещение в межэлектродном пространстве по вертикали должно быть ограничено, т.к. разместить пластины в типовой цеховой емкости при таких размерах пластин невозможно. Поэтому, предлагается установить пластины высотой равной высоте цеховой емкости ($H_3 = 1,2 \text{ м}$), учитывая тот факт, что после подъема на поверхность жидкости мицеллы будут перемещаться только в горизонтальном направлении и роль вертикального перемещения будет незначительна. Практически все мицеллы, участвующие в вертикальном перемещении поднимутся вверх за время 9-10с.

Анализируя все вышесказанное, можно предложить следующий вариант конструкции электроокислительной установки [3,4]. На входе в емкость выполняется приемный карман, где собираются взвешенные вещества; далее - плавный переток в межэлектродные пространства электродов, установленных на изоляторах в емкости. Над электродами устанавливается устройство сбора пены и взвешенных веществ. В соответствии с техническим заданием и инструкцией на технологический процесс по очистке и обеззараживанию СОЖ на предприятии ГПЗ-8 г. Харькова, была проведена отработка технологического процесса в лабораторных условиях. Оработка технологического процесса осуществлялась с использованием лабораторной установки, моделирующей промышленную конструкцию. Элементами моделирования были выбраны: электродная пара (катод и анод), выполненные из нерастворимого при электролизе металла, и корпус электродной ячейки, выполненный из органического стекла. Основными параметрами моделирования были выбраны: расход обрабатываемой СОЖ (м³/ч); величина электрического тока, (А); размеры электродных пластин (площадь их поверхности) (м²); расстояние между электродами (м); количество электродных блоков или количество электродных пластин. Количество электродных пластин и площадь поверхности

электродов моделировались, исходя из основного требования - обеспечение контакта мицелл с поверхностью электрода-окислителя. Основным показателем этого является скорость перемещения потока СОЖ и мицелл под действием электрического поля в межэлектродном пространстве. На рисунке показана схема перемещения мицеллы в электрическом поле в движущемся потоке жидкости. Лучшими условиями окисляющего контакта является результирующая векторов скоростей V_p , которая обеспечит контакт частиц в области от точки Б до В. При анализе этих условий необходимо выбирать начальное положение мицелл в области точки А, как наиболее удаленной от электрода - окислителя.

Окисление мицелл может происходить и без контакта с поверхностью электродов, а под действием электролизных газов. Эти факторы позволяют повысить вероятность протекания процесса окисления, т.к. при этом возрастает вероятность окислительного контакта. Измерения электрофоретической подвижности мицелл в СОЖ на основе

этаноламина показали, что электрофоретическая подвижность в среднем равна $2,5 \cdot 10^{-4}$ м/с. Исходя из этих данных можно определить время прохождения мицеллы от одной пластины перпендикулярно к другой, при расстоянии между пластинами равном $2 \cdot 10^{-2}$ м, по выражению (1):

$$t = \frac{2 \cdot 10^{-2}}{2,5 \cdot 10^{-4}} = 80 \text{ (с)}$$

При объемной скорости СОЖ в канале, равной $250 \text{ м}^3/\text{ч}$, и площади поперечного сечения канала $0,25 \text{ м}^2$ линейная скорость потока, в соответствии с выражением (2), будет равна 1000 м/ч ($0,277 \text{ м/с}$). Отсюда за 80 с бактерии пройдут путь равный $L_m = 0,277 \times 80 = 22,16 \text{ (м)}$. Однако суммарная длина электродных пластин в одном канале равна $L_{\pi} = 0,7 \times 3 = 2,1 \text{ (м)}$.

Следовательно, необходимо уменьшить объемную и линейную скорость потока. Исходя из требования $L_{\pi} = 2,1 \text{ м}$, определим необходимые линейную (V) и объемную скорости (Q):

$$V = \frac{L_m}{t} = \frac{2,1}{80} = 0,0263 \text{ (м/с)}, \quad (4)$$

отсюда:

$$Q = V \cdot S = 0,0263 \times 0,25 = 0,00656 \text{ м}^3/\text{с} = 23,6 \text{ м}^3/\text{ч} \quad (5)$$

Обеспечивается это организацией байпасной линии с вентилем, который позволяет регулировать скорость подачи СОЖ на обеззараживание в каналы, где расположены электродные блоки.

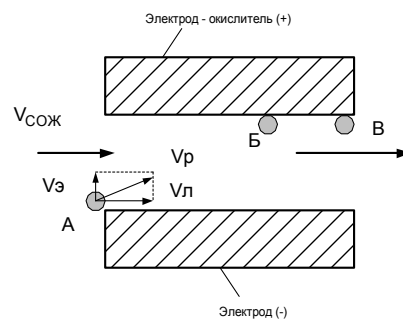


Рис. Схема перемещения мицелл в движущемся потоке СОЖ

Список литературы: 1. Кульский Л.А. Химия и микробиология воды / Кульский Л.А., Левченко Т.М., Петрова М.В. – К.: Вища школа, 1976. – 115 с. 2. Монченко Е. Микробиология и гидробиология природных и сточных вод / Е. Монченко – Новочеркасск: 1974. – 201 с. 3. Березуцкий В.В. Электрокоагуляционная очистка сточных вод предприятий / В.В. Березуцкий – Машиностроитель, 1989. – № 3 – С. 10-11. 4. Березуцкий В.В. Обеспечение

безопасности при применении водных технологических эмульсий и растворов на производствах в металлообрабатывающих технологиях: [монография]/В.В.Березуцкий.- Харьков: Факт, 2009.-400 с.

Поступила в редколлегию 11.01.2012

УДК 504.45:628.162:628.3

М. Д. ГОМЕЛЯ, докт.техн.наук, проф.,зав.каф., НТУУ «КПІ», Київ

О. В. ГОЛТВЯНИЦЬКА, асп., НТУУ «КПІ», Київ

Т. О. ШАБЛИЙ, канд.техн.наук,доц., НТУУ «КПІ», Київ

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ АНІОНІТІВ В МАЛОВІДХОДНИХ ПРОЦЕСАХ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ВІД НІТРАТІВ

В роботі приведено результати іонообмінного вилучення нітратів з води. Визначено ефективність високо- та низькоосновних аніонітів при вилученні з води нітратів. Визначено умови регенерації аніонітів з отриманням продуктів, придатних для використання.

Ключові слова: нітрати, іонний обмін, аніоніти.

В работе приведены результаты ионообменного извлечения нитратов из воды. Определена эффективность высоко- и низкоосновных анионитов при извлечении из воды нитратов. Определены условия регенерации анионитов с получением продуктов, пригодных для употребления.

Ключевые слова: нитраты, ионный обмен, аниониты.

This paper presents the results of ion exchange extraction of nitrates from water. The efficiency of strong and weak basic anion exchange resins for nitrate removal was determined. The condition for regeneration of anion exchange resins to produce products suitable for consumption was determined.

Keywords: nitrates, ion exchange, anion exchange resins.

1. Вступ

На даний момент однією з найбільш актуальних екологічних проблем України є забруднення водного басейну. Значна частина населення на сьогодні споживає неякісну питну воду. Причиною цього є антропогенне забруднення води. Частіше за все забруднення водойми призводить до суттєвого підвищення рівня мінералізації води, значного підвищення її жорсткості. Досить гострою проблемою є забруднення водойм та підземних вод нітратами. Підвищення вмісту нітратів у воді відбувається як за рахунок природних, так і антропогенних факторів [1-3]. Особливо гостро стоїть проблема забруднення води нітратами при водозабезпеченні сільського населення. Небезпечні нітрати і для поверхневих водойм, так як можуть спричиняти незворотні процеси в розвитку їх біоценозів. Тому важливою задачею є створення ефективних технологій очищення від нітратів як стічних, так і природних вод.

На сьогодні для вилучення з води нітратів застосовують біологічні [3,4], іонообмінні [5], адсорбційні [6], електрохімічні [4,7,8], баромембранні [4] методи очищення води та методи каталітичного хімічного відновлення [9].

Проте розглянуті методи мають ряд суттєвих недоліків. Біологічний розклад нітратів проходить повільно, недостатньо ефективний та неприйнятний для

очищення питної води, так як може супроводжуватись її бактеріальним забрудненням.

Хімічне відновлення передбачає використання органічних речовин-відновників, що суттєво підвищує вартість процесу та супроводжується вторинним забрудненням води.

При електролізі в результаті відновлення нітратів утворюються токсичні речовини – аміак і нітрити. При цьому в усіх трьох згаданих випадках відбувається деструкція нітратів, які є цінним добривом.

Адсорбційне очищення води від нітратів безперспективне через низьку ефективність і утворення великих об'ємів твердих відходів.

При електродіалізі, зворотньому осмосі не вирішено проблеми утилізації концентратів.

Найбільш простим та надійним методом очищення води від нітратів є іонний обмін [5]. Проте в даному процесі також недостатньо вивчено процеси регенерації іонітів та утилізації отриманих при цьому елюатів.

Метою даної роботи було вивчення процесів вилучення нітратів із води на високо- та низькоосновних аніонітах в сольовій формі, визначення умов їх регенерації з отриманням із відпрацьованих розчинів корисних продуктів.

2. Методи та результати досліджень

В роботі було використано модельні розчини нітрату натрію з концентрацією 200-2370 мг/дм³, 10 %-ні розчини хлоридів натрію, калію, амонію, соди, карбонату калію, 4 %-й розчин аміаку та лугу. Як аніоніти використовували високоосновний аніоніт АВ-17-8 в Cl⁻ та SO₄²⁻-формі та низькоосновний аніоніт

DOWEX Marathon WBA в Cl⁻-формі. Об'єм іоніту в динамічних умовах складав 10 та 20 см³. Витрата розчину 10-15 см³/хв. Витрата

регенеративного розчину 1-2 см³/хв. Результати по вилученню нітратів на аніоніті АВ-17-8 приведені на рис. 1

Як видно з рисунку, даний

високоосновний аніоніт забезпечує задовільну ефективність по вилученню нітратів як в Cl⁻ так SO₄²⁻-формі. Із вихідних кривих сорбції (1) та (2) видно, що селективність іоніту дещо вища по нітратах в порівнянні із хлоридами, аніж із сульфатами. Дещо вище ємність іоніту в сульфатній формі (ПОДЕ²=990 мг-екв/дм³) в порівнянні з хлоридною (ПОДЕ¹=830 мг-екв/дм³) можна пояснити дещо вищою концентрацією нітратів в модельному розчині при сорбції на іоніті в сульфатній формі.

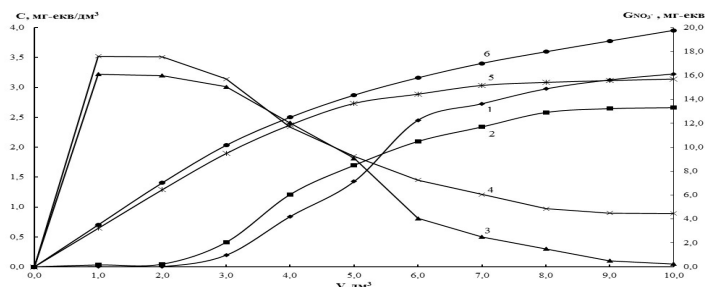


Рис. 1. Залежність концентрації нітратів (1, 2), хлоридів (3), сульфатів (4), кількості сорбованих нітратів (5, 6) від об'єму пропущеного розчину нітрату натрію з концентраціями по нітратах 200 (1, 3, 5) та 220 (2, 4, 6) мг/дм³ через високоосновний аніоніт АВ-17-8 в Cl⁻-формі (1, 3, 5) та SO₄²⁻-формі (2, 4, 6) (V_i=20 см³) (ПОДЕ¹_{NO₃}=830 мг-екв/дм³; ПОДЕ²_{NO₃}=990 мг-екв/дм³)

Концентрація аніонів в даному випадку суттєво впливає на ефективність процесу іонного обміну, так як селективність іоніту по хлоридах, сульфатах і нітратах мало відрізняється, хоча і зростає від хлоридів до сульфатів. Так, при використанні більш концентрованого розчину нітрату натрію ($C_{\text{NO}_3^-} = 2370 \text{ мг/дм}^3$) було досягнуто ємності аніоніту по нітратах на рівні 2000 мг-екв/дм^3 (рис. 2).

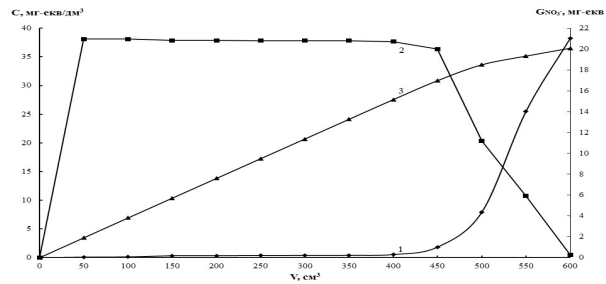


Рис. 2. Залежність концентрації нітратів (1), хлоридів (2) та кількості сорбованих нітратів (3) від пропущеного об'єму розчину нітрату натрію ($C_{\text{NO}_3^-} = 38,226 \text{ мг-екв/дм}^3 = 2370 \text{ мг/дм}^3$) через аніоніт АВ-17-8 в Cl^- -формі ($V_i = 10 \text{ см}^3$) ($\text{ПОДЕ}_{\text{NO}_3^-} = 2010 \text{ мг-екв/дм}^3$)

В цілому, застосування аніоніту АВ-17-8 при очищенні води від нітратів в динамічних умовах забезпечує зниження концентрації останніх до $0,12\text{--}40,00 \text{ мг/дм}^3$ при кратності обміну 200-400. При цьому концентрація хлоридів або сульфатів у воді була на рівні $10\text{--}170 \text{ мг/дм}^3$ (рис. 1). Очевидно, що при застосуванні аніоніту АВ-17-8 в хлоридній формі з води при невисоких концентраціях хлоридів та сульфатів (до 100 мг/дм^3) можна ефективно вилучати нітрати. При цьому відбувається зниження їх концентрації нижче допустимого рівня у питній воді (45 мг/дм^3) при рівнях концентрацій хлоридів та сульфатів в межах $200\text{--}250 \text{ мг/дм}^3$, що нижче допустимого рівня як для питної води, так і для стічних вод, що скидаються в каналізацію або водойми.

Проте про перспективу використання аніоніту для очищення води від нітратів можна говорити не лише в разі позитивних результатів по сорбції, але і при вирішенні проблем регенерації аніоніту.

Результати по регенерації аніоніту АВ-17-8 10 %-ними розчинами хлориду, сульфату та карбонату натрію приведено на рис. 3, 4.

Не дивлячись на вищу селективність іоніту по сульфатах, кращі результати по регенерації отримано при використанні 10 %-го розчину хлориду натрію.

Очевидно, це пов'язано з тим, що реально концентрація хлориду натрію в 10 % розчині складає 1709 мг-екв/дм^3 , а сульфату натрію відповідно 1408 мг-екв/дм^3 . Нижча ефективність регенерації при застосуванні розчину соди ($C_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = 1527 \text{ мг-екв/дм}^3$) пов'язана як із нижчою селективністю іоніту по карбонат-аніонах, так і з нижчою концентрацією, в порівнянні із хлоридами.

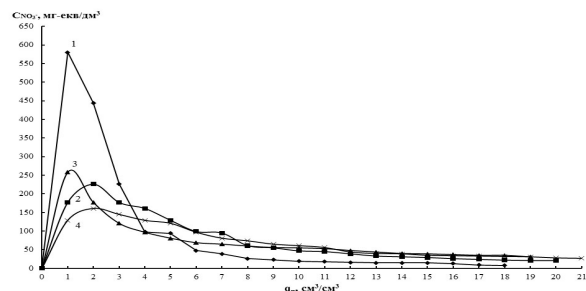


Рис. 3. Вплив питомої витрати розчинів хлориду натрію (10 %) (1), сульфату натрію (10 %) (2), луку (4 %) (3) та соди (10 %) (4) при пропусканні через високоосновний аніоніт АВ-17-8 в NO_3^- -формі на зміну концентрації нітратів в вихідному розчині

Слід відмітити, що при використанні хлориду натрію при питомій витраті регенераційного розчину (об'ємів розчину на одиницю об'єму іоніту, q_p) (рис. 4) ступінь регенерації (Z) досяг 79,0 %, а при $q_p=10$, $Z=94,6$ %. Повної десорбції нітратів досягнуто при $q_p=18$. При використанні 10 %-го розчину сульфату натрію ступінь десорбції нітратів в 88 % досягнуто лише при $q_p=20$ (для NaCl при $q_p=6$). В разі використання 10 %-го розчину соди було досягнуто ступінь регенерації 86 % при $q_p=21$, при використанні 4 %-го розчину луку ($CNaOH=1000$ мг-екв/дм³) було досягнуто ступінь регенерації 83,1 % при $q_p=19$.

Із приведених результатів видно, що кращим реагентом для регенерації є хлорид натрію. Перевагою хлориду натрію є і те, що іоніт в хлоридній формі краще сорбує нітрати, як в сульфатній формі. Регенерація лугом та содою має значення лише при сорбції нітратів з кислих розчинів при іонообмінному знесоленні води. Але в таких процесах перевагу краще віддавати низькоосновним іонітам.

Якщо розглядати результати по регенерації аніоніту АВ-17-8 розчинами хлориду натрію, сульфату натрію, луку та соди, то, не дивлячись на досягнуті високі значення ступеню регенерації (особливо для розчину NaCl), в цілому, їх можна оцінити як задовільні лише наполовину. Вирішується проблема відновлення ємності іоніту, але не вирішується проблема

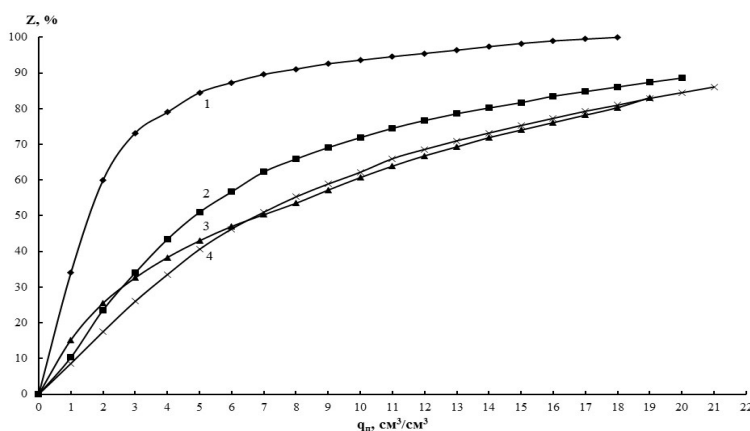


Рис. 4. Залежність ступеню десорбції нітратів від питомої витрати розчинів хлориду натрію (10 %) (1), сульфату натрію (10 %) (2), луку (4 %) (3) та соди (10 %) (4) при регенерації високоосновного аніоніту АВ-17-8 в NO₃⁻-формі

утилізації відпрацьованих регенераційних розчинів.

Зазвичай, сольові розчини можна переробляти електродіалізом. Але в даному випадку, враховуючи можливість використання нітратів як мінеральних добрив, в цьому немає потреби. Тому в якості реагентів для десорбції нітратів використали 10 %-ні розчини хлориду калію, хлориду та сульфату амонію та карбонату калію (рис. 5). В усіх випадках ступінь регенерації при $q_p=9-10$ сягав ~60 %. Отримані розчини нітрату калію з домішками хлориду або карбонату калію та розчини нітрату амонію з домішками хлориду та сульфату амонію можна використовувати при виготовленні рідких мінеральних добрив. Кращими є розчини з домішками карбонату калію та сульфату амонію. Розчин нітрату калію з домішками карбонату калію при обробці азотною кислотою містить лише нітрат

калію. Сульфат амонію використовують як добриво, тому його домішки в розчині нітрату амонію не погіршують якість рідких добрив.

В цілому, недоліком розглянутих процесів є відносно низький ступінь регенерації. Тому було вивчено процеси вилучення нітратів на низькоосновному аніоніті DOWEX Marathon.

Як видно з рис. 6, даний аніоніт забезпечує ефективне видалення нітратів як з дистильованої води, так із водопровідної води.

Ефективність вилучення нітратів з водопровідної води дещо нижча (ПОДЕ²=873 мг-екв/дм³) в порівнянні з дистильованою водою (ПОДЕ¹=1184 мг-екв/дм³) через наявність в ній хлоридів

34 мг/дм³ та сульфатів. В цілому, 20 см³ іоніту забезпечують очищення 5 дм³ розчину нітрату натрію у дистильованій воді і 3 дм³ у водопровідній воді до концентрації нітратів 32-

Для регенерації аніоніту використовували 10 %-ні розчини хлоридів натрію, калію та амонію, карбонату калію та 4 %-й розчин аміаку (рис. 7, 8).

Кращі результати отримано при використанні хлориду калію, хлориду амонію та аміаку. Із застосуванням цих розчинів при питомій витраті $q_p=5$ для

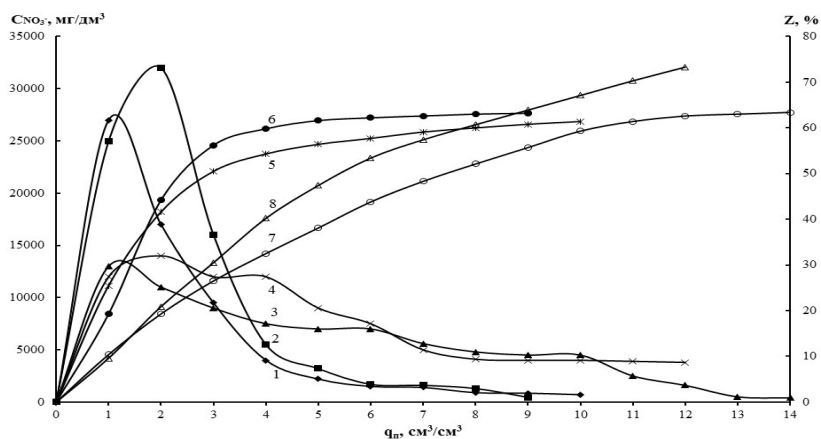


Рис. 5. Залежність концентрації нітратів (1, 2, 3, 4) та ступеню десорбції нітратів (Z) (5, 6, 7, 8) від питомої витрати (q_p) 10 %-них розчинів хлориду калію (1, 5), хлориду амонію (2, 6), сульфату амонію (3, 7) та карбонату калію (4, 8) при регенерації високоосновного аніоніту АВ-17-8 в NO_3^- -формі

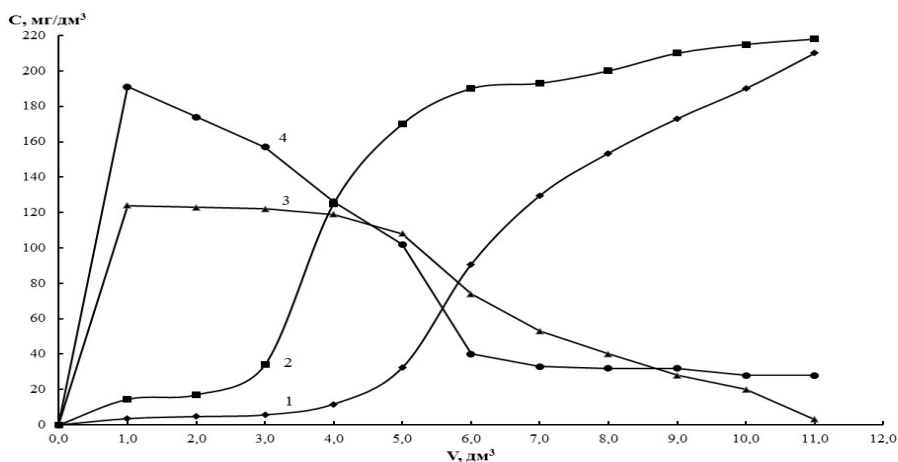


Рис. 6. Залежність концентрації нітратів (1, 2) та хлоридів (3, 4) від об'єму пропущеного розчину нітрату натрію у дистильованій воді ($C_{NO_3}=220$ мг/дм³) (1, 3) та у водопровідній воді ($C_{NO_3}=250$ мг/дм³, $C_{Cl}=28$ мг/дм³, $C_{SO_4^{2-}}=38$ мг/дм³) через низькоосновний аніоніт DOWEX Marathon в Cl^- -формі ($V_i=20$ см³) (ПОДЕ¹_{NO₃}=1184 мг-екв/дм³; ПОДЕ²_{NO₃}=873 мг-екв/дм³)

хлориду амонію досягнуто ступеню регенерації $\sim 72\%$, для хлориду калію $\sim 74\%$, а для аміаку $\sim 93\%$, при $q_p=10$ ступінь регенерації для хлориду амонію досяг $\sim 90\%$, хлориду калію 87% , а для аміаку $97,1\%$.

Кращі результати у випадку застосування розчину аміаку пояснюються тим, що низькоосновний аніоніт легко переходить в основну форму. Очевидно, що при очищенні води із застосуванням Н-катионування для регенерації аніоніту краще використовувати розчин аміаку. При використанні лише аніоніту в разі вилучення нітратів краще використовувати для регенерації хлорид амонію. В обох випадках відпрацьовані елюати являють собою розчини нітрату амонію, які є цінним добривом.

3. Висновки

Показано, що високоосновний аніоніт АВ-17-8 та низькоосновний DOWEX Marathon при використанні в хлоридній та сульфатній формі забезпечують ефективне очищення води від нітратів при їх концентраціях від 200 до 2370 мг/дм³.

Вивчено процеси регенерації аніоніту АВ-17-8 розчинами хлоридів натрію, калію, амонію; сульфату амонію; карбонату натрію, калію та лугу. Кращі результати отримано при використанні хлориду натрію та сульфату амонію. Відпрацьовані розчини, що містять нітрат калію та амонію можуть використовуватись при виготовленні рідких добрив.

Найкраще відновлення ємності аніоніту DOWEX Marathon в нітратній формі відбувається при використанні розчинів хлоридів калію, амонію та аміаку. Відпрацьовані розчини перспективні при виготовленні рідких добрив.

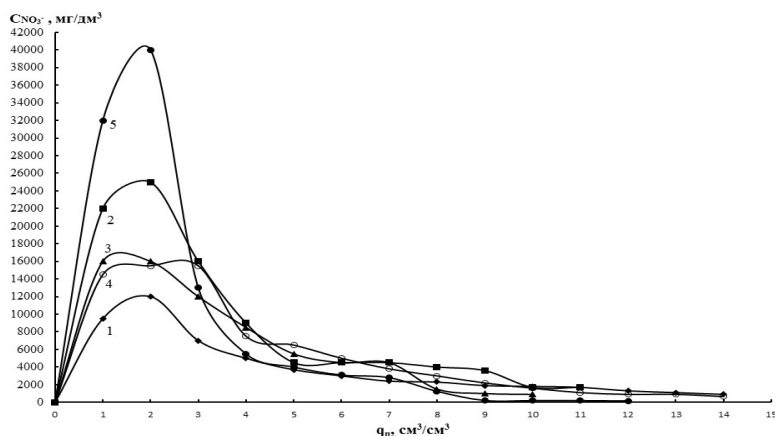


Рис. 7. Вплив питомої витрати (q_p) 10 %-них розчинів NaCl (1), NH_4Cl (2), KCl (3), K_2CO_3 (4) та 4 %-ного розчину NH_4OH (5) на концентрацію нітратів в цих розчинах при пропусканні їх через низькоосновний аніоніт DOWEX Marathon в NO_3^- -формі

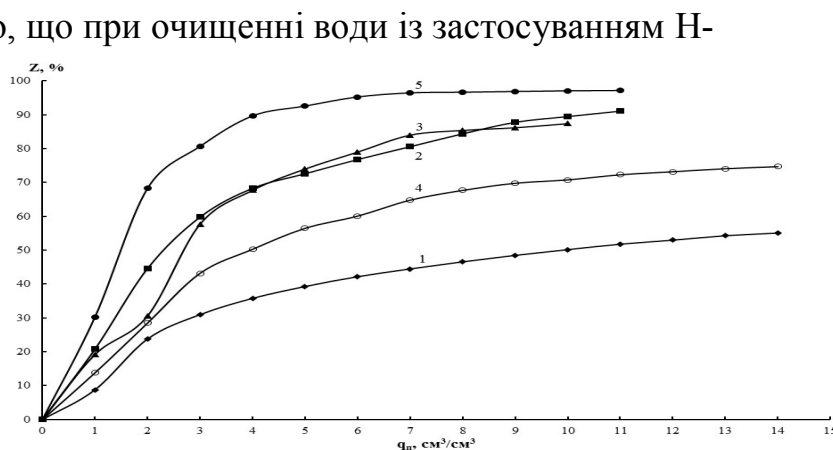


Рис. 8. Залежність ступеню десорбції нітратів з аніоніту DOWEX Marathon WBA в NO_3^- -формі від питомої витрати (q_p) 10 %-них розчинів NaCl (1), NH_4Cl (2), KCl (3), K_2CO_3 (4) та 4 %-ного розчину NH_4OH (5)

Список літератури: 1. *Piatek K.B.* Sources of nitrate in snowmelt discharge: evidence from water chemistry and stable isotopes of nitrate / Kathryn B. Piatek, Myron J. Mitchell, Steven R. Silva, Carol Kendal // *Water, Air, and Soil Pollut.* – 2005. – 165, № 1–4. – P. 13–35. 2. *Singleton Michael J.* Tracking sources of unsaturated zone and groundwater nitrate contamination using nitrogen and oxygen stable isotopes at the Hanford Site, Washington / Michael J. Singleton, Katharine N. Woods, Mark E. Conrad, Donald J. Depaolo, P. Evan Dresel // *Environ. Sci. and Technol.* – 2005. – 39, № 10. – P. 3563–3570. 3. *Menkouchi Sahli M. A.* Technical optimisation of nitrate removal from ground water by electrodialysis using a pilot plant / Sahli M. A. Menkouchi, M. Tahaikt, I. Achary, M. Taky, F. Elhanouni, M. Hafsi, M. Elmghari, A. Ellmidaouia // *Desalination.* – 2004 – № 167. – P. 359. 4. *Иевлева О.С.* Методы удаления нитратов из природных и питьевых вод / О.С. Иевлева, В.В. Гончарук // *Химия и технология воды.* – 2006. – 28, № 3. – С. 256–273. 5. *Mackiewicz Jolanta.* Usuwanie azotanow z wod podziemnych na selektywnych zywicach anionowymiennych IONAC / Jolanta Mackiewicz, Andrzej Dziubek // *Ochr. srod.* – 2005. – № 4. – с. 45–47. 6. *Öztürk N.* Nitrate removal from aqueous solution by adsorption onto various materials / Neşe Öztürk, Ennil T. Bektaş // *J. Hazardous Mater.* – 2004. – 112, № 1–2. – P. 155–162. 7. *Polatides C.* Electrochemical removal of nitrate ion from aqueous solution by pulsing potential electrolysis / C. Polatides, M. Dortsiou, G. Kyriacou // *Electrochim. acta.* – 2005. – 50, № 25–26. – P. 5237–5241. 8. *Медянцева Д.Г.* Электродиализ нитратных растворов / Д.Г. Медянцева, С.В. Шинкина // *Изв. вузов Сев. Кав. регион. Естеств. Н.* – 2008. – Спец. вып. – С. 94–97, 136. 9. *Лозовский А.В.* Исследование фотокаталитической активности Ag/TiO₂ катализаторов реакции восстановления нитрат-ионов в водных средах / А.В. Лозовский, И.В. Столярова, Р.В. Приходько, В.В. Гончарук // *Химия и технология воды.* – 2009. – 31, № 6. – С. 631–642.

Поступила в редколлегию 11.01.2012

УДК 628.31

Н. А. БУКАТЕНКО, канд., техн. наук, доц., НТУ «ХПИ», Харьков

ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ МОЮЩИХ РАСТВОРОВ ПОСЛЕ МОЙКИ АВТОМОБИЛЕЙ

У даній статті розглянуті фізичні методи очищення миючих розчинів після миття автомобілі – відстоювання і фільтрування, а також фізико-хімічні методи – пінна флотація і електрокоагуляція.

Ключові слова: відстоювання, фільтрування, пінна флотація, електрокоагуляція.

В данной статье рассмотрены физические методы очистки моющих растворов после мойки автомобилей – отстаивание и фильтрование, а также физико-химические методы – пенная флотація и электрокоагуляция.

Ключевые слова: отстаивание, фильтрование, пенная флотація, электрокоагуляция

In this article methods of physical the purification detergent solution after washing of automobiles – sedimentation and filter and methods of physical-chemical – flotation of soap-suds and electro coagulation are presented.

Keywords: sedimentation, filter, flotation of soap-suds, electro coagulation.

1. Исследование состава, степени загрязнения и влияния синтетических поверхностно-активных веществ на моющие растворы после мойки автомобилей

На поверхности автомобиля в условиях эксплуатации скапливаются мельчайшие частицы пыли, песка, сажи, солей, органических соединений. Многочисленными исследованиями доказано, что удалить эти микроскопические частицы можно лишь с помощью специальных моющих растворов (МР),

приготавливаемых на основе синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ). СПАВ применяются для стабилизации составов МР, поэтому сильно усложняют процесс извлечения примесей из загрязненных сточных вод (СВ).

С целью установления влияния изучаемых СПАВ на процессы очистки воды от примесей, были проведены лабораторные исследования на МР с имитацией процесса мойки автомобиля. Учитывали, что в такие растворы кроме СПАВ попадают частицы глины, песка, почвы, отработанное смазочное масло, бензин. Количество загрязняющих примесей может изменяться в широком диапазоне, однако из всего этого многообразия можно выделить группу веществ, которые являются доминирующими – взвешенные вещества (ВВ), нефтепродукты (НП), СПАВ [1]. Эти доминирующие вещества в свою очередь в процессе мойки автомобилей могут изменяться в очень широких пределах.

Согласно литературным данным [2, 3, 4, 5] концентрации НП в СВ после мойки автомобилей изменяются от 20 до 1000 мг/дм³ и зависят от многих факторов: метеорологических условий, при которых эксплуатировался автомобиль, типа автомобиля, его размера, условий заправки, техобслуживания и т.д. В отдельных случаях нижний предел содержания НП в СВ может значительно увеличиваться. Поэтому при проведении экспериментальных исследований приняли содержание НП в СВ в пределах от 100 до 800 мг/дм³. Пределы изменения количества этих и других основных загрязняющих компонентов, вносимые в моделируемые растворы после мойки автомобилей, а также их средние значения приведены в табл.1.

Таблица 1. Основные загрязняющие примеси в МР после мойки автомобилей

Наименование загрязняющей примеси	Количество вещества, мг/дм ³		
	минимальное min	среднее ср	максимальное max
ВВ	1000	4500	8000
НП	100	450	800
СПАВ	10	170	330

По данным этой таблицы с учетом минимального, среднего и максимального количества основных загрязняющих компонентов ВВ (В) – частиц минерального происхождения; НП (Н) – отработанного смазочного масла и СПАВ (С) можно было бы составить 27 комбинаций моделируемых растворов. Так как при проведении экспериментов в МР добавлялись еще и различные типы СПАВ, то это привело бы к еще большему увеличению числа комбинаций моделируемых растворов. Поэтому при проведении исследований МР ограничились средним количеством основных загрязняющих веществ в растворах, включающих пять различных типов СПАВ (HсрВсрСср_n) [6, 7].

С целью удобства сравнения результатов исследований, все изучаемые МР, как с различными СПАВ, так и раствор без СПАВ, включали одинаковое количество загрязняющих веществ по ВВ и НП. Растворы с различными СПАВ включали и одинаковое количество этих веществ.

При эксперименте использовались СПАВ, которые наиболее часто применяются для приготовления моющих средств (МС) технического назначения и компоненты, входящие в состав этих МС в наибольшем процентном соотношении. В частности, использовались следующие типы СПАВ: C_1 – натриевая соль вторичных C_{10} - C_{18} алкилсульфатов; C_2 – Лабомид 101; C_3 – Синтамид-5; C_4 – натриевая соль вторичных C_{10} - C_{18} алкилсульфатов + 12% МЭА; C_5 – соль триэтаноламина [1]. Таким образом, получилось пять разных МР: НсрВсрСср₁, НсрВсрСср₂, НсрВсрСср₃, НсрВсрСср₄, НсрВсрСср₅ со СПАВ и для сравнения исследовали один МР без СПАВ НсрВср.

Для полученных растворов были определены следующие физические показатели: пленка – присутствует; запах – НП 2 б (слабый болотный); без цвета; мутность – средняя; осадок – средний, коричневый, хлопьеобразный; температура растворов $18 \pm 2^\circ\text{C}$.

Пробы растворов для определения вышеизложенных показателей отбирались в соответствии с методикой, изложенной в литературе [8, 9].

В растворах НсрВсрСср₁₋₅ и НсрВср определяли концентрацию грубодисперсных примесей (отфильтрованных); растворенных примесей (выпаренных) и осевших примесей (отстоянных).

Концентрацию грубодисперсных примесей определяли в пробах перемешанных МР объемом 200 мл. Пробы растворов для анализа отбирали сифоном с половины высоты химического стакана (1000 мл). Концентрацию грубодисперсных примесей в растворах при температуре от 16 до 21°C определяли весовым методом.

Концентрацию растворенных примесей определяли для исходных отфильтрованных растворов по методике сухого остатка. Концентрацию осевших примесей определяли исходя из исходной, за вычетом грубодисперсной и растворенной концентраций.

Концентрации НП для исходных МР при нейтральных значениях рН среды определяли гравиметрическим методом (определение НП при концентрации их выше 3 мг/дм³) и СПАВ (анионоактивные препараты, суммарное определение).

2. Очистки растворов физическими методами и распределение загрязнений по их дисперсности

Очистка отстаиванием. Техническое моделирование процесса очистки МР НсрВсрСср₁₋₅ и НсрВср методом отстаивания осуществлялось на специальной лабораторной установке (рис.1), представляющей собой набор цилиндров (шесть штук) диаметром 50 мм (0,05 м) 2, рабочим объемом каждого 500 мл. Цилиндры имеют круглое днище с выпуском осадка 4 и приспособления 3 для отбора проб раствора с определенного уровня отстаивания [10, 11].

Растворы, с помощью химического стакана заливались в цилиндры установки до необходимой отметки.

Концентрацию грубодисперсных примесей определяли после отстаивания в течение различных интервалов времени: 60, 105, 180, 300, 600 и 900 с в верхнем слое воды объемом 125 мл, что соответствует высоте отстаивания – 69 мм.

Верхний водный слой отстаивающихся растворов отбирали для анализов с помощью сифона. Концентрации грубодисперсных примесей в растворах, до и после отстаивания при температуре в пределах от 16 до 21°C, определяли весовым методом. Для чего, равные объемы МР, до и после отстаивания, фильтровали через бумажный фильтр до постоянного веса и, по разнице веса фильтров с осадком и без него, определяли содержание ВВ в изучаемых растворах [8, 9].

Исходя из изменения концентрации примесей во времени, рассчитан эффект отстаивания исследуемых МР. Расчет производился по формуле:

$$\mathcal{E}_t = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где C_0 – начальная концентрация примесей в растворе, мг/дм³;
 C_t – текущая концентрация примесей за время t , мг/дм³.

Распределение частиц по их дисперсности

Наиболее общими и характерными признаками, загрязняющих воду веществ, являются формы нахождения их в воде. Поэтому возникла необходимость изучения фазового состояния в воде примесей, известной степени характеризуемой дисперсностью веществ (величина, обратная размеру частиц примесей) и определяющей закономерности, которым подчиняются протекающие в этой среде процессы очистки [12, 13].

Дисперсность, как технологический показатель, имеет большое значение при очистке МР после мойки автомобилей, т.к. позволяет получить полную картину распределения частиц по размерам. После мойки автомобилей в МР попадает пыль и грязь, которые являются источниками создания грубодисперсной системы. Как правило, эти системы седиментационно неустойчивы, т.е. их частицы оседают под действием силы тяжести. Эффективность процесса очистки МР зависит не только от количества, но и от характера взвешенных частиц, в частности от степени их дисперсности.

Для экспериментального исследования дисперсности, изучаемых растворов, предпочтение имеет микроскопический метод. Этот метод хотя и является весьма трудоёмким, однако обладает рядом преимуществ: дает возможность непосредственного подсчета числа частиц определенного размера, а не их массы; полученные данные не зависят от плотности частиц; повышение точности результатов достигается с увеличением числа просмотренных полей зрения и т.д.

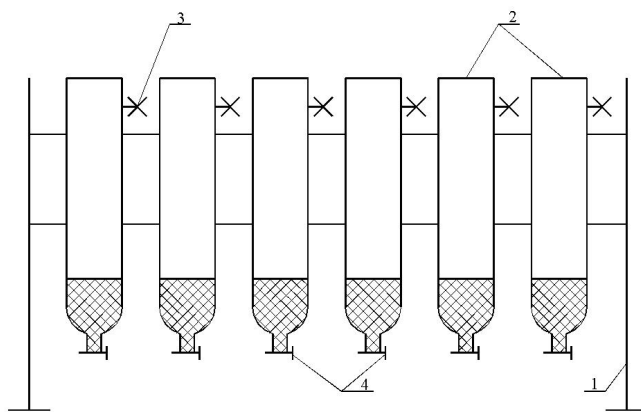


Рис. 1. Схема лабораторной установки для отстаивания МР:

1 – штатив; 2 – цилиндры диаметром $d = 50$ мм (0,05 м) для отстаивания; 3 – отводы для отбора проб при определении остаточной концентрации взвешенных веществ; 4 – отводы для выпуска осадка

В качестве основного прибора при исследованиях использовался микроскоп биологический рабочий МБР-1, предназначенный для исследования препаратов в проходящем свете в светлом поле [11, 14].

Для определения дисперсности необходимо определить размер частиц и их количество. Подсчет частиц производился с использованием микроскопа и счетной камеры Горяева – Тома, которая представляла собой толстое предметное стекло, разделенное бороздками. На центральную часть стекла нанесена сетка. Площадь квадрата сетки указана на одной из сторон предметного стекла и соответствует $1/25 \text{ мм}^2$ (большой квадрат) или $1/400 \text{ мм}^2$ (малый квадрат). Часть предметного стекла, на которой нанесена сетка, на 0,1 мм ниже двух других сторон. Это глубина камеры, она всегда указывается на предметном стекле [15].

Для анализа с помощью биологического микроскопа, пробу, в виде капли, отбирали пипеткой из МР. Каплю помещали на предметное стекло и тщательно размешивали. Концентрация частиц не должна была быть слишком большой, чтобы в поле зрения они не накладывались друг на друга. Пробу покрывали покровным стеклом. Размеры отдельных частиц определяли путем отсчета числа делений окулярной линейки, на которую проектировалась частица. Полученное число умножали на цену деления окулярной шкалы, которая определялась с помощью камеры Горяева – Тома и равна 0,014 мм.

Для получения сведений о гранулометрическом составе, подсчитывали число частиц разных размеров. Частицы классифицировали по эквивалентному диаметру [11, 14].

Эксперименты по определению количества частиц и их размеров для каждого из исследуемых растворов проводились трехкратно, после чего были получены усредненные значения.

Очистка фильтрованием

Способность примесей разной степени дисперсности образовывать с водой гетерогенные или гомогенные системы позволила авторам [12, 13, 16] разработать классификацию примесей по их фазово-дисперсному состоянию. Согласно этой классификации все примеси СВ делятся на четыре группы в соответствии с размерами частиц независимо от их природы.

Исследуемые МР относятся к первой группе примесей, которые составляют нерастворимые в воде грубодисперсные загрязнения, образующие суспензии и эмульсии. Это группа в которой размер частиц колеблется от $10^{-2} \dots 10^{-5}$ см. Примеси, в исследуемых растворах могут быть органической и неорганической природы, к этой же группе относятся микроорганизмы, которые могут попадать на поверхность автомобиля. Примеси образуют с водой гетерогенные кинетически неустойчивые системы. Процессы, используемые для удаления веществ этой группы, основываются на осветлении воды с помощью безреагентных и реагентных методов.

В настоящее время для безреагентного удаления грубодисперсных примесей, как правило, используют физические методы. Физические методы включают очистку растворов седиментацией, фильтрованием через пористые перегородки, очистку в силовых полях под воздействием гравитационных, электрических, магнитных и других сил.

Выбор того или иного метода очистки раствора зависит от требований, предъявляемых к очищенной воде (как по общему содержанию загрязнений, так и по размерам их частиц), от физико-химических свойств МР и содержащихся в нем загрязнений, а также места установки и условий эксплуатации применяемых для очистки устройств.

Более универсальными очистителями являются фильтры, эффективность применения которых практически не зависит от свойств грубодисперсных примесей и связана исключительно с соотношением размеров частиц и пор фильтрующей перегородки.

При проведении экспериментальных исследований для удаления ВВ из изучаемых МР использовали фильтрование через матерчатый материал – фильтровальную ткань бельтинг (плотная и очень прочная техническая ткань, выполненная из кручёной хлопчатобумажной пряжи с применением химических волокон).

Проба для эксперимента отбиралась из отстоянного в течении 15 мин раствора объемом 200 мл из верхнего слоя жидкости и фильтровалась через бельтинг, помещенный в воронку. После окончания фильтрования, фильтр, вместе с отфильтрованными ВВ, помещался в сушильный шкаф, где высушивался при температуре 105°C. Количество отфильтрованных ВВ из исследуемых растворов находили по разности весов фильтра.

3. Очистка растворов физико-химическими методами и влияния рН среды на процесс пенной флотации

Очистка пенной флотацией

Одним из возможных методов очистки СВ после мойки автомобилей от СПАВ, НП и ВВ является метод пенообразования [17]. Сущность метода пенного фракционирования различных веществ заключается в адсорбции поверхностно-активных веществ (ПАВ) границей раздела фаз раствор–газ и в непрерывном снятии поверхностного слоя. При этом необходимо соблюдение двух условий: выделяемые ПАВ должны обладать хорошими пенообразующими свойствами и пена должна быть стабильной. Указанные требования значительно сужают круг веществ, к которым может быть применен этот метод. Однако, нужно учесть возможности выделения тех веществ, которые сами не образуют устойчивой пены, но благодаря взаимодействию с имеющимися в растворе ПАВ, обладают способностью концентрироваться в пенном продукте [18, 19].

В зависимости от природы и структуры гидрофильной части молекул, ПАВ делятся на две большие группы: ионогенные и неионогенные. Ионогенные ПАВ, в свою очередь, разделяют на два основных класса: анионные и катионные.

Типы СПАВ, которые применяли, относятся к различным классам ПАВ: C_1 – натриевая соль вторичных C_{10} - C_{18} алкилсульфатов, C_4 – натриевая соль вторичных C_{10} - C_{18} алкилсульфатов +12% МЭА – к анионным ионогенным ПАВ; C_2 – Лабомид 101 и C_3 – Синтамид-5 – к неионогенным ПАВ; C_5 – соль триэтаноламина – к катионным ионогенным ПАВ. Перечисленные классы СПАВ обладают различной флотационной активностью [18, 20].

На процесс пенообразования влияют многие факторы: скорость и время продувания диспергированного воздуха через водный раствор; высота слоя

продуваемого раствора; рН раствора (вспенивающее действие сильнее при наименьшей диссоциации молекул ПАВ); температура (с повышением температуры вспенивание возрастает). Но прежде всего, действие пенообразователей (ПАВ) зависит от состава и строения молекул, а также от концентрации ПАВ в растворе [17, 19, 20].

Максимальная степень извлечения ПАВ достигается при меньших скоростях подачи воздуха. С увеличением скорости продувания диспергированного воздуха, объем пенного продукта резко возрастает, а концентрация ПАВ в пене снижается, несмотря на возрастание общего количества его в пенном продукте.

С целью понижения содержания взвешенных частиц (ВЧ) в растворах, проведены исследования процесса очистки отстающих и отфильтрованных изучаемых МР НсрВсрСср₁₋₅ и НсрВср методом пенной флотации с диспергированием воздуха через пористые материалы. Эксперименты проводились на специальной лабораторной установке, приведенной на рис.2.

Установка состояла из стеклянного цилиндра 2 диаметром 0,035 м, рабочим объемом 200 мл и высотой 0,21 м, являющимся флотационной камерой с мелкопористой загрузкой 3, в нижней его части. Цилиндр был укреплен на штативе 1. МР подавался в верхнюю часть вертикально установленного цилиндра, в нижнюю часть цилиндра закачивался воздух от аспиратора 6 типа МРТУ. Включение и выключение аспиратора производилось с помощью тумблера 8. Сжатый воздух поступал в МР по резиновой трубке 5 через мелкопористую загрузку (гальку), флотируя загрязнения микропузырьками. Высота загрузки составляла 0,02 м, пористость – 10,5 %. Скорость продувания диспергированного воздуха через растворы составляла 0,0083 м/с. Расход воздуха измерялся ротаметрами 9, снабженными вентилями с ручками 7, и поддерживался в пределах 0,5 л/мин. Диаметр пузырьков 1-2 мм, регулировался зажимом 4. Исследуемые МР содержали низкие концентрации СПАВ, поэтому время, необходимое для извлечения этих компонентов, было выбрано

минимальным и, по продолжительности флотации, составило 5 минут (300 с). Температура растворов поддерживалась комнатной и составляла 18 ± 2 °С. Эксперименты проводились для растворов при нейтральных значениях рН среды (7,1-8,3), с первоначальной концентрацией НП от 31,5 до 180,4 мг/дм³ и содержанием СПАВ от 0,018 до концентрации НП и СПАВ 0,131 мг/дм³.

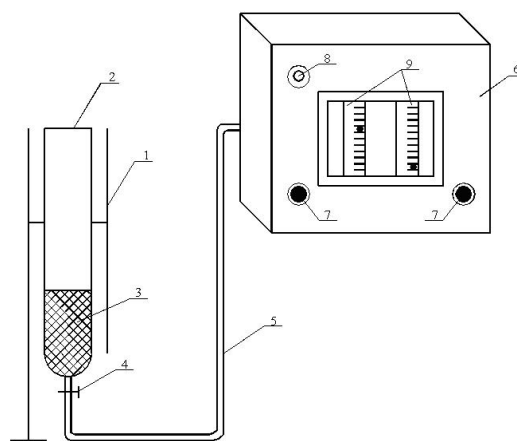


Рис.2. Схема лабораторной установки для очистки растворов флотацией

Пробы для анализа раствора отбирали из нижней части цилиндра. В отобранных пробах определяли остаточную

Влияние рН среды

На эффективность процесса понижения концентрации СПАВ, НП и остаточного содержания ВЧ значительно влияет рН обрабатываемых растворов. От концентрации водородных ионов косвенно зависит скорость фильтрования и отстаивания, т.к. при ее изменении изменяется степень агрегитирования частиц. Существует связь между водородным показателем жидкости и электрокинетическим потенциалом на поверхности твердых частиц, образующих суспензию [9].

Длинноцепочечные органические ионы ПАВ своими активными группами притягиваются к неорганическим коллоидам, обладающим противоположными зарядами. Поскольку сродство гидрофобных частей молекул ПАВ к воде меньше, чем сродство друг к другу, они, при соответствующих условиях (перемешивание, изменение рН среды), слипаются и тем самым своеобразным мостиком соединяют в глобулу связанные с ними коллоидные частицы [18, 19].

Для эксперимента использовали отстаивные и отфильтрованные через бельтинг изучаемые растворы. Изменение рН среды для растворов HcpBcpCcp_{1-5} и HcpBcp проводили в диапазоне от 4 до 9 с помощью добавлений 10% раствора NaOH и 0,1 н HCl. Значения рН растворов в ходе эксперимента измеряли иономером ЭВ-74. В исследуемых флотированных растворах присутствовали малорастворимые соединения, поэтому производили отделение их от растворов после флотации новым фильтрованием.

Все пробы исследуемых МР после флотации оставляли на сутки, затем определяли концентрацию малорастворимых примесей в растворах при t от 16 до 21⁰С весовым методом, с помощью бумажного фильтра «белая лента».

Степень очистки МР, при различных его значениях рН, определяли как отношение, выраженное в процентах, количества отфильтрованных малорастворимых примесей к общему количеству этих примесей в растворе до процесса очистки пенной флотацией.

Очистка электрокоагуляцией

В настоящее время для доочистки СВ, загрязненных НП, ВЧ и СПАВ, широко используются электрохимические методы очистки [21, 22, 23, 24]. Одним из таких методов является электрокоагуляция. В результате электрокоагуляция образуются агрегаты – более крупные вторичные частицы, состоящие из скопления более мелких первичных. Первичные частицы таких скоплений соединены силами межмолекулярного взаимодействия непосредственно или через прослойку окружающей дисперсной среды. Электрокоагуляция сопровождается прогрессирующим укрупнением частиц и, следовательно, уменьшением их числа в объеме дисперсионной среды. В поле постоянного тока ускоряются процессы формирования и осаждения электрокоагулированной взвеси; повышается степень очистки воды от примесей фильтрованием; улучшается отделение эмульгированных НП. Газы, выделяющиеся на электродах, облегчают условия очистки воды за счет окисления примесей.

Для изготовления электродов используются самые разнообразные материалы. В качестве катодов можно использовать любые материалы, обладающие достаточной электропроводностью: железо, нержавеющую сталь и т.д.

Из металлических анодов в настоящее время наибольшее применение получили аноды из железа (сталь) и алюминия. Для очистки СВ предпочтительно использование стальных анодов, так как при этом в воду переходят ионы двухвалентного железа, которые соединяясь с гидроксильными группами, образуют гидрат закиси железа, являющийся хорошим коагулянтom. В присутствии кислорода воздуха гидрат закиси железа окисляется до гидрата окиси. Хлопья гидрата окиси и гидрата закиси железа сорбируют на своей поверхности загрязнения и удаляются из очищаемой воды отстаиванием и фильтрованием. Поэтому при доочистке загрязненных МР после мойки автомобилей методом электрокоагуляции в качестве анода и катода использовали стальные пластины или стальные стержни.

Для исследования использовали отстаивные и профильтрованные непосредственные МР [24] НсрВсрСср₁, содержащий натриевую соль вторичных С₁₀-С₁₈ алкилсульфатов, в виде СПАВ; НсрВсрСср₂, содержащий Лабоимид 101; НсрВсрСср₃, содержащий Синтамид-5; НсрВсрСср₄, содержащий натриевую соль вторичных С₁₀-С₁₈ алкилсульфатов +12% МЭА; НсрВсрСср₅, содержащий соль триэтаноламина и НсрВср – без СПАВ. Опыты проводились на экспериментальных установках, представленных на рис.3.

Первоначально экспериментальная установка (см. рис.3 – I вариант) была выполнена в виде открытого вертикального двухсекционного сосуда 11, изготовленного из оргстекла, диаметром 0,02 м, высотой 0,19 м и рабочим объемом раствора 100 мл. Снизу сосуд закрывался резиновой пробкой 9 и крепился на штативе 10. Разделение на секции в сосуде производилось электрокоагуляцией пластмассовым колпаком. Для периодического удаления с поверхности электродов отложений, состоящих из органических веществ и механических примесей, в колпаке предусмотрен патрубок с зажимом 8 для подачи воздуха и воды в нерабочий период.

Электродами служили параллельно установленные железные пластины 7, площадью 0,0003 м² каждая и расстоянием между ними 0,005 м. Подвод постоянного электрического тока осуществляли через выпрямитель тока 1 типа ВСА – 5К, снабженного амперметром 3, вольтметром 4, регулятором силы тока 5, переключателем режимов работы 6, тумблером включения и выключения выпрямителя 2 и клемной колодкой для подвода питания из электросети. Подвод тока к электродам осуществлялся с помощью гибкого кабеля, присоединенного к катодным стержням, расположенным в нижней части анодной и катодной пластин.

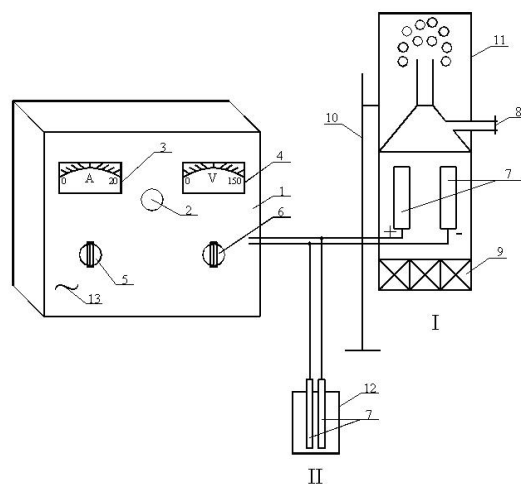


Рис.3. Схема лабораторной установки для очистки МР методом

МР подавали в верхнюю часть вертикально установленного сосуда, в нижней части находился раствор электролита. Пробы для анализа растворов после электрокоагуляции сливали в стеклянный цилиндр.

В качестве электролита использовалась природная вода, т.к. растворенные в ней газы, минеральные и органические вещества в той или иной степени диссоциированы на ионы, а коллоидные и ВВ в большинстве случаев несут определенный заряд [22].

При наложении однородного электрического поля на исходный раствор в двухсекционном сосуде электрообработки наблюдали образование агрегатов, которые флотировались пузырьками газа, образующегося в процессе электролиза. Предложенная установка не способствовала равномерному распределению пузырьков газа, следовательно, оптическая плотность исследуемого раствора изменялась скачкообразно. Поэтому осуществили ряд изменений в экспериментальной установке, для достижения равномерного уменьшения оптической плотности, связанной с временем электрокоагуляции.

Для проведения дальнейших опытов экспериментальная установка была модернизирована (см. рис.3 – II вариант). Двухсекционный сосуд был заменен стеклянным цилиндром 12 диаметром 0,045 м; высотой 0,09 м и рабочим объемом раствора 100 мл. Electroдами служили параллельно установленные железные стержни 7, выполненные из стали марки Ст3, площадью 0,00035 м² каждый и расстоянием между ними 0,005 м. После электрокоагуляции МР отстаивали в стеклянном цилиндре и через определенные интервалы времени из него отбирали пробы для определения оптической плотности.

В ходе эксперимента проводили серии опытов, в которых выясняли влияние на эффект очистки МР времени электрообработки и плотности тока. Основную величину, которая характеризовала эффект очистки МР – оптическую плотность измеряли колориметром фотоэлектрическим концентрационным типа КФК – 2МП. Время с момента отбора пробы до момента измерения оптической плотности (эффект отстаивания) не превышало 2 – 3-х минут. Исследования проводились при плотности тока 0,0128 и 0,0183 А/см² при этом напряжение на электродах электрокоагулятора изменялось соответственно от 8 до 15 В.

Выводы:

– разработанные экспериментальные установки и методики проведения экспериментов позволили в лабораторных условиях изучить очистку моющих растворов после мойки автомобилей методами: отстаивания; фильтрования, с использованием тканей типа бельтинг; пенной флотацией; электрокоагуляцией при плотности тока 0,0128 и 0,0183 А/см².

Список литературы: 1. Букатенко Н. А. Исследование отработанных моющих растворов после мойки автомобилей / Н. А. Букатенко // Науковий вісник будівництва. – Х., 2001. – Вип. 15. – С. 279 – 282. 2. Хват В. М. Контроль за выпуском сточных вод автотранспортных предприятий в водные объекты и комплекс сооружений для их очистки / В. М. Хват, А. В. Рошкевская, Т. Я. Заславская // Экономические, технические и организационные основы охраны вод: сб. науч. тр – Х., 1986. – С. 166–173. 3. Хват В. М. Рекомендации по контролю за выпуском в водные объекты сточных вод и поверхностного стока автотранспортных предприятий / Хват В. М. – Х.: ВНИИВО, 1985. – 15 с. 4. Злотник М. Очистные сооружения на мойке автомобилей /М. Злотник, А. Павлюк // Автомобильный транспорт. – 1992. – № 1. – С.

47.5. *Шинкарев В. Т.* Мойка автомобилей. Очистные сооружения для сточных вод / В. Т. Шинкарев // Автомобильная промышленность. – 1993. – № 12. – С. 22 – 23. 6. Основы научных исследований / [Глушенко И. М., Пинскер А. Е., Полянчиков О. И., Трикило А. И.] / – К.: Вища школа, 1983. – 158 с. 7. *Бондарь А. Г.* Планирование эксперимента при оптимизации процессов химической технологии (алгоритмы и примеры): [учебное пособие]. / Бондарь А. Г., Статюха Г. А., Потяженко И. А. – К.: Вища школа, 1980. – 264 с. 8. *Лурье Ю. Ю.* Аналитическая химия промышленных сточных вод / Лурье Ю. Ю. – М.: Химия, 1984. – 448 с. 9. Унифицированные методы исследования качества вод. Совещание руководителей водохозяйственных органов стран – членов СЭВ : в 5 ч. / [Разраб. Атасов А.]. – М.: Секретариат СЭВ, 1987. – Ч. 1: Методы химического анализа вод. Т. 1: Основные методы. – 1987. – 592 с. 10. *Букатенко Н. А.* Обобщение результатов очистки стоков после мойки автомобилей методом отстаивания / Н. А. Букатенко // Коммунальное хозяйство городов. – К., 2002. – Вып. 35. – С. 109 – 112. 11. *Букатенко Н. А.* Исследование возможности очистки и использования стоков после мойки автомобилей в замкнутых системах оборотного водоснабжения / Н. А. Букатенко // Вестник Национального технического университета «ХПИ». – Х., 2002. – Вып. 6. Т. 2. – С. 134 – 141. 12. *Кульский Л. А.* Технология водоочистки на основе дисперсности примесей / Кульский Л. А. – К.: КИСИ, 1986. – 67 с. 13. *Кульский Л. А.* Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды: в 2 т. / Л. А. Кульский, И. Т. Гороновский, А. М. Когановский, М. А. Шевченко. – К.: Наукова думка, 1980. – 1206 с. 14. *Букатенко Н. А.* Определение дисперсности взвесей от количества частиц определенного диаметра в отработанных моющих растворах $H_{cp}V_{cp}C_{cp1-5}$ и $H_{cp}V_{cp}$ / Н. А. Букатенко // Науковий вісник будівництва. – Х., 2002. – Вип. 17. – С. 209 – 212. 15. Руководство к практическим занятиям по микробиологии: для биол. фак. ун-тов / [Пименова М. Н., Гречушкина Н. Н., Азова Л. Г. и др.]; под ред. Н. С. Егорова. – [2-е изд.]. – М.: Изд-во МГУ, 1983. – 215 с. 16. *Яковлев С. В.* Канализация. Водоотведение и очистка сточных вод / Яковлев С. В. – М.: Стройиздат, 1987. – 319 с. 17. *Букатенко Н. О.* Очищення стічних вод після миття автомобілів методом флотації / Н. О. Букатенко // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я : XII міжнар. наук.-практ. конф., 20-21 травня 2004 р. : анотації доповідей. – Х., 2004. – С. 680. 18. Очистка сточных вод с применением поверхностно-активных веществ / В. Г. Березюк, О. В. Евтюхова, Ю. П. Беличенко, А. М. Касимов. – М.: Металлургия, 1987. – 96 с. 19. *Пушкарев В. В.* Физико-химические особенности очистки сточных вод от поверхностно-активных веществ / В. В. Пушкарев, Д. И. Трофимов. – М.: "Химия", 1975. – 144 с. 20. *Бедрик Б. Г.* Растворители и составы для очистки машин и механизмов: справ. изд. / Бедрик Б. Г., Чулков П. В., Калашников С. И. – М.: Химия, 1989. – 176 с. 21. *Проскуряков В. А.* Очистка нефтепродуктов и нефтесодержащих вод электрообработкой / В. А. Проскуряков, О. В. Смирнов. – СПб.: Химия, 1992. – 112 с. 22. Очистка воды электрокоагуляцией / Л. А. Кульский, П. П. Строкач В. А. Слипченко, Е. И. Сайгак. – К.: Будівельник, 1978. – 112 с. 23. *Яковлев С. В.* Электрохимические методы очистки воды / С. В. Яковлев, В. Н. Рогов. – М.: Стройиздат, 1987. – 300 с. 24. *Букатенко Н. А.* Перспективные малоотходные системы очистки воды после мойки автомобилей / Н. А. Букатенко // Техносфера та її безпека : міська наук.-метод. конф., 15 жовт. 2003 р. : тези доповідей. – Х., 2003. – С. 47-48.

Поступила в редколлегию 15.01.2012

УДК 665.3

Л.М. КУЗНЕЦОВА, м.н.с., УкрНДІОЖ НААН, Харків,
П.Ф. ПЕТИК, канд.техн.наук, УкрНДІОЖ НААН, Харків,
І.М. ДЕМИДОВ, докт.техн.наук, УкрНДІОЖ НААН, Харків,
В.Ю. ПАПЧЕНКО, канд.техн.наук, УкрНДІОЖ НААН, Харків

ДОСЛІДЖЕННЯ ФРАКЦІОНУВАННЯ ПАЛЬМОВОЇ ОЛІЇ

У роботі розглянуто фракціонування пальмової олії кристалізацією з розчину в органічному розчиннику. Встановлено умови одержання фракцій пальмової олії при відношенні пальмова

олія:органічний розчинник 1:2. Досліджено фізико-хімічні характеристики отриманих фракцій пальмової олії.

Фракціонування, кристалізація, пальмова олія, стеарин, розчинник.

В работе рассмотрено фракционирование пальмового масла кристаллизацией из раствора в органическом растворителе. Установлены условия получения фракций пальмового масла при соотношении пальмовое масло:органический растворитель 1:2. Исследовано физико-химические характеристики полученных фракций пальмового масла.

Фракционирование, кристаллизация, пальмовое масло, стеарин, растворитель.

In this paper the fractionation of palm oil by crystallization from solution in organic solvent was examined. The conditions for obtaining fractions of palm oil at a ratio of palm oil: organic solvent 1:2 were established. The physico-chemical characteristics of the obtained fractions of palm oil were investigated

Fractionation, crystallization, palm oil, stearin, cocoa butter, the solvent.

На сьогоднішній день маргаринова, кондитерська та інші галузі харчової промисловості України мають значну потребу в жирах, що характеризуються вузьким діапазоном твердості, температур плавлення та інших структурно-механічних та фізико-хімічних характеристик. Так, наприклад, створення досить великої кількості кондитерських виробів неможливо без застосування твердих жирів з певними фізико-механічними властивостями, в тому числі з використанням тропічних жирів (пальмової та кокосової олій). Тут перед виробниками жирової продукції постає альтернатива: або для таких видів продукції застосовувати жири з великою кількістю транс-ізомерів, або використовувати тверді жири біогенного походження доступні за ціною, тобто тропічні жири. Використання тропічних жирів дозволяє одержувати продукти з заданими характеристиками (маргарини, спреди, кондитерські жири, замінники молочного жиру, шоколад тощо). Властивості жирової фази (в якості якої використовують, в тому числі, фракціоновані тропічні жири) цих продуктів впливають на цілий ряд їх важливих показників, а саме термостабільність, блиск виробу, ламкість, твердість, тугоплавкість тощо. Відомо [1, 2], що фракціонування тропічних жирів кристалізацією з розчину в органічному розчиннику дає змогу досягнути максимальної швидкості кристалоутворення, одержувати фракції з вузьким діапазоном характеристик триацилгліцеринів та спрощує управління процесом фракціонування, але при цьому застосовуються такі розчинники як ацетон, гексан, що не є харчовими речовинами, тому використання етилового спирту, як розчинника представляється більш перспективним. Отже дослідження фракціонування тропічних жирів кристалізацією з розчину в органічному розчиннику, а саме етанолі є актуальними і перспективними.

Мета роботи полягає в дослідженні умов одержання фракцій пальмової олії кристалізацією з розчину в органічному розчиннику (етанолі).

Дослідження процесу фракціонування виконано на промисловому зразку пальмової олії, жирнокислотний склад якої визначено методом газової хроматографії згідно [3] на газовому хроматографі GC-14B, фірми «SHIMADZY» і представлено у табл. 1, температури плавлення і затвердіння пальмової олії визначено згідно [4], вони складають 35,3 °C і 27 °C відповідно.

Таблиця 1. Жирнокислотний склад пальмової олії

Жирнокислотний склад	Масова частка, %
Кислота лауринова $C_{12:0}$	0,4
Кислота міристинова $C_{14:0}$	1,2
Кислота пальмітинова $C_{16:0}$	45,6
Кислота стеаринова $C_{18:0}$	4,7
Кислота олеїнова $C_{18:1}$	38,4
Кислота лінолева $C_{18:2}$	8,2
Кислота ліноленова $C_{18:3}$	1,5

Як відомо [5] дослідження процесу кристалізації і плавлення пальмової олії дилатометричним методом, а також за допомогою диференціального скануючого калориметру та прибору Дженсена, показали, що при кристалізації і плавленні пальмової олії спостерігаються дві чітко виражені фази, перша з яких відповідає кристалізації або плавленню високоплавких триацилгліцеринів, а друга – середньоплавких триацилгліцеринів. Особливо чітко це виявляється на диференціальній кривій охолодження, яку отримано дилатометричним методом [5], де спостерігається два піки кристалізації: перший – в інтервалі температур $24^{\circ}\text{C} - 26^{\circ}\text{C}$ відповідає кристалізації високоплавких триацилгліцеринів, другий – в інтервалі температур $14^{\circ}\text{C} - 16^{\circ}\text{C}$ відповідає кристалізації середньоплавких триацилгліцеринів, переважно 2-олеодінасичених триацилгліцеринів.

Виходячи з цього запропоновано двостадійне фракціонування пальмової олії кристалізацією з розчину в етанолі. Обране співвідношення - пальмова олія:розчинник (етиловий спирт) 1:2 (маса:об'єм). На першій стадії для отримання кристалів твердих фракцій наважку пальмової олії у етанолі нагрівають до температури $60^{\circ}\text{C} - 55^{\circ}\text{C}$ і охолоджують до температури 25°C , витримують суміш запланований час. На другій стадії фільтрат, що містить рідку фазу олії і розчинник, охолоджують до температур $10^{\circ}\text{C} - 13^{\circ}\text{C}$ і витримують при цій температурі деякий час. Тверду частину відокремлюють і видаляють розчинник дистиляцією під вакуумом.

Серію дослідів фракціонування пальмової олії кристалізацією з розчину в органічному розчиннику проведено згідно цієї методики.

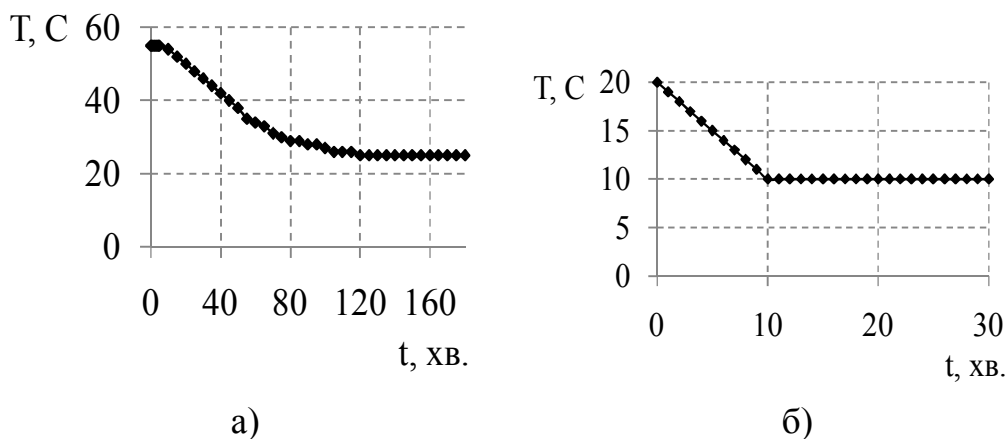


Рис.2. Температурні режими кристалізації на першій стадії фракціонування температура кристалізації 25°C (а) і на другій стадії фракціонування температура кристалізації 10°C (б)

На рис. 2 наведено приклад температурного режиму кристалізації для досліду, який проведено при температурі кристалізації 25 °С на першій стадії фракціонування і при температурі кристалізації 10 °С на другій стадії фракціонування.

Таблиця 2. Характеристика фракцій пальмової олії, які отримано при температурі кристалізації на першій стадії фракціонування 25 °С, на другій стадії фракціонування 10 °С

Найменування показника	Фракції пальмової олії:		
	I-фракція	II-фракція	III-фракція
Температура плавлення, °С	55,0	35,6	20,0
Вихід, %	12,7	49,5	18,5
Вихід фракцій після першої стадії фракціонування, %	12,7	87,5	
Вихід фракцій після другої стадії фракціонування, %	-	56,7	43,3
Йодне число, мг I ₂ /100 г	28,6	45,8	54,7
Жирнокислотний склад, %			
C12:0	0,17	-	0,4
C14:0	1,3	1,15	1,1
C16:0	65,0	47,3	41,5
C18:0	4,6	4,1	3,6
C18:1	23,3	39,0	42,3
C18:2	4,8	8,0	10,5
C18:3	0,1	-	0,3
C20:0	-	-	0,3

На першій стадії відділено осад – I-фракцію пальмової олії. На другій стадії відділено осад – II-фракцію пальмової олії від розчину низькоплавких триацилгліцеринів (III-фракції пальмової олії), для кожної з отриманих фракцій визначено температуру плавлення, жирнокислотний склад, йодне число, вихід фракції. Характеристику отриманих фракцій пальмової олії представлено у табл. 2.

Дослідженням процесу фракціонування пальмової олії кристалізацією з розчину в органічному розчиннику показали, що на даному етапі дослідження найбільша селективність при розділенні триацилгліцеринів забезпечується при температурі на першій стадії фракціонування 25 °С, на другій стадії фракціонування 10 °С і обраному співвідношенні пальмова олія:розчинник (етиловий спирт) 1:2, оскільки отримані зразки фракцій пальмової олії (I, II і III-фракції) за своїми фізико-хімічними характеристиками, відповідають пальмовому стеарину, середній фракції і пальмовому олеїну, що узгоджується з відомими літературними даними [5, 6, 7].

Список літератури: 1. Демидов И.Н. Использование этанола в масложировой промышленности / Олійно-жировий комплекс. – 2004. – № 1. – С. 21 – 23. 2. Демидов И.Н. Использование этанола при фракционировании жиров – перспективная технология /

И.Н. Демидов, Л.Н. Кузнецова // Тезисы докладов 10-й международной конференции [“Масложировая индустрия 2010”]. – 2010. – С. 160 – 162. **3.** Жири та олії тваринні й рослинні. Аналіз методом газової хроматографії метилових ефірів жирних кислот (ISO 5508:1990, IDT): ДСТУ ISO 5508-2001. – [Чинний від 2003-01-01] – К.: Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики 2002, 10 с. – (Національні стандарти України). **4.** Маргарини, жири кондитерські та для молочної промисловості. Правила приймання та методи випробувань: ДСТУ 4463-2005. – [Чинний від 2007-01-01] – К.: Держспоживстандарт України 2006, 36с. – (Національні стандарти України). **5.** Павлова И.В. Теоретические и экспериментальные основы развития технологии производства заменителя масла какао: автореф. дис. на соискание наук. степени д-ра техн. наук: спец. 05.18.06 / И.В. Павлова. – Санкт-Петербург, 2000. **6.** Стеарин пальмовий. Загальні технічні умови: ДСТУ 4439:2005. – [Чинний від 2006-07-01] – К.: Держспоживстандарт України 2006, 18 с. – (Національні стандарти України). **7.** Олейн пальмовий. Загальні технічні умови: ДСТУ 4438:2005 – [Чинний від 2006-07-01] – К.: Держспоживстандарт України 2006, 18 с. – (Національні стандарти України).

Поступила в редколлегию 15.01.2012

УДК 66.021.3

Д.О. ЛАЗНЕНКО, канд.техн.наук, доц., СумДУ, Суми
С.В. СИДОРЕНКО, канд.техн.наук, асис, СумДУ, Суми
С.О. КОНЄВ, асп., СумДУ, Суми

НОВИЙ ПІДХІД ДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МАСОВІДДАЧІ В РОТОРНОМУ МАСООБМІННОМУ АПАРАТІ

В статті показаний та експериментально апробований новий підхід до підвищення ефективності масовіддачі в газовій фазі роторного масообмінного апарата. Підхід полягає в секціонуванні ротору апарата на порожню заповнену насадкою зони. Приведені результати постановочних експериментів показують адекватність та перспективність запропонованого підходу.

Ключові слова: роторний масообмінний апарат, масо віддача в газовій фазі, підвищення ефективності, секціонування контактної пристрою.

В статье показан и экспериментально апробирован новый подход к повышению эффективности масовиддачи в газовой фазе роторного массообменного аппарата. Подход заключается в секционировании ротора аппарата на пустую заполненную насадкой зоны. Приведенные результаты постановочных экспериментов показывают адекватность и перспективность предложенного подхода.

Ключевые слова: роторный массообменник аппарат, массо отдача в газовой фазе, повышение эффективности, секционирования контактной устройства.

The article shown and experimentally tested a new approach to increase mass transfer efficiency in the gas phase in rotor mass transfer apparatus. The approach consists in partitioning rotor of the apparatus on empty and filled packed bed areas. The results of experiments show the adequacy of the stage and prospects of the proposed approach.

Keywords: rotary masoobminnyu apparatus, mass returns in the gas phase, increasing efficiency, sectioning pin device.

Роторні масообмінні апарати (РМА) є класом масообмінного обладнання, в якому інтенсифікація процесу досягається шляхом підведення в систему зовнішньої енергії шляхом створення відцентрового поля [1-3]. Відомою

конструкцією РМА є протитечійний апарат, схема якого представлена на рис.1. Взаємодія фаз відбувається в контактному пристрої, встановленому в середині ротора. В закордонній літературі такий тип апаратів часто зустрічається під назвою «HiGee» (від англ. аббревіатури HG, High Gravity – висока гравітація).

В роботах [4-7] авторами проведені дослідження закономірностей гідродинаміки та масопереносу в РМА наведеної конструкції. В тому числі в [5-7] досліджувалася робота РМА з контактним пристроєм, який складається з набору вісесиметричних кільцевих контактних елементів, встановлених з кроком один від одного. Елементи виготовлені з дрібночарункової металеві сітки.

Метою цих досліджень було визначення кроку між контактними елементами, який відповідає максимальній ефективності проведення процесу. Результати по масовіддачі в газовій фазі, приведені на рис.2, показали максимум ефективності при кроці $\Delta r = 3$ мм. Але, одночасно з цим, отримано зростання коефіцієнту масовіддачі при збільшенні кроку між елементами понад 10 мм.

Максимум при $\Delta r = 3$ мм на рис.2 в [5-7] пояснюється розвитком до максимального значення мікромаштабної турбулентності, яка формується при проходженні газу крізь дрібночарункову сітку.

При збільшенні кроку між елементами контактного пристрою інтенсифікація масовіддачі в газовій фазі визначається дією інших механізмів, обумовлених збільшенням колової швидкості газової фази всередині ротора.

Рух газу в середині порожнього ротора відбувається по

спіралеподібній траєкторії від периферії до центру ротора [5,6]. Радіальна складова швидкості визначається законом нерозривності. Колова складова швидкості газу змінюється за залежністю, близькою до закону збереження моменту імпульсу. По ходу руху газу від периферії до центру зростає як радіальна так і колова складова швидкості (внаслідок зменшення радіусу).

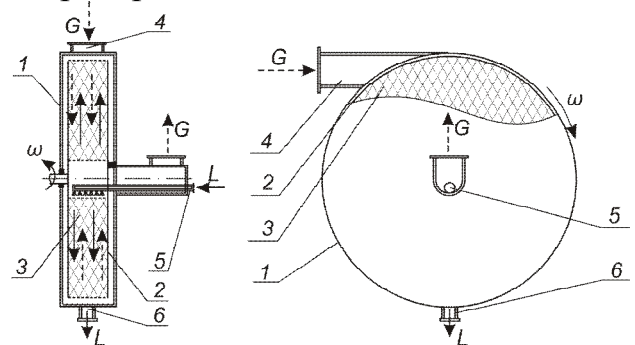


Рис. 1 Схема РМА: 1 – корпус, 2 – ротор, 3 – контактний пристрій, 4, 5 – патрубок подачі газу та рідини відповідно, 6 – патрубок відведення рідини; L – рідина, G – газ (суцільними лініями показаний напрямок руху рідини, пунктирними – напрямком руху газу)

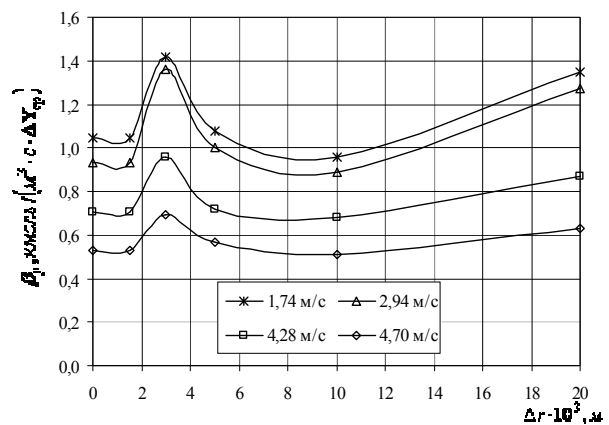


Рис. 2 Залежність об'ємного коефіцієнту масовіддачі в газовій фазі від кроку між кільцевими елементами при різних швидкостях газу. Швидкість обертання 157 рад/с (1500 об/хв)

Збільшення вільного простору між елементами контактної пристрою призводить до збільшення швидкості газової фази по відношенню до заповненого ротора за рахунок зростання колової складової швидкості. Відповідно відбувається зростання турбулізації газу. Це призводить до підвищення масообмінних характеристик.

Таким чином, існують різні механізми масовіддачі в газі в порожньому роторі та роторі з контактним пристроєм. Приведені на рис.2 результати свідчать, що один з механізмів масовіддачі більш ефективний в одних гідродинамічних умовах, другий – в інших, і слід очікувати максимуму ефективності при комбінації зазначених механізмів масовіддачі. Але ця гіпотеза потребує додаткового підтвердження. В [5-7] виявлена особливість не досліджувалась через іншу постановку задачі цих робіт.

Тобто постає задача дослідження напряму підвищення масообмінних характеристик РМА за рахунок використання різних гідродинамічних режимів в різних зонах контактної пристрою роторного апарата. Шляхом створення різних гідродинамічних режимів в середині ротора є конструктивне рішення, що полягає у розділенні ротору РМА на порожню та заповнену насадкою зони.

Задача вирішувалася шляхом проведення експериментальних досліджень ефективності масовіддачі в газовій фазі в РМА при різній ступені заповнення ротора контактним пристроєм.

Для визначення впливу двох вищенаведених гідродинамічних механізмів на ефективність масовіддачі проводилося поступове секціонування контактної пристрою на заповнену та порожню зони і визначення ефективності в кожному випадку на різних швидкостях обертання ротору. При цьому ступінь впливу кожного з режимів на ефективність масовіддачі оцінюється через співвідношення розмірів порожньої та заповненої частини ротора РМА.

Для виконання заповненої частини контактної пристрою використовували пористий полімерний матеріал з високою питомою поверхнею. Такий підхід до створення контактних пристроїв РМА широко застосовується різними дослідниками [8-10]. В таких контактних пристроях ефективність досягається за рахунок утворення високорозвинutoї поверхні контакту фаз і масовіддача відбувається переважно на поверхні утвореної плівки рідини.

Дослідження проводилися на експериментальному стенді, головним елементом якого є лабораторна модель РМА. Ротор стендового РМА має розміри: зовнішній діаметр 200 мм, внутрішній діаметр 40 мм, ширина 30 мм. Експеримент проводили на модельній суміші аміак-вода при десорбції аміаку в потік повітря, що є відомим підходом дослідження масовіддачі в газовій фазі [11].

В ході експерименту поступово змінювалося співвідношення між заповненою та порожньою частиною ротору, зменшення заповнення відбувалося від центру до периферії (рис.3). Кількісно співвідношення частин ротору оцінювалося як відношення порожньої частини до повного розміру ротору і виражається через коефіцієнт k

$$k = \frac{r - r_0}{R - r} \quad (1)$$

де r_0 – внутрішній радіус ротора, м;
 R – зовнішній радіус ротора, м;
 r – поточний радіус, що поділяє заповнену та порожню секції ротора, м.

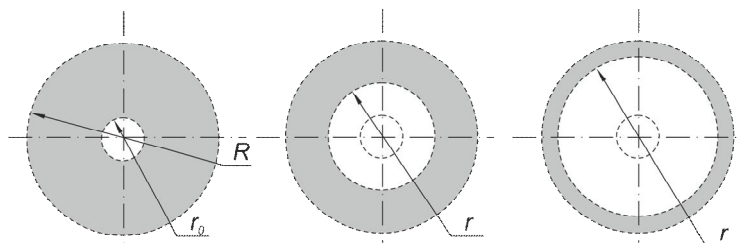


Рис.3 Схема заповнення ротора насадкою

На рис.4 наведена отримана залежність об'ємного коефіцієнту масовіддачі від коефіцієнту k при різних швидкостях обертання ротора, що отримана в результаті експериментів. Результати підтверджують висунуту вище гіпотезу про можливість підвищення ефективності масовіддачі за рахунок комбінації різних гідродинамічних механізмів в порівнянні з використанням одного з цих механізмів. Це відкриває новий перспективний підхід до конструктивного виконання контактної пристрою.

Приведені результати показують наявність явно вираженого максимуму коефіцієнту масовіддачі при частковому заповненні ротора насадкою. Тобто для РМА можливе підвищення ефективності масовіддачі в газовій фазі за рахунок секціонування контактної пристрою на порожню та заповнену частини. В практичному плані це призводить до зменшення матеріалоемності контактної пристрою, його маси (що важливо для роторних апаратів) та собівартості при одночасному підвищенні ефективності процесу.

В результаті проведених робіт показаний та експериментально доведений новий підхід до збільшення ефективності масовіддачі

в РМА шляхом застосування різних режимів взаємодії фаз в різних зонах контактної пристрою. Даний результат показує напрямки подальшого вдосконалення контактних пристроїв шляхом секціонування ротору на заповнену та порожню частини. Запропонований підхід потребує подальшого більш детального дослідження.

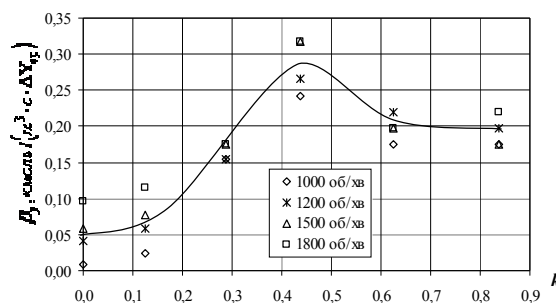


Рис.4 Залежність об'ємного коефіцієнту масовіддачі в газовій фазі від співвідношення заповненої та порожньої частини ротора

Список літератури: 1. Задорский В. М. Интенсификация химико-технологических процессов на основе системного подхода / В. М. Задорский – К. : Техника, 1989. – 208 с. 2. Кафаров В. В. Основы массопередачи: Системы газ-жидкость, пар-жидкость, жидкость-жидкость / В. В. Кафаров. – [3-е изд, перераб. и доп.] – М. : Высшая школа, 1979. – 439 с. 3. Белоглазов И. Н. Интенсификация и повышение эффективности химико-технологических процессов / И. Н. Белоглазов, А. И. Муравьев – Л. : Химия, 1988. – 206 с. 4. Лазненко Д. О. Розробка і дослідження малогабаритних апаратів для процесів ректифікації: дис. ... кандидата техн. наук: 05.17.08 / Лазненко Дмитро Олексійович. – Суми, 2001. – 151 с. 5. Сидоренко С.В. Гідродинаміка та масообмін в диспергуючому контактному пристрої відцентрового масообмінного апарата: дис. ... кандидата техн. наук: 05.17.08 / Сидоренко Сергій Вікторович. – Суми, 2011. – 179 с. 6. Лазненко Д. О. Відцентровий масообмінний апарат. Гідродинаміка газової фази в роторі / Д. О. Лазненко, В. Г. Неня, А. М. Юнда, С. В. Сидоренко // Хімічна

промисловість України. – 2011. – № 3. – С. 20–24. 7. Лазненко Д. О. Дослідження масовіддачі в газовій фазі при роботі відцентрового масообмінного апарату [Електронний ресурс] / Д. О. Лазненко, С. В. Сидоренко // Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2010. – № 2(18). – Режим доступу до журн.: <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nd/2010-2/10ldomta.pdf>. 8. Packing characteristics for mass transfer in a rotating packed bed / Y. S. Chen, F. Y. Lin, C. C. Lin [and oth.] // Industrial Engineering and Chemistry Research – 2006. – № 45 (20). – P. 6846–6853. 9. Process intensification in a trickle-bed reactor: experimental studies / S. K. Dhiman, Vishal Verma, D. P. Rao [and oth.] // AIChE Journal – 2005. – Vol. 51, № 12. – P. 3186–3192. 10. Chandra A. Characteristics of flow in a rotating packed bed (HIGEE) with split packing / A. Chandra, P. S. Goswami, D. P. Rao // Industrial Engineering and Chemistry Research – 2005. – № 44. – P. 4051–4060. 11. Рамм В. М. Абсорбция газов / В. М. Рамм. – [2-е изд. перераб. и доп.]. – М. : Химия, 1976. – 658 с.

Поступила в редколлегию 27.01.2012

УДК 628

В. А. ЮРЧЕНКО, докт.техн.наук., проф., ХНАДУ, Харьков

А. Ю. БАХАРЕВА, канд.техн.наук, ст. преп., НТУ «ХПИ», Харьков

ДВУХСЕКЦИОННЫЙ БИОРЕАКТОР С ОМЫВАЕМЫМ СЛОЕМ ДЛЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ДЕТОКСИКАЦИИ МЕТАНА И СОПУТСТВУЮЩИХ ЕМУ ВЕЩЕСТВ (H_2S , SO_2 И NH_3) В ГАЗООБРАЗНЫХ ВЫБРОСАХ ИЗ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ СЕТЕЙ Г. ХАРЬКОВА И ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИЯ

Разработано технологическое предложение по биотехнологической детоксикации метана в газообразных выбросах из канализационных сетей в биореакторе с омываемым слоем.

Розроблено технологічну пропозицію з біотехнологічної детоксикації метану в газоподібних викидах з каналізаційних мереж у біореакторі з шаром, що омивається.

Technological proposition of biotechnological detoxication of methane in gasiform throw outs of sewerage networks in bioreactor with washing layer has been developed.

Проведенные экспериментальные исследования показали принципиальную возможность создания эффективной двухсекционной промышленной установки для биотехнологической детоксикации метана и сопутствующих ему веществ (H_2S , SO_2 и NH_3) в газообразных выбросах из канализационных сетей г. Харькова[1].

Для последовательной детоксикации CH_4 , H_2S , SO_2 и NH_3 в газообразных выбросах следует использовать биотехнологическую установку, высота которой позволяет пространственно разделить микробиоценозы, окисляющие H_2S , SO_2 и NH_3 (в которых доминируют тиобациллы и нитрифицирующие бактерии) и окисляющие CH_4 (в которых доминируют метанотрофы). Фактически такая установка будет включать два биореактора: один – для окисления хорошо растворяющихся в воде газообразных соединений (H_2S , SO_2 и NH_3), второй – для окисления плохо растворяющегося в воде метана, то есть будет являться двухсекционной. Рабочий объем такой установки будет составлять 4,044 м³ (для объема газообразных выбросов 10 м³/ч) и 18,22 м³ (для объема газообразных

выбросов $50 \text{ м}^3/\text{ч}$); с учетом того, что максимальные концентрации H_2S , SO_2 и NH_3 и CH_4 фиксируются в 30 % проб, объем составит $1,2 \text{ м}^3$ и $5,4 \text{ м}^3$ – соответственно для $10 \text{ м}^3/\text{ч}$ и $50 \text{ м}^3/\text{ч}$ газообразных выбросов из канализационных сетей г. Харькова. В каждой секции биореактора для повышения скорости процессов окисления используется загрузка из лавсановых ершей, масса которой была рассчитана для каждой секции, на которой иммобилизован специализированный микробиоценоз[1]. Установка подобного принципа (с двумя биореакторами) была использована [2] для очистки дымовых газов. Однако, установка для детоксикации CH_4 , H_2S , SO_2 и NH_3 в газообразных выбросах из канализационных сетей, по нашему мнению, должна иметь ряд существенных отличий (рис.). В стандартных биореакторах с полимерной насадкой,

применяемых в ФРГ для очистки воздуха на объектах интенсивного

животноводства [3],

потребление воды

составляет $48 \text{ м}^3/\text{сут}$, а

удельный расход воды в сутки составляет

$0,032 \frac{\text{м}^3 \text{ воды}}{\text{м}^3 \text{ газа} \cdot \text{сут}}$, при

объеме установки $1,5 \text{ м}^3$.

Можно предположить какое потребление и расход воды в

сутки будет в предлагаемом

разработанном биореакторе

с полимерной загрузкой из

лавсановых ершей для

детоксикации CH_4 , H_2S ,

SO_2 и NH_3 в газообразных

выбросах из

канализационных сетей г.

Харькова. Зная потребление

и расход воды для

биореактора, объемом $1,5 \text{ м}^3$,

можно рассчитать какой

расход и потребление воды

будет в биореакторах

другого объема.

Но концентрация CH_4 ,

H_2S , SO_2 и NH_3 в газообразных выбросах из канализационных сетей на 1-2 порядка ниже концентраций аналогичных соединений в газообразных выбросах из объектов животноводства [3]. Поэтому расход воды в установке для

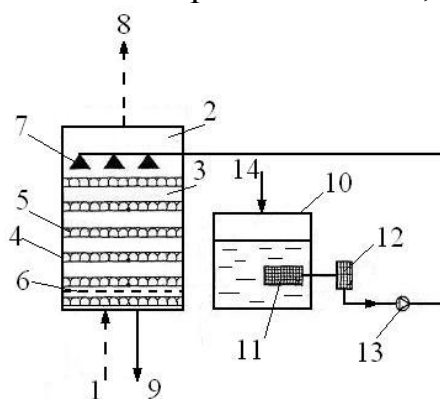


Рис. Схема двухсекционного биореактора с оmyваемым слоем для детоксикации метана и сопутствующих ему соединений в газообразных выбросах из канализационных сетей: 1 – газообразные выбросы из канализационных сетей, содержащие CH_4 , H_2S , SO_2 и NH_3 ; 2 – верхняя (вторая) секция двухсекционного биореактора; 3 – двухсекционный биореактор с оmyваемым слоем; 4 – нижняя (первая) секция двухсекционного биореактора; 5 – загрузка из лавсановых ершей, на которых иммобилизован специализированный микробиоценоз: в первой секции – тиаобациллы и нитрифицирующие бактерии, во второй – метанотрофы; 6 – условная граница между зоной окисления H_2S , SO_2 и зоной окисления CH_4 , то есть граница между первой и второй секциями биореактора; 7 – форсунки для подачи питательной среды; 8 – очищенный газ; 9 – сливная вода; 10 – бак, куда поступает питательная среда; 11 – грубый фильтр; 12 – тонкий фильтр; 13 – насос; 14 – питательная среда

биотехнологической очистки газообразных выбросах можно рассчитать с учетом понижающего коэффициента 0,02.

Для установки объемом $4,04 \text{ м}^3$ (объем выбросов $10 \text{ м}^3/\text{ч}$) расход воды ($P_{в1}$) составит $P_{в1} = 4,04 \cdot 0,02 \cdot 48 / 1,5 = 2,59 \text{ м}^3/\text{сут.}$

Для установки объемом $18,22 \text{ м}^3$ (объем выбросов $50 \text{ м}^3/\text{ч}$) расход воды ($P_{в2}$) составит:

$$P_{в2} = \frac{18,22 \cdot 48 \cdot 0,02}{1,5} = 12,95 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Однако с учетом того, что газообразные выбросы из канализационных сетей имеют высокую влажность, расход воды на орошение в биореакторах можно снизить в 2 раза, то есть $P_{в1} = 1,3 \text{ м}^3/\text{сут.}$; $P_{в2} = 6,48 \text{ м}^3/\text{сут.}$

Двухсекционный биореактор с омываемым слоем должен иметь цилиндрическую форму и его объем увеличивается за счет высоты, а не диаметра. Объем цилиндра определяется, исходя из следующего уравнения:

$$V_6 = \pi r_6^2 H_6. \quad (1)$$

Из формулы (1) мы можем, зная рабочий объем установки, рассчитать рабочую высоту установки. Таким образом:

$$V'_6 = 4,04 \text{ м}^3 - \text{принимаем } d'_6 \text{ (диаметр установки)} = 1,5 \text{ м}; r'_6 = \frac{1,5}{2} = 0,75 \text{ м.}$$

$$V''_6 = 1,2 \text{ м}^3 \text{ (30\%)} - \text{принимаем } d''_6 = 1 \text{ м}; r''_6 = \frac{1}{2} = 0,5 \text{ м.}$$

$$H'_6 = \frac{V'_6}{\pi r'^2_6} = \frac{4,044}{3,14 \cdot (0,75)^2} = 2,29 \text{ м.}$$

$$H''_6 = \frac{V''_6}{\pi r''^2_6} = \frac{1,2}{3,14 \cdot (0,5)^2} = 1,52 \text{ м.}$$

$$V_{63} = 18,22 \text{ м}^3 - \text{принимаем } d_{63} = 2 \text{ м}; r_{63} = \frac{2}{2} = 1 \text{ м.}$$

$$V_{64} = 5,4 \text{ м}^3 \text{ (30\%)} - \text{принимаем } d_{64} = 1,5 \text{ м}; r_{64} = \frac{1,5}{2} = 0,75 \text{ м.}$$

$$H_{63} = \frac{V_{63}}{\pi r_{63}^2} = \frac{18,22}{3,14 \cdot (1)^2} = 5,8 \text{ м.}$$

$$H_{64} = \frac{V_{64}}{\pi r_{64}^2} = \frac{5,4}{3,14 \cdot (0,75)^2} = 3 \text{ м.}$$

Двухсекционный биореактор с омываемым слоем (3) для биотехнологической детоксикации CH_4 , H_2S , SO_2 и NH_3 в газообразных выбросах из канализационных сетей должен располагаться над шахтой канализационного коллектора. Газообразные выбросы, содержащие CH_4 , H_2S , SO_2 и NH_3 (1), по вытяжной трубе шахтного колодца поступают в нижнюю (первую) секцию (4) двухсекционного биореактора, где в водной пленке, образовавшейся на загрузке из лавсановых ершей (5), растворяются H_2S , SO_2 и NH_3 . В этой секции

восстановленные соединения серы и азота окисляются автотрофным микробиоценозом (тиобациллы и нитрифицирующие бактерии), иммобилизованном на лавсановых ершах в первой секции (4), до SO_4^{2-} (H_2SO_4) и NO_3^- (HNO_3). Плохо растворимый в воде CH_4 , минуя первую секцию (4) двухсекционного биореактора, поступает во вторую (верхнюю) секцию (2) биореактора, где окисляется иммобилизованным на лавсановых ершах (5) гетеротрофным микробиоценозом (метанотрофы). Очищенный газ, в котором концентрации CH_4 , H_2S , SO_2 и NH_3 не превышают допустимые нормы ПДК_{р.з.} (8), выходит через патрубок, расположенный сверху биореактора.

Питательная среда (14) заливается в бак (10), откуда, пройдя через грубый (11) и тонкий (12) фильтры и смешавшись с водой, которая поступила из установки, с помощью насоса (13) подается на орошение посредством форсунок (7), которые находятся в верхней (второй) секции (2) биореактора, то есть питательная среда (14) циркулирует. В нижнюю (первую) секцию (4) биореактора специально питательную среду не подают. Водная пленка на загрузке (5) создается самими выбросами (1), имеющими высокую влажность, а также водной средой, омывающей загрузку (5) верхней (второй) секции (2) биореактора. Необходимые для автотрофных процессов биогенные элементы (в минеральных соединениях) поступают в нижнюю (первую) секцию (4) биореактора из верхней (второй) секции (2) биореактора с омывающей средой. Кроме того, азот и сера поступают с газообразными выбросами (1).

В водную среду для орошения необходимо вводить карбонат (бикарбонат натрия или карбонат кальция для стабилизации pH среды, поскольку окисление восстановленных серо- и азотсодержащих соединений до сильных неорганических кислот (H_2SO_4 и HNO_3) приводит к сильному подкислению водной пленки (хотя частично нейтрализуются HCO_3^- – продуктом окисления CH_4). Лавсановые ерши (5), которые служат загрузкой в двухсекционном биореакторе (3) с омываемым слоем, являются устойчивыми к высоким (до 10%) концентрациям H_2SO_4 и HNO_3 . Расчет по уравнению химических реакций, а также опыт эксплуатации установок биохимической нитрификации [4-6], свидетельствует, что расход карбонатов/биокарбонатов составляет: 0,12 мг-экв. на 1 мг N- NH_3 , 0,24 мг-экв. на 1 мг S- H_2S , то есть 0,24 мг-экв. на 1 мг серы, а так как у нас еще есть SO_2 , то, соответственно, 0,48 мг-экв. на 1 мг серы от H_2S и SO_2 . Ориентируясь на максимальные концентрации H_2S и SO_2 и NH_3 в газообразных выбросах (1) и объемы выбросов из канализационных сетей г. Харькова, концентрации HCO_3^- , вводимого в составе водной среды в течение суток, должны составлять:

Для H_2S и SO_2 : Максимальная концентрация $\text{H}_2\text{S}+\text{SO}_2$ в газообразных выбросах из канализационных сетей г. Харькова составляет $0,06 + 0,03 = 0,09$ г/м³. Таким образом:

$$x_1 = \frac{0,09 \cdot 0,48}{1} = 0,0432 \text{ г – экв. } \text{HCO}_3^- \text{ на м}^3 \text{ выбросов.}$$

В сутки объем выбросов по I варианту составляет $10 \cdot 24 = 240 \text{ м}^3$. Расход HCO_3^- в сутки составляет $0,0432 \cdot 240 = 10,4 \text{ г} - \text{экв.}$

С учетом того, что максимальные концентрации фиксируются в 30% проб газообразных выбросов, в сутки расход HCO_3^- составит $10,4 \cdot 0,3 = 3,1 \text{ г} - \text{экв.}$

Максимальная концентрация NH_3 в газообразных выбросах из канализационных сетей г. Харькова составляет $0,005 \text{ г/м}^3$: $x_1 = 0,005 \cdot 0,12/1 = 0,0006 \text{ г-экв. HCO}_3^-$ на 1 м^3 газообразных выбросов. В сутки расход HCO_3^- составит $0,0006 \cdot 240 = 0,144 \text{ г-экв.}$ С учетом понижающего коэффициента расход HCO_3^- на нейтрализацию продуктов окисления NH_3 составит $0,144 \cdot 0,3 = 0,04 \text{ г-экв.}$

Таким образом, общая концентрация HCO_3^- , вводимого в состав водной среды в течение суток для $240 \text{ м}^3/\text{сут}$ газообразного выброса, должна составлять: $10,64 \text{ г-экв. HCO}_3^-$, с учетом понижающего коэффициента $0,3 - 3,2 \text{ г-экв. HCO}_3^-$. При объеме газообразных выбросов $50 \text{ м}^3/\text{ч}$, за сутки объем выброса равен 1200 м^3 . В сутки расход HCO_3^- на нейтрализацию продуктов окисления H_2S и SO_2 составит: $0,0432 \cdot 1200 = 51,84 \text{ г} - \text{экв.}$ (с учетом понижающего коэффициента $0,3 - 15,55 \text{ г-экв.}$). В сутки расход HCO_3^- на нейтрализацию продуктов окисления NH_3 составит: $0,0006 \cdot 1200 = 0,72 \text{ г-экв.}$ (с учетом понижающего коэффициента $0,3 - 0,2 \text{ г-экв.}$).

Таким образом, общая концентрация HCO_3^- , вводимого в состав водной среды в течение суток для $1200 \text{ м}^3/\text{сут}$ газообразного выброса должна составлять: $52,42 \text{ г-экв. HCO}_3^-$ (с учетом понижающего коэффициента $0,3 - 15,72 \text{ г-экв.}$)

Регенерацию загрузки (5), на которой иммобилизованы микробиоценозы, по опыту эксплуатации установок нитрификации необходимо выполнять 1 раз в 3 месяца. По опыту эксплуатации лабораторной установки можно отметить, что концентрация биомассы, иммобилизованной на ершах (5), как в первой (нижней) (4) секции, так и в верхней (второй) (2) секции биореактора невысокая ($0,6 - 1,0 \text{ г/дм}^3 = 0,6 - 1,0 \text{ кг/м}^3$). Отмершая биомасса частично минерализуется в иммобилизованном слое, а частично выносится из биореактора и поступает в канализационную сеть. Вынос биомассы не превышает $20 - 30 \text{ г/дм}^3 = 0,02 - 0,03 \text{ кг/м}^3$, то есть не превышает концентрацию взвешенных веществ, допустимую для сброса в сети водоотведения [7]. При регенерации удаляется до 50% иммобилизованной биомассы. Промывные воды регенерации можно отводить в канализацию, поскольку по своему химическому составу они соответствуют требованиям ПДС, либо осуществлять регенерацию в отдельной емкости. Для этого загрузку (5), на которой иммобилизованы микробиоценозы, необходимо компоновать в кассеты, заменяемые при регенерации.

Список литературы: 1. Бахарева А.Ю. Экологически безопасные методы очистки газообразных промышленных выбросов от формальдегида и метана: Дис... канд. техн. наук: 21.06.01 / Бахарева Анна Юрьевна. – Х., 2009. – 210 с. 2. Куликов Н.И. Установка для

исследования процессов биохимической очистки промышленных газовых выбросов / Н.И. Куликов, А.А. Эннан, В. В. Костик, М.Г. Бельдид // Хімія та технологія води. – К.: Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України. – 1995. – № 6 – С. 621-624. 3. Уткин И.Б. Биологические методы очистки воздуха / И.Б. Уткин, М.М. Якимов, Е.И. Козляк, И.С. Рогожин // Прикладная биохимия и микробиология. – М.: Институт биохимии им. А.Н. Баха АН СССР. – 1989. – Том 25. – С. 723-731. 4. Юрченко В.А. Оптимизация процесса очистки аммонийсодержащих сточных вод закрепленными на стекловолокне нитрифицирующими микроорганизмами / В.А. Юрченко, Л.П. Истомина, И.В. Зинченко, Е.В. Хрыпова // Хімія та технологія води. – К.: Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського АН УРСР. – 1989. – Том 11. – № 5. – С. 460-463. 5. Юрченко В.А. Экология микроорганизмов, участвующих в циклах серы и азота в водной фазе сооружений водоотведения / В.А. Юрченко // Коммунальное хозяйство городов. – К.: Техніка. – 2000. – Вып. 22. – С. 128-131. 6. Юрченко В.А. Оптимизация очистки сточных вод химических производств методом нитри-, денитрификации / В.А. Юрченко, Л.П. Истомина, З.А. Баранова, С.Т. Онилов // Тезисы докладов научно-технической конференции «Экология химических производств», 10-15 июня 1990г., Северодонецк. – Черкассы: ОНИИТЭХИМ, 1990. – С. 66-67. 7. Приймання стічних вод підприємств у міську систему каналізації: Інформаційно-аналітичний збірник (спецвипуск) / Державний комітет України з питань житлово-комунального господарства. – К., 2002. – 76 с.

Поступила в редколлегию 27.01.2012

УДК 666.611; 666.3-131.9; 541.1

Е.Ю. ФЕДОРЕНКО, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХП», Харків

ТЕОРЕТИЧНІ ПРИНЦИПИ ОТРИМАННЯ ЩІЛЬНОСПЕЧЕНОЇ КЕРАМІКИ ЗА УМОВ ЕНЕРГООЩАДНОЇ ТЕРМООБРОБКИ

Обґрунтовано спосіб проектування оксидних композицій для отримання щільноспеченої кераміки різного функціонального призначення за умов енергозощадних режимів термообробки

Ключові слова: фізико-хімічний аналіз, системи оксидів, проектування складів мас

Обоснован способ проектирования оксидных композиций для получения плотноспеченной керамики разного функционального назначения в условиях энергосберегающих режимов термообработки

Ключевые слова: физико-химический анализ, системы оксидов, проектирование составов масс

The method of oxide compositions planning for the receipt of different setting hard sintered ceramic in the conditions of the energysaving heat treatment is grounded

Keywords: physical-chemical analysis, oxides systems, planning of masses compositions

1. Постановка проблеми та аналіз попередніх досліджень

Підвищення рівня фізико-механічних і хімічних властивостей кераміки істотно розширить сферу її застосування і забезпечить створення нових функціональних керамічних матеріалів. При цьому неодмінною умовою успішного функціонування вітчизняних підприємств керамічної галузі, яка є однією з найенергоємніших, є підвищення енергоефективності існуючих та впровадження нових енергозберігаючих технологій. Реалізація резервів енергозощадження в технології кераміки передбачає істотне зниження температури та скорочення циклу термообробки, перехід на однократний випад та заміна фритованих полив сирими.

Використання композицій, які при заданих температурах утворюють значну

кількість розплаву, здатного до подальшої кристалізації, дозволить синтезувати матеріали з максимальним рівнем спікання і заданим фазовим складом, що забезпечить їх функціональність. У зв'язку з цим задача отримання енергоефективних щільноспечених керамічних матеріалів вимагає пошуку шляхів регулювання процесів утворення розплаву і формування кристалічних фаз в умовах інтенсифікованої термообробки. В цьому контексті великого значення набуває знання фізико-хімічних аспектів проектування композицій, використання яких сприятиме вирішенню поставленої задачі.

Як відомо, науково обґрунтований вибір композицій для отримання матеріалу із заданим фазовим складом базується на вивченні діаграм стану систем фазоутворюючих оксидів. Аналіз і використання цих даних в ході фізико-хімічних досліджень дозволяють: здійснювати прогноз умов утворення рідкої фази при термообробці матеріалу; проводити оцінку динаміки її накопичення в заданих температурних умовах; визначати умови утворення кристалічних фаз, що формують заданий фазовий склад матеріалу; оцінювати технологічність композицій з погляду відтворюваності фазового складу продуктів випалу, який визначає властивості матеріалу; судити про відповідність температур фазових перетворень (плавлення, кристалізації) умовам ведення технологічного процесу.

В той же час при використанні діаграм стану оксидних систем для проектування складів сировинних композицій повинні бути враховані відмінності між ідеальними (рівноважними) і реальними практичними умовами виробництва: наявність домішок у складі природної сировини, незавершеність процесу формування фазового складу матеріалів у нерівноважних умовах виробництва тощо.

Зазвичай рішення технологічних задач пов'язано з багатокомпонентними системами, більшість яких не вивчалася, або досліджені недостатньо. Серед чотирикомпонентних систем, що представляють інтерес для технології щільноспечених керамічних матеріалів особливе значення має система $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$, яка є основою для створення тонкокам'яної кераміки, в тому числі різних видів фарфору. Її складові підсистеми вивчалися Дж.Шером, Н.Боуном, Е.Осборном, А.Муаном, Дж. Мореєм [1]. Дані про будову цих систем отримані для областей, що представляють інтерес для геології, оскільки включають поширені в природі мінерали, які входять до складу кварц-польовошпатових порід.

Перша спроба вивчення системи $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ належить А.С.Бережному [2], який відзначав можливість зміни її субсолідусного будови з появою нових даних про термодинамічні характеристики фаз, що складають систему. Пізніше з використанням сучасних термодинамічних констант була уточнена будова цієї системи в області, обмеженій сполуками $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2$, $\text{K}_2\text{O}\cdot 4\text{SiO}_2$, $\text{Na}_2\text{O}\cdot 3\text{SiO}_2$, $\text{K}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2$, SiO_2 [3]. Встановлено існування трьох нових елементарних тетраедрів: $\text{NAS}_6-\text{KS}_4-\text{NS}_3-\text{KAS}_6$ (№ 67), $\text{NAS}_6-\text{KS}_4-\text{NS}_3-\text{S}$ (№ 68), $\text{NAS}_6-\text{KS}_4-\text{KAS}_6-\text{S}$ (№ 69), для яких визначені геометро-топологічні характеристики і температури евтектик (табл.1).

Таблиця 1. Характеристика нових елементарних тетраедрів системи $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$

Елементарний тетраедр	Об'єм тетраедру, $V_1, \%$	Ступінь асиметрії	Склад евтектики, мол. %					$T_{\text{евт}}, ^\circ\text{C}$
			S	NS ₃	KS ₄	NAS ₆	KAS ₆	
NAS ₆ -KS ₄ -NS ₃ -KAS ₆	1,5	1,55	-	76,05	23,55	0,21	0,16	951
NAS ₆ -KS ₄ -NS ₃ -S	14,0	1,63	3,61	73,60	22,54	0,23	-	949
NAS ₆ -KS ₄ -KAS ₆ -S	6,1	2,05	6,19	-	91,83	1,18	0,79	1037

Отримані дані свідчать про активне утворення розплаву в композиціях даних тетраедрів в інтервалі температур 1100÷1200 °С. Ступінь асиметрії тетраедрів вказує на технологічність композицій, що їм належать, з погляду точності дозування компонентів, яка є гарантією відтворюваності фазового складу і властивостей продуктів термообробки.

2. Результати досліджень та їх обговорення

Нами створена 3D модель будови субсолідусної висококремнеземистої області системи

$\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$, в якій розташовані фази польових шпатів і муліту, а також побудовано топологічний граф взаємозв'язку елементарних тетраедрів (рис.1). Отримані дані були

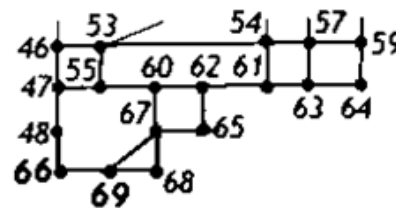
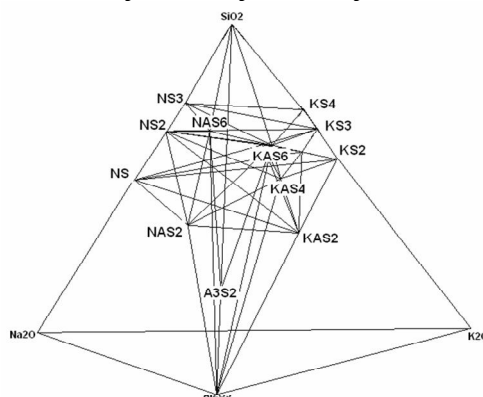


Рис. 1. 3D модель субсолідусної будови і топологічний граф дослідної області системи $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$

використані для побудови перетинів системи $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ із вмістом SiO_2 60; 65 та 70 мас. %. На наш погляд саме ця область системи є найперспективнішою для розробки складів щільноспечених керамічних матеріалів різного функціонального призначення. Результати графо-аналітичних розрахунків представлені на рис.2. Перевірка правильності побудов проводилася з використанням кількісного фазового аналізу за даними петрографічних і рентгенофазових досліджень.

Нові дані щодо будови розглянутої багатокомпонентної системи є корисними як для спеціалістів в галузі мінералогії, так і для фахівців керамічного матеріалознавства, зусилля яких спрямовані на створення поліфункціональних керамічних матеріалів, які поєднують кілька профільюючих властивостей та відрізняються підвищеною довговічністю при службі в складних умовах експлуатації.

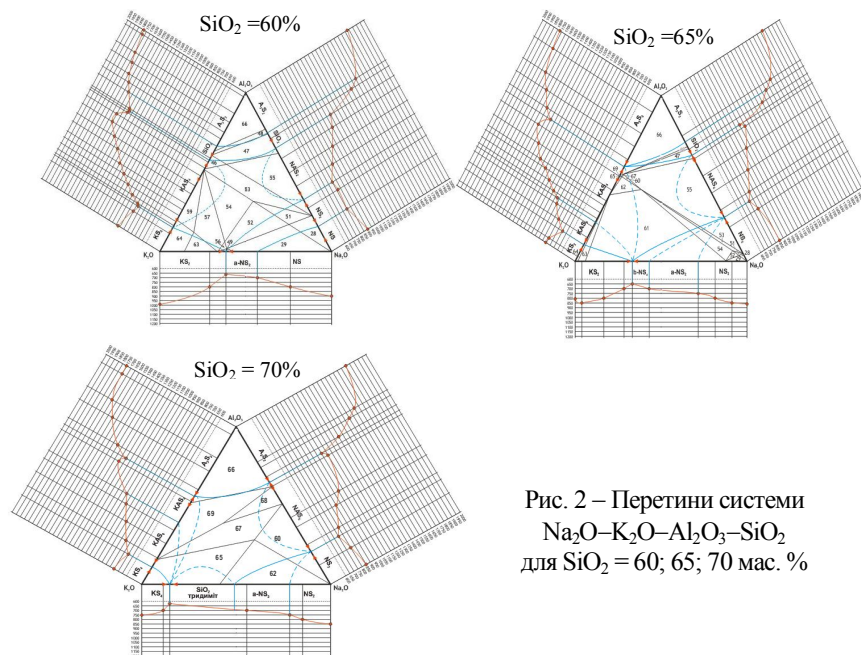


Рис. 2 – Перетини системи $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ для $\text{SiO}_2 = 60; 65; 70$ мас. %

На основі вивчення будови чотирикомпонентної системи $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$, аналізу геометро-топологічних характеристик і евтектичних температур елементарних тетраедрів даної системи, встановлено, що проектування композицій для отримання матеріалів з максимальним ступенем спікання і підвищеним вмістом мулітової фази, повинне відбуватися в межах елементарного тетраедру $\text{A}_3\text{S}_2-\text{NAS}_6-\text{KAS}_6-\text{S}$ в області, що примикає до грані $\text{NAS}_6-\text{KAS}_6-\text{S}$. Розгортка вищезазначеного тетраедру представлена на рис.3.

Дана область характеризується наявністю значної кількості евтектик:

- бінарних – між альбітом NAS_6 і лейцитом KAS_4 ($T_{\text{евт}} = 1075^\circ\text{C}$), між лейцитом KAS_4 і кварцом SiO_2 ($T_{\text{евт}} = 1150^\circ\text{C}$), між ортоклазом KAS_6 і кварцом SiO_2 ($T_{\text{евт}} = 990^\circ\text{C}$), між альбітом NAS_6 і кварцом SiO_2 ($T_{\text{евт}} = 1062^\circ\text{C}$);

- потрійних – між лейцитом KAS_4 , ортоклазом KAS_6 і мулітом A_3S_2 , ($T_{\text{евт}} = 1140^\circ\text{C}$), між мулітом A_3S_2 , альбітом NAS_6 і кварцом SiO_2 ($T_{\text{евт}} = 1050^\circ\text{C}$), між ортоклазом KAS_6 , мулітом A_3S_2 і кварцом SiO_2 ($T_{\text{евт}} = 985^\circ\text{C}$);

чотирикомпонентної – між мулітом A_3S_2 , альбітом NAS_6 , ортоклазом KAS_6 і кварцом ($T_{\text{евт}} = 1037^\circ\text{C}$). Враховуючи, що експлуатаційні властивості щільноспечених керамічних виробів багато в чому пов'язані з розвитком склоподібної

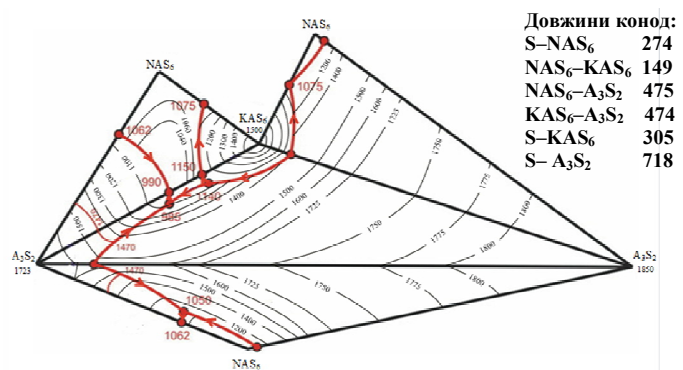


Рис. 3. Розгортка тетраедру $\text{A}_3\text{S}_2-\text{NAS}_6-\text{KAS}_6-\text{S}$

фази, надалі вивчався процес утворення розплаву з використанням фізико-хімічного аналізу систем оксидів, які виходять до складу матеріалів, що проектуються. Запропонований спосіб проектування складів композицій для отримання щільноспеченої кераміки полягає у вивченні поведінки при нагріванні реальних полікомпонентних об'єктів шляхом моделювання їх плавлення і фазоутворення з використанням комплексу діаграм стану елементарних потрійних підсистем, що

формують дослідну багатокомпонентну систему. Раніше цей метод використовувався для прогносної оцінки флюсуючої здатності кварц-польовошпатових матеріалів в конкретних умовах термообробки різних видів щільноспечених керамічних матеріалів [4]. Згідно розробленого методу вибір складу композицій для отримання конкретних видів щільноспечених матеріалів базується на аналізі температурної залежності кількості розплаву, що утворюється в заданих умовах термообробки. Такий підхід дозволяє оцінити динаміку накопичення розплаву при підвищенні температури термообробки сировинних композицій і ще до проведення експерименту вибрати ті з них, в яких утворюватиметься необхідне для досягнення максимального рівня спікання матеріалу і забезпечення кінцевих властивостей виробів кількість рідкої фази.

Надалі отримані дані були використані при проектуванні складів керамічних мас для енергоощадних режимів випалу при виготовленні щільноспечених керамічних матеріалів різного функціонального призначення. В результаті були керамічні маси, що дозволили отримати господарчо-побутовий, санітарно-технічний і хімічно стійкий фарфор, керамогранітну плитку при температурі випалу $1150\div1200\text{ }^{\circ}\text{C}$; мостові та стінові керамічні клінкерні вироби – при температурі $1070\div1100^{\circ}\text{C}$. Якість виробів, отриманих при знижених температурах термообробки, задовольняє вимоги державних стандартів.

Висновок

Особливістю багатокомпонентних систем є складні міжфазові взаємодії, які важко відтворити графічно. При дослідженні таких систем найбільш доцільним є метод розбиття багатокомпонентної системи на елементарні політопи та визначення їх евтектичних та геометро-топологічних характеристик. При проектуванні складів композицій щільноспеченої кераміки необхідним є також аналіз кількісних та якісних ознак фазового складу, а також властивостей рідкої та кристалічних фаз, що дозволяє визначити оптимальну область для отримання майбутнього матеріалу з комплексом заданих експлуатаційних характеристик.

Набутий досвід демонструє можливість створення енергоефективних щільноспечених матеріалів при проектуванні їх складів з використанням нових даних про будову системи $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$. Такий підхід дозволив створити матеріали з максимальним рівнем спікання і заданим фазовим складом, що забезпечило отримання виробів з високими експлуатаційними та естетичними властивостями, при одночасному зниженні температури випалу на $100\div150\text{ }^{\circ}\text{C}$ і скороченні тривалості термообробки в порівнянні з с традиційними режимами.

Список літератури: 1. *Латин В.В.* Минералы. Диаграммы фазовых равновесий: справ очник [Текст] / *В.В. Латин, Н.И. Овсянников, Ф.В. Чухров.* – М.: Наука, 1974. – Вып.1: Фазовые равновесия, важные для природного минералообразования – 514 с. 2. *Бережной А.С.* Многокомпонентные щелочные оксидные системы [Текст] / *А.С. Бережной.* – К.: Наукова думка, 1988. – 196 с. 3. *Федоренко Е.Ю.* Теоретические и технологические основы получения энергоэффективных каменно-керамических материалов разного функционального назначения [Текст] / *Е.Ю. Федоренко, М.И. Рыщенко, Г.В. Лисачук, М.А. Чиркина* // Сб. докл. Междунар. науч.-практ. конференции «Инновационные материалы и технологии». – Белгород: БГТУ им. В.Г.Шухова. – 2011. – С. 238 – 242. 4. *Федоренко О.Ю.* Експрес-оцінка технологічних властивостей кварц-польовошпатових матеріалів в керамічному виробництві / *О.Ю. Федоренко, М.А. Чиркіна, К.М. Фірсов* // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка, 2009. – № 1(31). – С.49–52.

Поступила в редколлегию 09.01.2012

О.В. ЖУЛИНСКА, асп., КНТЕУ, Харків

ЗАСТОСУВАННЯ НОВИХ ВИДІВ СИРОВИНИ У ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПРОДУКТАХ ХАРЧУВАННЯ

Робота присвячена проблемі обґрунтування застосування різних нутрицевтиків у функцій них напоях. Розглянуто питання введення до складу рецептури напою мікробіологічного каротину та гідратованих фулеренів для створення продукту з профілактичними властивостями.

Работа посвящена проблеме обоснования применения разных нутрицевтиков в функциональных напитках. Рассматривается вопрос ввода с состав рецептуры напитка микробиологического каротина и гидратированных фуллеренов для создания продукта с профилактическими свойствами.

The work is dedicated to the problem of grounding the usage different nutraceutics in functional drinks. The problem of the introducing the microbiological carotene and hydrated fullerenes in the drinks formulation has been reviewed in order to create the product with prophylactic features.

Фулерен C60 представляє собою сферу з вуглеводних атомів діаметром біля 1 нм. В 100мл розчину води знаходиться 0,0002мг гідратованого фулерена В роботах [1-2] цей продукт відносять до універсального антиоксиданту, котрий забезпечує необхідний рівень вільних радикалів в організмі. Механізм дії гідратованого фулерена в якості антиоксиданта відрізняється від існуючих тим, що молекула фулерена не приймає участь в реакції із вільними радикалами і не змінюється. Було встановлено, що продукт, що вміщує невеликі дози гідратованого фулерена, проявляє універсальний спектр біологічної активності, регулюючи процеси перекисного окислення, підвищуючи стійкість до дії несприятливих факторів, відновлює процеси енергопостачання клітин, захищає імунну систему від пошкоджуючих факторів. Гідратовані фулерени проявляють гепато-, кардіо- й нейропротекторну дію, що робить його привабливим для застосування в функціональних продуктах харчування [3 - 5].

Враховуючи той факт, що гідратовані фулерени можуть гальмувати процеси старіння, їх можна застосовувати и при розробці продуктів для людей похилого віку.

В якості сировини для виробництва функціонального напою були обрані мікробіологічний каротин, гідратовані фулерени та янтарна кислота на основі яблучного соку в якості смакового збагачувача. В основі приготування функціональних напоїв використовували технологію безалкогольних газованих й негазованих напоїв.

Основним завданням при отриманні функціональних напоїв було забезпечення високої збереженості мікронутрієнтів сировини - біологічно активних речовин – каротина мікробіологічного та інших інгредієнтів. Відомо, що багато компонентів сировини можуть утворювати комплексні поєднання з

розчиненими у воді іонами і, в подальшому, випадати в осад. Для усунення цих процесів застосовують стабілізатори, такі, як лимона кислота.

В нашій технології було використано метод попереднього розчинення компонентів у воді з послідовним введенням розчину в яблочний сік. В результаті органолептичної оцінки готових зразків напоїв, отриманих змішуванням мікробіологічного каротину, янтарної кислоти і гідратованих фулеренів було показано, що напої потребують стабілізації і корегування смаку. Для поліпшення органолептичних показників напоїв в якості смакових збагачувачів вводили яблучний сік, що володіє, крім доброї органолептичної якості, тонізуючими і адаптаційними властивостями, і харчову добавку - моногідрат лимонної кислоти.

Біологічно активні речовини, що вводили до напоїв, забезпечували не тільки органолептичну складову, але і наділяли напій додатковими фізіологічними властивостями. Завдяки введенню до складу напоїв різних по хімічному складу зернопродуктів, що збагачували їх додатковими мікронутрієнтами, збільшувався імунитет та посилювались адаптаційні можливості організму людини (табл.1). [x]

В дослідях по введенню смакових збагачувачів – яблучного соку та лимонної кислоти готували напої із слідуєчим складом: гідратовані фулерени у воді, яблочний сік (25%), лимонна та янтарна кислоти, водорозчинний каротин. Яблучний сік вводили в зразки від 25 до 40% до загального об'єму.

Таблиця 1. Мікронутрієнтний склад (в мг/100 г продукту)

Мікронутрієнти:	Добова потреба, мг/доб.:	Значення показників в напої, мг/100гр:
Натрій	1000	135
Калій	6000-8000	1632
Кальцій	500-1000	170
Магній	400-700	154
Залізо	10,0	4,09
Цинк	13,0	0,2
Мідь	2,0	0,006
Алюміній	2,0	0,01
Марганець	2,5	0,005
Йод	0,05	слід
Вітамін С	100	65,3
Поліфеноли	64	66
Органічні кислоти	нема свідчень	0,14

Введення яблучного соку і лимонної кислоти дозволило покращати загальну смакову гамму напоїв (табл. 2).

З таблиці 2 бачимо, що при концентрації яблучного соку 25 та 30% отримуємо практично однакові смакові якості напою, що дає можливість обрати концентрацію яблучного соку 25%. При збільшенні по смаку присутності каротину оцінку знижували до 4 балів. Смак оцінювали найвищим балом в тому

випадку, коли напій не мав характерний каротиновий присмак. Найкращі смакові властивості (5 балів) отримав напій, до складу якого входило: 5% водорозчинного каротину, 0,1% лимонної кислоти, 25% яблучного соку та мучка пшениці.

Таблиця 2. Характеристики смаку зразків напоїв з різною концентрацією БАР

Зразки напоїв	Яблучний сік, 15% та лимонна кислота, 0,1%	Яблучний сік, 20% та лимонна кислота, 0,1%	Яблучний сік 25% та лимонна кислота 0,1%	Яблучний сік, 30% та лимонна кислота 0,1%
Гідратовані фулерени *мучка пшениці*водорозчинний каротин 5 %	Слабкий кисло-солодкий смак із специфічним присмаком каротину	Помірно кислосолодкий смак з каротиновим-присмаком	Виражений кисло-солодкий м'який смак без присмаку каротина	Виражений кисло-солодкий м'який смак без каротинового присмаку
Гідратовані фулерени *мучка пшениці*водорозчинний каротин 10 %	Слабкий кисло-солодкий смак з каротиновим присмаком.	Слабкий кисло-солодкий смак з каротиновим присмаком	Умеренно виражений кисло-солодкий смак з каротиновим присмаком	Виражений кисло-солодкий смак без каротинового присмаку

Для стабілізації іонів двовалентного заліза, що присутні в яблучному соці, були використані різні концентрації лимонної кислоти: 0,1, 0,2, 0,3 та 0,4%.

Органолептичну оцінку якості свіжеприготованих негазованих напоїв проводили по 5-ти бальній шкалі наступних показників: зовнішній вигляд, колір, смак (табл.3).

Таблиця 3. Бальна оцінка якості свіжеприготованих напоїв з різною концентрацією лимонної кислоти.

Показники якості	Концентрація лимонної кислоти в напої, %			
	0,1	0,2	0,3	0,4
Зовнішній вигляд	5	5 легка мутність	4	4
Колір	5 легка опалесценція	5 золотистого цвета	5 золотистий	4 світло золотистий
Смак	5 Солодкуватокислий присмак	5 слабкий кислосолодкуватий	4 кисло-солодкий	3 виражений кислий

Введення до рецептури напою лимонної кислоти в концентрації в 0,1 – 0,2% дозволяло отримати найкращі смакові якості напою.

З метою збереження в готовому напої вітамінів, ароматичних речовин й інших біологічно активних компонентів, нами було використано холодний спосіб купажування (Дьяченко, 2000). Купаж готовили слідуючим образом: в закритий резервуар, оснащений мішалкою послідовно вводили концентрований яблучний сік, за ним при енергічному розмішуванні вводили зернопродукти та профільтрований розчин гідратованих фулеренів з янтарною кислотою, потім розчин водорозчинного каротину та лимонної кислоти. Готовий напій, приготовлений згідно до розробленої технології, був направлений для фізико-хімічних досліджень у випробувальний центр Державного підприємства «Харківський центр з проблем захисту прав споживачів». Результати досліджень показали відсутність токсичності, відповідність нормативним документам та високі показники якості (табл. 4).

Таблиця 4. Результати фізико-хімічних показників

Найменування показників, одиниці вимірювання	Фактичне значення показника за результатами випробувань, розробляємий напій			Позначення НД на метод випробувань
	№1	№2	№3	
Масова частка сухих речовин, %	6,0	5,0	5,0	ГОСТ 28562
Масова частка титрованих кислот, %	0,7	0,8	0,9	ДСТУ 4957

Результати досліджень показали гарні фізико-хімічні показники, та придатність напою до вживання.

Вивчення мінерального складу свідчить, що новий розробляємий напій є джерелом важливих мінеральних елементів кальцію (7,6 мг), натрію (4,5 мг), фосфору (27 мг), магнію (8,5 мг), заліза (0,6 мг).

Вивчення вітамінного складу свідчить, що в новому яблучному напої вітамінів В₁ – 0,03; гр. В₂ – 0,01; РР – 0,5; вітаміну С – 0,5.

Експериментально визначено, що в технології безалкогольних напоїв доцільним є використання борошна зерен ЕСО продукту – пшениці або ячменю в якості структуроутворювача, янтарної кислоти в якості добавки для профілактики захворювань організму та гідратованих фулеренів в якості структуроутворювача системи з антимікробними властивостями. Оптимальною є система «ЕСО ячмінь+сік яблука з м'якоттю+яблучний напій+цукор+янтарна, кислота+гідратовані фулерени», з концентрацією ЕСО продукту 5 %, соку з м'якоттю 25 %, цукру 10 %, янтарної кислоти 0,3 % та гідратованих фулеренів 10%.

Таким чином експериментально визначено, що в технології безалкогольних напоїв доцільним є використання борошна зерен ЕСО продукту - ячменю в якості структуроутворювача, янтарної кислоти в якості профілактичної добавки проти захворювань організму та гідратованих фулеренів в якості структуроутворювача системи з антимікробними властивостями на основі яблучного соку. Оптимальною є система «ЕСО ячмінь+сік яблука з м'якоттю+яблучний

напій+цукор+янтарна, кислота+гідратовані фулерени», з концентрацією ЕСО продукту 5 %, соку з м'якоттю 25 %, цукру 10 %, янтарної кислоти 0,3 % та гідратованих фулеренів 10%.

Висновки.

Внесення до складу функціонального напою наносировини та біологічно активних добавок на основі зернопродуктів не погіршує технологічної складової напоїв.

Використання гідратованих фулеренів в складі нової рецептури напоїв разом з янтарною кислотою не погіршує органолептичні показники напоїв, може підвищувати енергетичний стан організму та виконувати роль профілактичного засобу для різних верств населення.

Список літератури: 1. *Ахмедов, А.У.* Безалкогольные напитки, богатые йодом и биологически активными веществами // Пиво и напитки. - 2003. - № 2.-С. 76. . *Беличенко, А.М.* Перспективы развития безалкогольной отрасли // Пиво и напитки. - 2007. - № 3. - С. 11-13. 3. *Гореликова, Г. А.* Использование системного подхода при обогащении пищевых продуктов незаменимыми микронутриентами // Пищевая промышленность. - 2003. - № 11. - С. 70-73. 4. *Макарова, Е.В.* Формирование качества сиропов на основе растительного сырья и их товароведная характеристика : автореф. дис.канд. техн. наук : -Владивосток, 2004. - 23 с. 5. *Barbosa - Canovas G.V.* Adaptation of classical processes to new technical developments and quality requirements / G.V. Barbosa -Canovas, P.J. Juliano // Food Sei. - 2004. -№ 5. - P. 240-250.

Поступила в редколлегию 09.01.2012

УДК 621.317

Н.П. КУНДЕНКО, канд. техн. наук, доц., ХНТУСХ им. П.Васленко, Харьков

РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ВЯЗКОСТИ КРИО–КОНСЕРВИРУЮЩЕЙ СРЕДЫ С БИОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Запропоновано методика розрахунку коефіцієнта в'язкості середовища, при дії акустичної хвилі, утвореної біологічними об'єктами і крио - консервуючим середовищем.

Ключові слова: коефіцієнт в'язкості, мікропотоки, ембріон, акустика

Предложено методика расчета коэффициента вязкости среды, при воздействии акустической волны, образованной биологическими объектами и крио – консервирующей средой.

Ключевые слова: коэффициент вязкости, микропоток, эмбрион, акустика.

Proposed method for calculating the coefficient of viscosity of the medium under the influence of acoustic waves formed by biological objects and cryo - preserving the environment.

Keywords: coefficient of viscosity, microflow, the embryo, the acoustics

Постановка проблемы

Эффект увеличения криорезистивности получен на весьма ограниченном наборе биологических объектов: половых клетках и безъядерных клетках крови [3]. Практически не освещены возможности использования ультразвука при криоконсервировании спермиев сельскохозяйственных животных. Не

исследованы и механизмы ультразвукового воздействия на криобиологические системы. Учитывая это, целесообразно исследовать возможные механизмы воздействия ультразвуковых волн с целью оптимизации условий низкотемпературного консервирования таких биологических объектов как сперма сельскохозяйственных животных. Это позволит повысить эффективность способов замораживания и отогрева биологических объектов (спермии, эмбрионы и т.п.) и выявить подходы к использованию ультразвуковых волн при криоконсервировании биологических объектов. Существенным вопросом при этом является возможность физико-математического описания взаимодействия ультразвуковых волн с криоконсервирующей средой, содержащей биологические объекты.

Анализ последних исследований

Известно, что при воздействии акустических волн на крио – консервирующую среду, содержащую биологический объект (эмбрион, спермий), возникают микропотоки в малой окрестности биологического объекта [1, 2]. Наличие этих микропотоков вызывает увеличение концентрации частиц крио – консервирующей среды у поверхности биологического объекта. Это приводит к тому, что у поверхности биологического объекта образуется пограничный слой частиц крио – консервирующей среды с плотностью, отличающейся от плотности крио – консервирующей среды при отсутствии акустических волн. С гидродинамической точки зрения образование такого слоя у поверхности биологического объекта эквивалентно увеличению его объема. В этом случае следует ожидать, что крио – консервирующая среда с биологическими объектами будет иметь различающиеся гидродинамические параметры до воздействия на нее акустических волн и после такого воздействия.

Цель статьи

Определить эффективный коэффициент вязкости среды образованной крио – консервирующей средой и биологическими объектами эмбрион или спермий.

Основные материалы исследования

Будем полагать, что такая сложная среда занимает некоторый объем V_0 . Поскольку рассматриваемые биологические объекты имеют достаточно малые геометрические размеры, то естественно считать, что влияние сил тяжести и инерции на их движение пренебрежимо мало. Следовательно, можно предположить, что биологические объекты локально движутся вместе с окружающей их крио – консервирующей средой. Кроме того, будем предполагать, что среднее расстояние между биологическими объектами велико по сравнению с их линейными размерами. Поэтому процесс образования микропотока вблизи одного биологического объекта приближенно не зависит от существования других и как показано в разделе 2 полностью определяется возбуждающей акустической волной. В этом случае можно воспользоваться результатами приведенными в [10] и получить следующее выражение для эффективного коэффициента вязкости жидкости, образованной крио – консервирующей средой и биологическими объектами

$$\bar{\eta} = \eta \left[1 + \beta \frac{\eta + \frac{5}{2} \eta_1}{\eta + \eta_1} \right], \quad (1)$$

где η - коэффициент вязкости крио – консервирующей среды, η_1 - коэффициент вязкости одного биологического объекта, $\beta = V_1 / V_0$ - коэффициент объемной концентрации биологических объектов, V_1 - объем занимаемый биологическими объектами.

В дальнейшем будем пренебрегать коэффициентом вязкости биологического объекта $\eta_1 = 0$. Тогда формула (1) примет вид

$$\bar{\eta} = \eta (1 + \beta). \quad (2)$$

Из (2) следует, что эффективный коэффициент вязкости больше, чем коэффициент вязкости крио – консервирующей среды без биологических объектов в β раз.

Рассмотрим вначале случай крио – консервирующей среды с эмбрионами, которые моделируются геометрическими телами в виде шара с радиусом R . Пусть N_ε - число эмбрионов находящихся в крио – консервирующей среде. Будем полагать, что крио – консервирующая среда с эмбрионами заполняет кювету в виде круглого цилиндра с высотой h и радиусом R_0 . Тогда объем $V_0 = \pi R_0^2 h$. Определим коэффициент объемной концентрации эмбрионов при отсутствии акустической волны. Имеем

$$\beta_\varepsilon = \frac{4 N_\varepsilon R^3}{3 R_0^2 h}. \quad (3)$$

Из (2) получаем выражение для эффективного коэффициента вязкости жидкости образованной крио – консервирующей среды и эмбрионами

$$\eta_\varepsilon = \eta \left(1 + \frac{4 N_\varepsilon R^3}{3 R_0^2 h} \right). \quad (4)$$

Пусть теперь на крио – консервирующую среду с эмбрионами воздействует акустическая волна вида (1.13). Как уже было отмечено выше, в окрестности биологических объектов (эмбрионов), вследствие возникновения микропотоков, образуется пограничный слой частиц крио – консервирующей среды определенной толщины δ .

$$\delta \cong R \sqrt{\frac{2\eta}{A}}. \quad (5)$$

Формула (5) справедлива с точностью до членов порядка $(\alpha R)^2$.

Таким образом, можно полагать, что при наличии акустических колебаний изменяется объем занимаемый эмбрионами

$$V_{\varepsilon 1} = \frac{4 N_\varepsilon \pi (R + \delta)^3}{3}. \quad (6)$$

Следовательно, коэффициент объемной концентрации эмбрионов так же изменяется

$$\bar{\beta}_\varepsilon = \frac{4 N_\varepsilon \pi (R + \delta)^3}{3 \pi R_0^2 h} = \frac{4 N_\varepsilon R^3 \left(1 + 3 \sqrt{\frac{2\eta}{A}}\right)}{3 R_0^2 h}. \quad (7)$$

Подставляя (7) в (2) получим выражение для эффективного коэффициента вязкости крио – консервирующей среды с эмбрионами, на которую воздействует акустическая волна

$$\bar{\eta}_\varepsilon = \eta \left[1 + \frac{4 N_\varepsilon \left(1 + 3 \sqrt{\frac{2\eta}{A}}\right) R^3}{3 R_0^2 h} \right]. \quad (8)$$

Сравнивая (5) и (8) легко видеть, что

$$\bar{\eta}_\varepsilon - \eta_\varepsilon = \eta \frac{4 N_\varepsilon \sqrt{\frac{2\eta}{A}} R^3}{R_0^2 h} = \eta \beta_\varepsilon \sqrt{\frac{2\eta}{A}}. \quad (9)$$

Итак из (9) следует, что при воздействии акустической волны на крио – консервирующую среду с эмбрионами эффективный коэффициент вязкости увеличивается.

Теперь рассмотрим случай крио – консервирующей среды со спермиями.. Будем предполагать, что крио – консервирующая среда со спермиями заполняет кювету в виде кругового цилиндра с высотой h и радиусом R_0 . В этой кювете находится N_c - спермиев.

Рассчитаем толщину пограничного слоя в окрестности поверхности спермия, возникающего в результате воздействия акустической волны.

$$\delta = \sqrt{\frac{\eta L}{\rho_0 \bar{V}_c}}, \quad (10)$$

где в качестве характерного линейного размера спермия выбрана величина $L = 2a$ - длина большой оси эллипсоидального сфероида.

Скорость $\bar{V}_c$ микропотока у поверхности спермия, как следует из результатов полученных в подразделе 2.3, имеет вид

$$\bar{V}_c = \frac{A B e^{-\alpha c \xi_0}}{2 c^2 \rho_0 \xi_0^2} (1 + \alpha c \xi_0). \quad (11)$$

Здесь A - амплитуда акустической волны, α - коэффициент, а геометрические параметры B, c, ξ_0 определяются следующим образом

$$B = \frac{2a}{2 + \frac{a}{c} \ln \frac{b}{a+c}}, \quad (12)$$

$$c = \sqrt{a^2 - b^2}, \quad \xi_0 = a/c.$$

Подставляя (12) в (11) после ряда преобразований получаем

$$\bar{V}_c = \frac{A e^{-\alpha a}}{\rho_0 a \left(2 + \frac{a}{c} \ln \frac{b}{a+c}\right)} (1 + \alpha a) \quad (13)$$

Так как геометрические размеры спермия малы, то должно выполняться неравенство $\alpha a \ll 1$. Тогда из (13) с точностью до членов порядка $(\alpha a)^2$ имеем

$$\bar{V}_c = \frac{A}{\rho_0 a F}, \quad (14)$$

где $F = 2 + \frac{a}{c} \ln \frac{b}{a+c}$.

Воспользовавшись (14), из (10) получаем выражение для толщины пограничного слоя спермия

$$\delta = a \sqrt{\frac{2 F \eta}{A}}. \quad (15)$$

Рассчитаем эффективный коэффициент вязкости крио – консервирующей среды со спермиями при воздействии акустической волны. Для этого достаточно определить коэффициент объемной концентрации спермий. Имеем

$$\bar{\beta}_c = \frac{4 N_c [a b^2 + \delta (b^2 + 2 a b)]}{3 R_0^2 h}. \quad (16)$$

Формула справедлива с точностью до членов порядка δ^2 . Далее, согласно (2) получаем для эффективного коэффициента вязкости $\bar{\eta}_c$ представление

$$\bar{\eta}_c = \eta \left(1 + \frac{4 N_c [a b^2 + \delta (b^2 + 2 a b)]}{3 R_0^2 h} \right) \quad (17)$$

$$\bar{\eta}_c - \eta_c = \eta \frac{4 N_c a b (b + 2 a)}{3 R_0^2 h} \sqrt{\frac{2 F \eta}{A}} = \eta \beta_c \left(1 + \frac{2 a}{b} \right) \sqrt{\frac{2 F \eta}{A}}. \quad (18)$$

Из (18) следует, что как и в случае крио – консервирующей среды с эмбрионами, воздействие акустической волны приводит к увеличению эффективного коэффициента вязкости крио – консервирующей среды со спермиями.

Рассмотрим теперь, как изменяется толщина пограничного слоя крио – консервирующей среды у поверхности биологического объекта в зависимости от среднего значения скорости микропотока.

$$\delta_\varepsilon = \sqrt{\frac{\eta 2 R}{\rho_0 \bar{V}_\varepsilon}}, \quad \delta_c = \sqrt{\frac{\eta 2 a}{\rho_0 \bar{V}_c}}, \quad (19)$$

где δ_ε и δ_c - соответственно толщина погранслоя для эмбриона и для спермия, η - динамическая вязкость, а ρ_0 - плотность крио – консервирующей среды, $\bar{V}_\varepsilon$ и $\bar{V}_c$ - соответственно, средние скорости микропотоков для эмбриона и спермия.

Как следует из (19) толщины погранслоев монотонно убывают с ростом скорости микропотока.

В разделе 2 было установлено, что при изменении мощности звуковой волны P в пределах от 1 мкВт до 5 мкВт и частоты $f = 10 \div 50$ кГц скорости микропотоков могут применяться в следующих пределах :

для эмбриона

$$0.3 \frac{\text{м}}{\text{с}} \leq \bar{V}_э \leq 3.3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

для спермия

$$48.8 \frac{\text{м}}{\text{с}} \leq \bar{V}_с \leq 546 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Как следует из формулы (19), толщины погранслоев быстро убывают с увеличением скоростей микропотоков. Так в случае биологического объекта типа спермий при скорости микропотока $\bar{V}_с = 546 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ толщина погранслоя составляет $\delta_с = 55 \text{ \AA}$, а в случае эмбриона при максимально возможной скорости микропотока $\bar{V}_э = 3.3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ толщина погранслоя $\delta_э = 0,19 \text{ мкм}$.

Анализ проведенных расчетов показал, что максимально возможные толщины погранслоев реализуются при скоростях микропотоков, соответственно, для спермия $\bar{V}_с = 48.8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ и для эмбриона $\bar{V}_э = 0.3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Эти скорости микропотоков достигаются при следующих значениях мощности и частоты возбуждающей акустической волны $P = 1 \text{ мкВт}$ и $f = 50 \text{ кГц}$. Толщины погранслоев составляют: для эмбриона $\delta_э = 0,62 \text{ мкм}$ и $\delta_с = 184 \text{ \AA}$.

Выводы

Разработан алгоритм расчета эффективного коэффициента вязкости среды, образованной биологическими объектами и крио – консервирующей средой. Показано, что эффективный коэффициент вязкости смеси крио – консервирующей среды и биологических объектов (эмбрион, спермий) при воздействии акустической волны увеличивается по сравнению с эффективным коэффициентом вязкости при отсутствии акустической волны.

Список литературы: 1. Кунденко Н.П. Теоретический анализ микропотоков при наличии акустических колебаний / Н.П. Кунденко // Вісник НТУ "ХПІ" .- Харьков, №58,2011. С.158-161. 2. Кунденко Н.П Математическое моделирование процесса воздействия акустического поля на криоконсервирующую среду с биологическим объектом / Н.П. Кунденко // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенко .- Вип 117. – Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. – Харків: 2011. С 140-142. 3. Акопян Б.В., Ершов Ю.А. Основы взаимодействия ультразвука с биологическими объектами: Ультразвук в медицине, ветеринарии и экспериментальной биологии / Б.В Акопян., Ю.А. Ершов -М.: Изд. МГТУ им Н.Э.Баумана, 2005, 224 с.

Поступила в редколлегию 23.01.2012

УДК 621.778 8.006.354

О. Г. БИКОВСЬКИЙ, докт. техн. наук, проф., ЗНТУ, Запоріжжя
М. І. ЛАЗУТКІН, канд., техн. наук, доц., ЗНТУ, Запоріжжя

ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ КОНСТРУКЦІЙ З КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

Вказані небезпеки, що призводять до виробничих травм при електро- та газовому зварюванні кольорових металів і сплавів. Особливо підкреслюється можливість отруєння організму шкідливими газами, пилом та випарами, що виділяються при зварюванні. Розглянуті допустимі норми шуму при плазмовому різанні на плазмотроні, граничні співвідношення компонентів вибухонебезпечних сумішей.

Указаны опасности, которые приводят к производственным травмам при электро- и газовой сварке цветных металлов и сплавов. Особенно подчеркивается возможность отравления организма вредными газами, пылью и испарениями, которые выделяются при сварке. Рассмотрены допустимые нормы шума при плазменном резании на плазмотроне, допустимые соотношения компонентов взрывоопасных смесей.

Dangers which lead to industrial traumas at elektro- and welding of nonferrous metals and their alloys are specified. Especially an organism poisoning with harmful gases, a dust and evaporate-ons which are allocated at welding. Are considered admits norms of noise at plasma cutting on plasmic apparatus, admissible parities of components of explosive mixes.

Вступ. Охороні праці в галузі зварювання кольорових металів відводиться важливе місце. Особливу увагу необхідно приділяти речовинам, які вражають робітників при зварюванні і різанні кольорових металів. Граничні допустимі концентрації їх часто бувають набагато вищими на практиці. Треба дотримуватись правил безпеки при зварюванні міді і мідних сплавів, тому що мідь і легувальні елементи в її сплавах інтенсивно випаровуються, а пари дуже токсичні. Особливу увагу слід приділяти концентрації марганцю, його наявність в повітрі більше за $0,3 \text{ мг/м}^3$ може викликати важкі захворювання нервової системи. При попередньому чи супутньому підігрівах кольорових металів при зварюванні суміші з киснем можуть бути вибухонебезпечними.

Завдяки високій корозійній стійкості у багатьох кислих середовищах, малій питомій вазі, високій електро- і теплопровідності, холодостійкості, легкому деформуванню тиском алюмінієві сплави використовують як у вигляді прокату, так і в деформованому стані, литві в багатьох авіакосмічних конструкціях, у транспортному машинобудуванні, у будівництві і т.п.

Основні труднощі при зварюванні алюмінієвих сплавів пов'язані з необхідністю руйнування оксидної плівки Al_2O_3 , яка не розчиняється у рідкому алюмінії, має високу температуру плавлення ($\sim 2050^\circ\text{C}$ порівняно з температурою плавлення алюмінію – 660°C).

Боротьба з плівками ведеться як заходами підготовки поверхні до зварювання, так і під час зварювання (в зварювальних ваннах з застосуванням флюсів чи покриттів, які містять хлористі та фтористі солі лужноземельних металів; використання асиметричного різнополярного струму; використання флюсів-суспензій, тощо).

Мідь і сплави на її основі (високі електро-, теплопровідність, корозійна стійкість, високі показники пластичності при низьких температурах, здатність до пластичного деформування в холодному і гарячому стані) використовуються для виготовлення теплообмінних апаратів, електророзподільних пристроїв, в криогенній техніці тощо.

При проведенні електрозварювальних робіт цих сплавів на зварника діють проміні дуги, на очі й частини тіла можуть попасти бризки розплавленого металу й шлаку, йому загрожує небезпека враження електрострумом.

Безпека зварювальних робіт цілком залежить від рівня професійної майстерності, знань і умінь виконання їх зварником.

Основні небезпеки, що призводять до виробничих травм при зварюванні:

- ураження електричним струмом при електрозварювальних роботах;
- ураження зору та відкритої поверхні шкіри випромінюванням електричної дуги;
- отруєння організму шкідливими газами, пилом та випарами, що виділяються при зварюванні;
- пожежна небезпека та опіки;
- вибухи ацетиленових генераторів від зворотних ударів полум'я, коли не спрацьовує водяний затвор;
- вибухи кисневих балонів у момент їх відкриття, якщо на штуцері балона чи на клапані редуктора є масло;
- небезпечна ситуація при необережному поводженні з пальником;
- механічні травми при заготівельних і складально-зварювальних операціях.

Враження електричним струмом відбувається при дотику до струмоведучих частин електропроводки та зварювальної апаратури, що застосовується для дугового, контактного та променевого видів зварювання.

Струми, що проходять через тіло людини, більш ніж 0,05 А (при частоті 50 Гц), можуть викликати важкі наслідки й навіть смерть ($> 0,1$ А). Опір людського організму залежно від стану (втомленість, вологість шкіри, стан здоров'я) змінюється в широких межах від 1 000 до 20 000 Ом. Напруга холостого ходу джерел живлення нормальної дуги досягає 90 В, а при плазмовому різанні слід урахувувати більше значення напруги на дузі і холостого ходу джерела живлення (180 В при ручному і до 500 В при машинному різанні). Тому при поганому самопочутті зварника через нього може пройти струм, близький до граничного - 0,09 А.

Електробезпека забезпечується: виконанням вимог електробезпеки електрозварювального обладнання, надійною ізоляцією, застосуванням захисних огорож, автоблокуванням, заземленням електрообладнання та його елементів, обмеженням напруги холостого ходу джерел живлення (генератори постійного

струму до 90 В, трансформатори до 75 В). Довжина проводів між мережею живлення і пересувним зварювальним агрегатом не повинна перевищувати 15 м. При роботі в ускладнених умовах або в закритих посудинах зварювальна установка повинна мати блокувальний пристрій для автоматичного вимкнення зварювального кола або зниження напруги при обриві дуги до 12 В.

При зварюванні на змінному струмі можна використовувати пристрій для зниження вторинної напруги джерела живлення типу БСНТ-4. Корпуси зварювальних апаратів, каркаси розподільних щитів і шаф необхідно заземлювати мідним проводом перерізом не менш 6 мм² чи сталевим перерізом не менш 12 мм². Температура нагріву окремих частин зварювального агрегату не повинна перевищувати 75°C; індивідуальними засобами захисту (робота в сухому та міцному спецодязі та рукавицях, у черевиках без металевих шпильок та гвіздків); дотримання умов роботи (припинення роботи під час дощу та сильного снігопаду, коли немає укриття; користування гумовим килимком, гумовим шоломом та калошами при роботі всередині місткості, також переносною лампою напругою не більш 12 В; ремонт електрозварювального обладнання та апаратури спеціалістом-електриком).

Захист зору та відкритої поверхні шкіри. Електрична зварювальна дуга створює три види випромінювання: світлове, ультрафіолетове, інфрачервоне. Світлові промені засліплюють, бо їх яскравість значно перевищує допустимі норми.

Ультрафіолетове випромінювання навіть при коротко дійсній дії протягом кількох секунд спричиняє захворювання очей, що називається електрофтальмією. Воно супроводжується гострим болем, різью в очах, слезотечею, спазмами повік. Тривала дія ультрафіолетового випромінювання призводить до опіків шкіри, інфрачервоного – помутніння кристалика ока (катаракта), що може привести до послаблення та втрати зору; тепла дія цих променів викликає опіки шкіри.

Захист зору та шкіри обличчя при дуговому зварюванні забезпечується використанням щитів, масок або шоломів із жаростійких діелектриків (фарби, просоченої спеціальним розчином, фанери тощо) із захисним склом – світофільтри (розмір 52×102 мм), що затримують і поглинають випромінювання дуги. Залежно від потужності дуги, застосовують різні світофільтри. Для захисту від випромінювання дуги в стаціонарних умовах встановлюють захисні кабінки, а при будівельних і монтажних роботах використовують переносні щити та ширми. Для захисту тіла застосовують спецодяг із цупкого брезенту чи сукна, іноді з азбестової тканини.

Захист від отруєння шкідливими газами, пилом і випарами. Склад і кількість шкідливих газів, пилу та випарів залежить від виду зварювання, складу захисних засобів (покриття, флюсів, газів), зварювального та електродного матеріалів. Кількість зварювального пилу (аерозолі) та легких сполук при зварюванні, становить від 10 до 150 мг на кг розплавленого електродного металу.

Основними її складовими є оксиди заліза (до 70 %), марганцю, кремнію, хрому та інші сполуки. Найшкідливішими є хром, марганець та фтористі сполуки. Крім аерозолів повітря в робочих приміщеннях при зварюванні

забруднюється різними шкідливими газами: оксидами азоту, вуглецю, фтористим воднем та ін.

Особливо шкідливими речовинами вражаються робітники при зварюванні і різанні кольорових металів. Їх гранично допустимі концентрації (ГДК) часто бувають набагато перевищені на практиці. В табл.1,2 наведено ГДК шкідливих речовин у повітрі при зварюванні деяких кольорових металів і сплавів.

Так при зварюванні плавким електродом плит з алюмінієвого сплаву АМгб з використанням зварювального дроту Св-АМгб концентрація твердоскладових зварювального аерозолі (ТСЗА) набагато більша порівняно із використанням вольфрамового електрода.

Якщо порівняти дані таблиць, видно, що вміст майже усіх речовин біля органів дихання зварників набагато більш допустимих норм. Особливості дотримання правил техніки безпеки при зварюванні міді і мідних сплавів полягають у тому, що мідь і легувальні елементи в її сплавах інтенсивно випаровуються, а їхня пара є токсичною. Наведені дані щодо ГДК шкідливих речовин взяті в повітрі на рівні дихальних органів.

Таблиця 1. ГДК шкідливих речовин в повітрі при зварюванні металів

Зварювані метали, сплави і газові сполуки	Речовини	ГДК, мг/м ³
Алюміній і сплави на його основі	Алюміній	2
Мідь і сплави на її основі	Мідь (метал і його оксиди)	1
	оксид марганцю	0,3
	оксид кремнію	1
	оксид нікелю	0,5
	оксид цинку	5
	оксид азоту	5
	озон	0,1
Берилієва бронза	Берилій і його сполуки	0,01
Свинець	Свинець і його неорганічні сполуки	0,01
Сполуки водню	Фтористий водень	0,05

Місцеві пило газоприймачі необхідно розмішувати безпосередньо біля зварювальної ванни, а продуктивність стаціонарних або пересувних пристроїв має бути не менш 1000 м³/год. У фільтровентиляційних апаратах треба використовувати фільтри, очищаючі повітря не тільки від ТС-ЗА, але і від озоновміщуючих складових зварювального аерозолі. Серед останніх найбільш небезпечним є цинк і берилій.

При зварюванні міді і деяких її сплавів застосовується азот і аргон, які, маючи більшу питому вагу, можуть витіснити кисень з приміщення. Особливо це небезпечно при роботі в замкнутих об'ємах, що треба урахувати при установці відсмоктувачів місцевої і загальної вентиляції. У таких приміщеннях забір повітря для контролю вмісту азоту і аргону має проводитись постійно за допомогою автоматичного газоаналізатора безперервної дії.

Таблиця 2. Вміст шкідливих речовин в повітрі при зварюванні алюмінієвих сплавів в середовищі інертних газів

Місце отримання проб	Компоненти зварювального аерозолю	Середня концентрація, $\text{мг/м}^3 \cdot 10^{-6}$
Зварювання плавким електродом		
0,2 м від дуги	ТС-3А 320	
	Al_2O_3	170
	MgO	20
	MnO_2	2,5
	Fe_2O_3	3,5
	O_3	0,2
	CO	0,9
	NO	9,0
4 м від дуги	ТС- 3А	1,3
	Al_2O_3	1,4
	MgO	0,3
	O_3	0,04
Зварювання вольфрамовим електродом		
0,2 м від дуги	ТС-3А 2,5	
	O_3	0,02
	CO	12,5
	NO	3,7

При зварюванні конструкції на пересувних робочих місцях треба застосовувати вентиляційні пристрої ежекторного типу; розрахунковий повітряний обмін має бути не менш $11000 \text{ м}^3/\text{кг}$ витраченого електродного дроту.

Берилієву бронзу можна зварювати тільки в закритих камерах з витяжною вентиляцією із швидкістю руху повітря в робочому проїмі камери не менш 1 м/с , а вихідні отвори вакуумних насосів треба приєднувати до місцевої вентиляції. Очищення камери від нагару після зварювання слід виконувати тільки вологим способом (нагар розчиняється в 5% соляній кислоті) при увімкненій місцевій витяжній вентиляції.

Поряд з короткочасним отруєнням, що проявляється як запаморочення, головний біль, нудота, блювання, слабкість тощо, отруйні речовини можуть відкладатися в тканинах організму людини і викликати хронічні захворювання. Особливу увагу слід звертати на концентрацію марганцю, бо його наявність в повітрі більш за $0,3 \text{ мг/м}^3$ може викликати важкі захворювання нервової системи.

Найшкідливішим є зварювання покритими електродами, а при автоматичних методах зварювання кількість шкідливих виділень значно менша. Небезпечна робота при газовому зварюванні і різанні можлива тільки при правильному поводженні з матеріалами, обладнанням та апаратурою згідно з «Правилами техніки безпеки та виробничої санітарії при виробництві ацетилену, кисню та газополуменовій обробці металів». До виконання газозварювальних та газорізальних робіт допускаються робітники не молодше 18 років, які пройшли спеціальне навчання з перевіркою знань безпечної роботи.

Забороняється працювати без водяного затвору чи при несправному водяному затворі; не можна до одного водяного затвору приєднувати кілька пальників або різаків.

Треба бути обережним при роботі з карбідом кальцію: зберігати його в сухих, добре провітрюваних, вогнестійких приміщеннях; на місці виконання робіт зберігати карбід кальцію в непошкоджених барабанах із щільно закритою кришкою; розкривати барабани з карбідом кальцію слід лише спеціальним інструментом, що запобігає можливості утворення іскор; треба захищати барабани від поштовхів і ударів.

При зварюванні кольорових металів часто застосовується попередній, а інколи і супутній підогрів, який реалізується завдяки згорянню горючих газів у сумішах з киснем. Такі суміші можуть бути вибухонебезпечними навіть при наявності іскор. Співвідношення їх з повітрям і киснем наведені в таблиці 3.

Таблиця 3. Граничні співвідношення компонентів вибухонебезпечних сумішей

Пальне	Об'ємна частка пального в суміші, %	
	з повітрям	з киснем
Ацетилен	2,3 – 100	2,1 – 100
Водень	3,3 – 81,5	4,6 – 93,9
Природний газ	4,8 – 14	5,0 – 59,2
Пропан	2,0 – 9,5	2,0 – 48
Бутан	1,5 – 8,5	1,3 – 47
Пари бензину	0,7 – 6	2,1 – 28,4
Пари гасу	1,4 – 5,5	2,0 – 28

Кисень, крім того, активно реагує з жировими речовинами або твердим паливом, яке знаходиться в дисперсному вигляді, що призводить до їх окислювання, а утворення цього тепла призводить до самозаймання, яке активно підтримується киснем. Це викликає опіки у робітників і стає причиною пожеж.

Слід захищати кисневі балони від поштовхів і ударів при транспортуванні та зберіганні. Для забезпечення вибухобезпеки транспортувати балони дозволяються на ресорних транспортних засобах, спеціальних ручних возиках та ношах, у спеціальних контейнерах. Балони треба надійно кріпити у вертикальному положенні на значній відстані від нагрівальних приладів, захищеному від дії сонячних променів місце. Сумісне зберігання балонів з горючими газами та киснем не допускається.

Під час газополуменевої обробки зварники повинні працювати в спеціальному одязі, рукавицях і захисних окулярах зі склом Г-1; Г-2; Г-3, а допоміжні робітники – в окулярах зі склом В-1; В-2; В-3. Зі збільшенням потужності полум'я треба застосовувати скло з більшим номером, якнайтемніше.

При виконанні газополум'яних робіт всередині відсіків, ям та резервуарів, де можливі накопичення шкідливих газів, мають працювати переносні припливно-втяжні вентилятори.

При виготовленні металоконструкцій з кольорових металів виникає необхідність їх різання. Якщо виконання прямолінійних і деяких криволінійних

зрізів може бути досягнуто механічними методами у холодному стані і не викликає труднощів, то різання металу великої товщини, виготовлення фасонних деталей, отворів, поверхневої обробки завжди пов'язано з використанням теплових методів різання.

Плазмове різання супроводжується сильним шумом, який у поєднанні з ультразвуковим ефектом є небезпечним для обслуговуючого персоналу.

Діючими нормами установлені допустимі рівні звукового тиску в залежності від частоти шуму (табл. 4).

Взагалі сила робочого струму мало впливає на рівень шуму, в той час як вплив робочої напруги більш суттєвий. Рівень шуму на відстані 1 м знижується на 6 Дб, на відстані 4 м – на 16 Дб. Тому при механізованому зварюванні практикуються дистанційні методи керування процесу різання.

Оскільки при ручному різанні робітник знаходиться поруч з плазмотроном, доцільне використання протишумових навушників або протишумної каски ВЦННІОТ-2М з навушниками, яка захищає від іскор, механічних травм голови і від високочастотного шуму інтенсивністю до 120 Дб.

Таблиця 4. Допустимі норми шуму при плазмовому різанні на відстані 0,5 м від плазмотрону

Місце вимірювання шуму	Рівень шумового тиску (Дб) для середніх частот октанових смуг (Гц)							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
на робочому місці	90	92	86	83	80	78	76	74
те саме при використанні протишуму ВЦННІОТ	–	–	102	102	107	114	120	113
витяжна вентиляція (вентилятор поза приміщенням)	67	67	66	57	48	43	39	40

Крім того необхідно обмежувати сумарну тривалість впливу шуму на оператора протягом робочої зміни. Діючими нормами передбачаються поправки до таблиці, вказаної вище, при перевищенні допустимого рівня шуму на 6 – 12 Дб за рахунок обмеження тривалості впливу шуму до 4 і 1 год.

При плазмовому різанні виділяється багато газів, пари від розрізуваних металів і аерозолів від хімічних з'єднань, особливо оксидів міді і цинку. Ці виділення вилучаються за допомогою загально обмінної вентиляції і обов'язковим додатковим відсмоктуванням газів і пилу від місць їх утворення. При ручному різанні постійне робоче місце має бути облаштоване столом з нижньобокним відсмоктуванням повітря кратністю обміну до 6 – 12 тис. м³/год. При різанні міді і її сплавів необхідно використовувати шлангові протигази з примусовою подачею повітря або фільтруючі промислові протигази, респіратори.

При отруєні газами треба насамперед винести потерпілого на свіже повітря, розстебнути одяг. Дати понюхати нашатирного спирту, розтерти шкіру, зігріти,

коли холодно, зробити штучне дихання, дати подихати киснем (особливо при отруєнні CO).

Місцеві пилогазоприймачі необхідно розміщувати безпосередньо біля зварювальної ванни, а продуктивність стаціонарних або пересувних пристроїв має бути менше 1000 м³/год. У фільтровентиляційних апаратах треба використовувати фільтри, очищуючи повітря не тільки від ТСЗА, але і від озонемішуваних складових зварювального аерозолі. Серед останніх найбільш небезпечним є цинк, свинець і берилій які, маючи більшу питому вагу, можуть витіснити кисень з приміщення; особливо це небезпечно при роботі в замкнених об'ємах, що треба врахувати при установці відсмоктувачів місцевої і загальної вентиляції. У таких приміщеннях забір повітря для контролю вмісту азоту і аргону має проводитися постійно за допомогою автоматичного газоаналізатора безперервної дії.

При зварюванні конструкції на пересувних робочих місцях треба застосовувати вентиляційні пристрої ежекторного типу; розрахунковий повітряний обмін має бути не менш 11000 м³ на кг витраченого електродного дроту.

Берилієву бронзу можна зварювати тільки в закритих камерах з витяжною вентиляцією із швидкістю руху повітря в робочому проїмі камери не менш 1 м/с, а вихідні отвори вакуумних насосів треба приєднувати до місцевої вентиляції. Очищення камери від нагару після зварювання слід виконувати тільки вологим способом (нагар розчиняється в 5 %-ній соляній кислоті) при увімкненій місцевій вентиляції і використанні респіраторів.

Поряд з короткочасним отруєнням, що проявляється як запаморочення, головний біль, нудота, блювотина, слабкість тощо, отруйні речовини можуть відкладатися в тканинах організму людини і викликати хронічні захворювання. Особливу увагу слід звертати на концентрацію марганцю, бо його наявність в повітрі більш 0,3 мг/м³ може викликати важкі захворювання нервової системи. Найшкідливішим є зварювання покритими електродами, а при автоматичних методах зварювання кількість шкідливих виділень значно менше.

При заготівельних і складально-зварювальних операціях можливі травми. Такі травми спричиняються недотриманням техніки безпеки під час роботи на металорізальному обладнанні при заготівельних операціях, відсутністю пристроїв для транспортування важких деталей; несправністю транспортних засобів – візків, ланцюгів, тросів, захоплювачів, недотриманням персоналом основних правил з такелажних робіт; несправністю інструменту-кувалд, молотків, зубил, ключів тощо.

В статті вказані допустимі норми шкідливих речовин в повітрі при зварюванні металів та сплавів – алюмінію, міді і її оксидів, оксидів марганцю, кремнію, нікелю, цинку, азоту, берилієвої бронзи, свинцю та сполук водню. Вказана концентрація алюмінієвих сплавів в середовищі інертних газів та наведені данні щодо ГДК шкідливих речовин в повітрі на рівні дихальних органів. Плазмове різання супроводжується сильним шумом, який у поєднанні з ультразвуковим ефектом є небезпечним для обслуговуючого персоналу.

Основними заходами зі зниженням травматизму є продумані з точки зору безпеки робіт технологія заготівлі, складання та зварювання, правильне оснащення робочих місць та дотримання персоналом основних правил з техніки безпеки.

Список літератури: 1. Биковський О.Г. Зварювання та різання кольорових металів. К.: Основа. 2011. – 389 с. 2. Псарас Г.Г., Ежель А.И. Сварщику цветных металлов: Справ. пособ. – Донецк: Донбасс, 1982. – 151 с. 3. Шишов И.Г., Котиков В.И. Плазменная резка. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1987.- 192 с.

Поступила в редколлегию 05.01.2012

УДК 378.14

В. Н. ЧЕРНЕТА, ст. преп., ДГФА, Днепропетровск

КАК ОБУЧАЕМ – ТАК И ДЕЙСТВУЕМ!

(формирование практических навыков БЖД в процессе обучения)

В статье рассмотрены основные принципы обучения, которые вооружают преподавателя некоторым универсальным алгоритмам деятельности, систематизируя и организуя педагогические влияния. Раскрыта современная система принципов обучения БЖД студентов. Определены требования к подготовке преподавателя дисциплины БЖД и даны рекомендации по становлению его профессиональной компетентности.

У статті розглянуті основні принципи навчання, які озброюють викладача деяким універсальним алгоритмам діяльності, систематизуючи і організовуючи педагогічний вплив. Розкрита сучасна система принципів навчання БЖД студентів. Визначено вимоги до підготовки викладача дисципліни БЖД і дані рекомендації по становленню його професійної компетентності.

Basic principles of educating that arm a teacher with some universal algorithms of activity, which systematize and organize pedagogical influences are disclosed in the article. Modern system of principles of educating of principles of personal and social safety of students is disclosed. Requirements to preparation of teacher of discipline principles of personal and social safety and recommendations on becoming of his professional competence are defined.

Введение

Безопасность – это необходимое условие дальнейшего развития цивилизации. Однако мы видим, что и в XXI веке, наряду с уже традиционными угрозами и опасностями, возникают и новые: усиливаются социальные противоречия, возрастает уязвимость городских инфраструктур к ударам стихии, энергетическим катастрофам, актам терроризма. Все больше тревожат мировую общественность инфекционные заболевания.

Мировая статистика роста ЧС и их разнообразия показывает, что пришло время коренным образом пересмотреть свои взгляды на комплекс проблем безопасности в современных, постиндустриальных условиях. Ведь многими техногенными, социальными и природными явлениями управлять становится все сложнее, а иногда и просто невозможно. По оценкам некоторых специалистов, если не будет изменен современный стиль жизни населения планеты, в первой

половине XXI века может произойти эволюционный кризис всего человечества как биологического вида. Ведь от новых глобальных угроз собственной жизнедеятельности нет защиты.

Для решения современных проблем снижения риска различных кризисных явлений будет недостаточно только нормативных правовых, организационно-технических и инженерных мероприятий. Опыт показывает, что меры по увеличению надежности технических объектов, созданию алгоритмов безопасного управления ими, по разработке совершенных средств и способов защиты от ЧС малоэффективны. ***Управление безопасностью человека, общества, государства следует осуществлять через социальную сферу, через согласованное поведение людей и четко регламентированные социальные нормы поведения. В первую очередь необходимо учитывать человеческий фактор.*** Ведь, по различным оценкам, именно этот фактор инициирует возникновение до 80-90 % всех техногенных и до 30-40% природных чрезвычайных ситуаций.

Надо подчеркнуть, что учет человеческого фактора в процессе обеспечения безопасности жизнедеятельности не сводится только к формированию у людей определённой совокупности знаний и умений. Важно, чтобы данный процесс являлся приоритетной целью и внутренней потребностью человека, общества, цивилизации. Этого можно достигнуть путем развития новых взглядов, системы идеалов и ценностей, норм и традиций безопасного поведения, т.е. формирования целой культуры безопасности жизнедеятельности.

1. Культура безопасности – культура разума и просвещения

Впервые понятия «культура» и «безопасность» объединили в Международном агентстве по атомной энергии в 1986 г. при анализе причин и последствий аварии на Чернобыльской АЭС. Признано, что отсутствие культуры безопасности явилось одной из основных причин этой аварии. В дальнейшем данный термин был уточнен в «Общих положениях обеспечения безопасности атомных станций» (ОПБ - 88). В данном документе отмечено, что культура безопасности характеризуется квалификационной и психологической подготовленностью персонала, а ее формирование является одним из фундаментальных принципов управления и подлежит нормативному регулированию в области атомной энергетики. Все эти современные знания и методы достижения самых лучших условий безопасности постоянно изучаются на всех АЭС мира, Украины, в том числе анализируется мировой опыт, что и приносит успехи. К примеру, на 5-й Международной научно-практической конференции НАЕК «ЭНЭРГОАТОМ» наилучшей среди АЭС по вопросам культуры безопасности за 2010 год признана Запорожская атомная электростанция.

Но до 2011 года в имеющихся на содержании программах обучения ОБЖ и БЖД в Украине о культуре безопасности даже не упоминалось, ведь они были разработаны в Украине еще в 90-е годы прошлого столетия. Их содержание было скомпоновано на старых идеях и до этого года включало в себя ряд устаревших технологий защиты человека от опасностей, как правило, от самой окружающей среды.

Предназначением современной образовательной отрасли «Безопасность жизнедеятельности» при обучении во всех учебных заведениях Украины назрело время утвердить направление на воспитание у молодежи нового мировоззрения, позволяющего видеть весь спектр реальных современных угроз. Будучи офицером-спасателем по профессии, а последние 10 лет и преподавателем дисциплины БЖД, я на своем опыте убедился, что культуру безопасного поведения каждого человека необходимо формировать с раннего детства и совершенствовать на протяжении всей его жизни.

Основная цель БЖД как образовательной области – стать эффективным средством формирования культуры безопасности. Достичь этого можно в том случае, если взяты за основу положения, вытекающие из основных закономерностей теории обучения и подтвержденные опытом преподавания в виде основных принципов обучения БЖД. Они должны предусматривать способность к адаптации в условиях жизнедеятельности, которые быстро изменяются в соответствии с возможностями научно-технического прогресса, носить системный методологический характер и охватывать все категории населения от дошкольного до пенсионного возраста.

Принципы обучения – это основные направления положения, возникающие в результате анализа научно-педагогических закономерностей и практического педагогического опыта. Система принципов обучения вооружает преподавателя некоторым универсальным алгоритмом деятельности на всех этапах обучения, систематизируя и организуя педагогическое влияние.

Впервые принципы обучения сформулировал Я.А. Коменский. В дальнейшем они получили развитие в работах многих ученых-педагогов. Но на данный момент строгого единства мнений различных ученых относительно формулировки принципов и их классификации не существует. Исходя из личного опыта, в своей повседневной работе со студентами я использую основные из общепринятых принципов обучения:

- сознательность и активность в обучении поможет студентам понять, какое практическое значение имеет изучение вопросов БЖД для подготовки их к выполнению своих обязанностей в нештатных ситуациях;

- системность и последовательность преподавания материала: от простого к сложному, с обязательным усвоением пройденного материала;

- доступность обучения: учебный материал по содержанию, объему и методу преподавания должен отвечать уровню подготовки студентов;

- связь теории с практикой – наиболее важное условие обучения. В программе обучения больше времени следует выделить на практические занятия;

- наглядность в обучении оживляет процесс обучения. Просмотр видеоматериалов при помощи ноутбука или видеомэгнитофона вызывает у студентов повышенный интерес к изучаемому материалу и помогает лучше его усвоить;

- сочетание индивидуальной самостоятельной работы с отдельными учащимися и работы с большей, но более подготовленной группой или со всей учебной группой одновременно;

-патриотическое воспитание в процессе обучения должно осуществляться для формирования у студентов высоких моральных и психологических качеств: мужества, отваги, выдержки, инициативы, изобретательности, взаимной поддержки, самоотдачи при оказании помощи пострадавшим.

Таким образом, в основе повышения надежности функционирования системы "человек – техногенная среда" лежит не только преобразование данной среды в направлении повышения ее безопасности, но и осознанное изменение человека на основе формирования у него культуры безопасности жизнедеятельности.

2. БЖД – дисциплина практической направленности

Стратегическая задача высшей учебной школы – подготовка студентов к самосовершенствованию безопасной жизнедеятельности на основе присвоения культуры безопасности. Показательно мнение педагога Т.Ф. Акбашева: «Я выделяю только одну цель образования – это готовность к выживанию». На сегодняшний день, для изучения студентами дисциплины БЖД в ДГФА отведено 72 часа. Их обучение происходит на первом курсе в первом семестре. С введением новой программы обучения с 2011/2012 учебного года объем излагаемого материала на занятиях значительно возрос. Как известно, на лекциях возможно качественно рассмотреть не более 3-4 вопросов. Учитывая многолетний опыт преподавания дисциплины, я вынужден был спланировать большую часть наиболее доступных вопросов для самостоятельного обучения студентами. Ведь некоторые из них они уже изучали в школе (из химии, физики, биологии, основ экологии и др.). Также большое подспорье в активизации обучения БЖД достигается использованием мультимедийной техники, переносных стендов, цветных плакатов, а также видеопрезентаций, которые разрабатывают сами студенты в процессе самоподготовки.

Я полностью согласен с В.В. Сапроновым, что система обучения молодежи по БЖД должна носить опережающий характер и достаточно гибко реагировать на запросы общества по формированию мировоззрения, сознания студентов, передачи методов, знаний и умений, отношений, ценностей, готовить человека к безопасной жизни и труду. "Делай как Я!". Именно под таким девизом проходит в нашей академии обучение по БЖД. Традиционно все занятия начинаются с доклада одного из выступающих о чрезвычайных ситуациях, которые произошли в мире за истекший период. Источником новостей могут служить сообщения по радио и телевидению, рассказы и описания очевидцев каких-либо событий и т.д. После этого, происходит обсуждение всей учебной группы, как бы действовал студент, оказавшись в подобной ситуации. Были случаи, когда мнения учащихся разделялись. Тогда я делил студентов на 2-3 группы и каждая из них, посоветовавшись между собой, аргументировано отстаивала свое решение. В конце обсуждения я подвожу итоги «мини-учений», оцениваю каждого выступающего и даю студентам задание на самоподготовку: используя методическую литературу, разработать памятку действий населения в различных нештатных ситуациях по соответственным рисункам. Для этого они используют личные мобильные телефоны с фотокамерой. Тем самым, студенты не только закрепляют свои навыки по информатике, но и получают практику в работе с

цифровой техникой, которая может им понадобится для фотофиксации возможных нештатных ситуаций в реальной жизни. В конце семестра обучения в ДГФА ежегодно проводится конкурс разработанных памяток во всеукраинской акции: «Безопасность глазами молодежи!». Для их оценивания приглашаются сотрудники МЧС и подшефные журналисты, которые и награждают победителей. В результате обыгрывания таких «новостей» и «наглядной агитации» удастся сформировать связь между полученными знаниями и разумным поведением молодежи в чрезвычайных ситуациях.

Учебные группы в ВУЗах зачастую значительно перегружены и достигают до 30 – 35 студентов. Личная статистика показывает, что изначальный школьный уровень их подготовки по ОБЖ до поступления в академию был различный. Наряду с сильными учениками обязательно найдутся и недостаточно подготовленные. У преподавателя по дисциплине БЖД нет времени и возможности заниматься каждым в отдельности. Народная китайская мудрость всех нас учит: «Я слышу и забываю, я вижу и помню, я делаю и понимаю!». Поэтому, основной лекционный материал в ходе занятий по БЖД я стараюсь проектировать на мониторе ПК в виде заранее разработанных таблиц или последовательных алгоритмов. Записывая этот материал в свои тетради, у студентов начинает работать не только слуховая, но и зрительная память. В это время они учатся выделять наиболее главное в рассматриваемой теме. Но так как на данном занятии найдутся и те обучаемые, которые не смогли усвоить этот материал в полном объеме либо не были на данной лекции вообще, то я уже на следующем занятии делаю небольшой мини-опрос по предыдущей теме, как правило, в виде тестов по основным вопросам, требующих точных формулировок. Это занимает не больше 5 минут, но дает преподавателю полную картину, кто и как усвоил отработанный материал. Ведь за это короткое время студент не успевает получить «помощь друзей» и ему можно дать объективную оценку. В конце занятия я даю правильные ответы на отработанные вопросы и уже на последующем семинарском занятии опрос студентов начинаю с тех, кто больше всех допустил ошибок при тестировании. Для такого метода поточного мини-опроса необходимо минимальное количество времени, зато будет охвачена вся учебная группа. В это время у студентов для обучения будет задействованы многократно все виды памяти: и зрительная, и слуховая, и двигательная, и ассоциативная. Как показывает многолетний опыт, после таких тренировок самые отстающие студенты твердо усваивают изучаемый материал.

Все семинарские занятия по БЖД должны иметь практическую направленность: быть максимально приближенными к реальным условиям. Поэтому на занятиях необходимо создавать сложные ситуации, приближенные к реальным условиям стихийных бедствий, аварий, катастроф. Вместе с тем на отработанных ситуациях должна четко прослеживаться эффективность индивидуальных и коллективных способов защиты, использование сил и средств защиты. В основе обучения должна быть практика. На каждом занятии преподаватель обязан ставить вопросы так, чтобы студенты обязательно уяснили цель обучения и его практическую значимость. Если в процессе беседы преподаватель ссылается на известные факты, явления, то это помогает не только

обобщить имеющиеся у слушателей знания, но и способствовать тому, чтобы эти знания пополнялись новыми, переходили в определенную систему. В целом сюжетные и ролевые игры должны занимать существенное место в обучении по всему курсу обучения.

Обязательным индивидуальным заданием по БЖД является написание аннотации на один из законов из сферы гражданской защиты. Ведь таким методом мы постепенно заставляем студентов изучать законодательные документы и анализировать, а это верный способ избежать нештатных ситуаций в дальнейшей жизни, зная какие могут быть последствия при их возможном возникновении.

Сегодня во всем мире стало модно быть здоровым, вести здоровый образ жизни, питаться полноценной и органической пищей. Только здоровый специалист может работать долго и качественно. Поэтому в ДГФА особое внимание уделяется формированию здорового образа жизни, во вне аудиторной воспитательной деятельности со студентами. В нашей академии среди всех учебных групп первокурсников стали традиционными конкурсы-викторины «Защити себя сам!». Где наряду с теоретическими вопросами, тестами на находчивость происходит проверка знаний по правилам оказания первой медицинской помощи, а также командные соревнования на физическую выносливость (прыгание на скакалке и отжимание от пола). Эти соревнования проходят активно и эмоционально. Особенно это характерно для конкурсов, где для учащихся очень важен фактор времени, всем очень хочется выиграть. Особенностью данного конкурса является то, что приветствия команд готовят сами студенты накануне с использованием видеомонтажа и обучающих видеороликов материалов БЖД. Уже в ходе проведения этих соревнований наиболее подготовленные студенты пишут соответствующие статьи с фотографиями в газету академии, а также местные СМИ. Финалом таких соревнований является награждение победителей и выбор студента, который и представляет нашу академию на ежегодной Всеукраинской олимпиаде з дисциплины БЖД.

Четвертый год, как в нашем ВУЗе создан волонтерско-туристический клуб “БАКС” (Быть Активным Каждую Секунду). Уже стало традицией в канун международного дня борьбы с курением (31 мая) проводить 2-3 дневные пешие походы по историческим местам Днепропетровщины. Сам девиз этих путешествий: “Не пить, Не курить и Не ныть!” говорит о том, что здоровый образ жизни наши студенты ведут не только в стенах академии, но и при общении с природой. Как турист, с большим опытом и руководитель данного клуба, знаю, что именно в таких экстремальных условиях проявляется “обратная связь”: студент получает объективную оценку себя и своих действий со стороны окружающих. Но в любом случае, такие походы сплачивают молодых ребят, учат вместе преодолевать трудности, творить, быть готовым прийти на помощь друг другу, быть доброжелательным и заинтересованным в успехах других, а это в дальнейшем становится качеством их личности.

При преподавании дисциплины БЖД мною взят на вооружение и педагогический прием известного российского психолога Л.С. Выготского:

”Надо учить, как сохранить организм здоровым, а не заучивать вещества, содержащиеся в табачном дыму!”. Профилактика деятельности в области БЖД должна иметь позитивную направленность, указывая на то, что надо делать. Именно с этой целью все первокурсники нашей академии в день города Днепропетровска в 2009 году выстроились на собственном спортивном стадионе огромной цифрой 233, выразив тем самым любовь и уважение к своему родному городу. Одновременно с ними были проведены практические занятия, по действиям молодежи оказавшись в стихийной многочисленной толпе. А 27.10.10г. наши студенты приняли активное участие в проводимой впервые на Украине Международной акции “День без транспорта”. Многие из них, живущие недалеко от академии, продолжают добираться до академии пешком в любую погоду и сейчас. Чем не позитивный повод для подражания? И экология улучшается, и времени стало больше для общения с сокурсниками-попутчиками. Не остались в стороне наши студенты и от проведения Дня шахмат, который праздновался на Украине в этом году впервые. Под зажигательную современную музыку была разыграна шахматная партия между А.Карповым и М.Корчным. В историю шахмат она вошла под названием «Королевский гамбит». В роли «живых фигур» выступили самые активные студенты-баксовцы. Вся вышеперечисленная организованная активная деятельность студентов показала: большинство студентов ДГФА сдают экзамен з БЖД на отлично и хорошо. Что, в свою очередь доказывает, что использование современных принципов и методов обучения, только способствуют более прочному усвоению курса БЖ.

Необходимо также отметить, что качественно обучить молодежь безопасному поведению в современных условиях может только подготовленный специалист и лично ведущий здоровый образ жизни. Тот кто мало знает, мизерному и научит! (Я.А. Коменский). Усиление интеграции различных сфер общественной деятельности, обеспечивающих безопасность и охрану здоровья, неуклонное расширение диапазона знаний в области обеспечения безопасности, углубление межпредметных связей ведут к повышению требований к педагогу как личности и профессионалу. В этих условиях важнейшей задачей профессионального образования становится непрерывный рост профессиональной компетентности педагога.

Под **профессиональной компетентностью** преподавателя безопасности жизнедеятельности понимается соответствующая определенной компетенции способность педагога осуществлять свою деятельность с учетом специфики курса обучения. К большому сожалению, большинство учителей предмета ОБЖ и преподавателей дисциплины БЖД на Украине не имеют специальной подготовки. Как показывает практика, их переподготовка и повышение уровня знаний не приносят достаточного эффекта. Кроме того, при исследовании российским ученым В.В. Гафнером было установлено ряд противоречий в динамике профессиональной деятельности преподавателя з БЖД при совмещении преподавания им нескольких учебных дисциплин.

Заключение

Таким образом, только совместными усилиями органов государственной власти, научных сообществ и используя передовой опыт наиболее развитых

европейских стран, мы сможем повысить уровень культуры людей в области безопасности жизнедеятельности, усилить сплоченность общества перед природными, техногенными и иными опасностями, повысить не только теоретический, но и практический уровень духовно-нравственного и патриотического воспитания молодежи.

Список литературы: 1. *Бегун Василий* и др. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие. - Киев.— "Феникс". — 2004. — 327с. 2. *Василий Гафнер*. О профессиональной компетентности учителя БЖД. Россия. Основы безопасности жизни. - 2005. - № 11. - с. 31 – 33. 3. *Владимир Сапронов*. Идеи к общей теории безопасности. Основы безопасности жизни. - 2007. - № 1. - с. 46 – 52. 4. *Дурнев Роман*. Культура безопасности – культура разума и просвещения. Россия. Основы безопасности жизни. - 2006. - № 5. - с. 40 – 44. 5. *Николай Серпигов*. Как сделать урок ОБЖ интересным. Основы безопасности жизни. - 2007. - № 5. - с. 63 – 64. 6. *Стоянов Виктор* и др. БЖД – наука, актуальная всегда. Украина. Чрезвычайная ситуация. - 2006. - №1. – с.48 - 51.

Поступила в редколлегию 03.01.2012

А. В. КОЗАК, ассис., Государственный аграрно-технический университет,
Каменец-Подольск

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДИОДА НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИМПУЛЬСНОГО ДИОДНОГО ГЕНЕРАТОРА

Проведена оценка допустимых значений импульсной мощности генераторов от изменения температуры активной области полупроводниковых диодов в течение длительности импульса.

Ключевые слова: теплопроводность; длительность импульса; скважность импульсов; тепловое сопротивление; импульсная мощность диодных генераторов.

Проведена оцінка допустимих значень імпульсної потужності генераторів від зміни температури активної області напівпровідникових діодів протягом тривалості імпульсу.

Ключові слова: теплопровідність; тривалість імпульсу; шпаруватість імпульсів; тепловий опір; імпульсна потужність діодних генераторів.

The estimation of allowable values for the pulsed power generator was made based on the temperature change of the active region of semiconductor diodes for pulse duration.

Key words: thermal conductivity, pulse width, duty cycle, thermal resistance, diode pulsed power generators

1. Введение

Максимальная выходная мощность импульсных диодных генераторов ограничивается прежде всего разогревом активных участков полупроводника [1, 2].

При работе диодных генераторов в импульсном режиме отдаваемая мощность в нагрузку тем больше, чем меньше длительность импульса. В тех случаях, когда длительность импульса значительно превышает время развития теплового пробоя, для оценки допустимых значений импульсной мощности необходимо знать закон изменения максимальной температуры активной области полупроводника в течение длительности импульса.

2. Анализ предшествующих исследований

Для ряда упрощенных моделей в литературе получены аналитические зависимости температуры активного участка лавинно-пролётных диодов (ЛПД) от времени [3,4]. Однако эти зависимости для количественных оценок энергетических параметров импульсных диодных генераторов непригодны, т.к. в них не учтена зависимость теплопроводности материала от изменения температуры активной области полупроводника в течение длительности импульса.

3. Цель статьи

Определение достижимых энергетических характеристик импульсного диодного генератора от величины длительности импульса.

4. Изложение основного материала

Уровень сверхвысокой частоты (СВЧ) мощности, генерируемый лавинно-пролётным диодом (ЛПД), определяется в основном четырьмя параметрами: напряжением пробоя U_{np} , плотностью рабочего тока J_0 , сопротивлением потерь диода R_s и площадью p - n перехода S . Так, напряжение пробоя обусловлено рабочим диапазоном частот, конструкцией и технологией ЛПД. Плотность рабочего тока J_0 ограничена предельно допустимой мощностью рассеяния на единицу площади диода и определяется температурой p - n перехода, эффективностью теплоотвода и режимом работы.

Тепловая модель ЛПД, собранного с применением монтажа активного слоя цилиндрической конечной длины непосредственно на полубесконечном теплоотводе, представлена на рис. 1. Полупроводниковая структура 1 с одной стороны монтируется на медном теплоотводящем основании 2, а с другой стороны при помощи монтажной пластинки 3 соединена с фланцем 4 металлокерамического корпуса 5 диода.

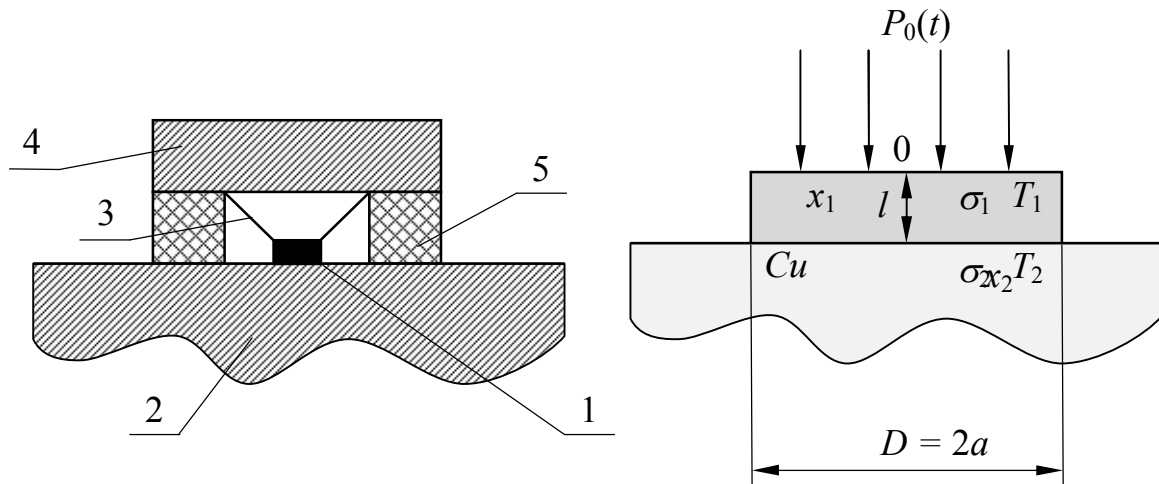


Рис. 1. Тепловая модель диода и ее одномерный эквивалент

Для рассматриваемой модели расчет сводится к следующему:

- мощность импульсного теплового потока P_i , поступающего в сечение p - n перехода, представляется постоянной $P_0 = P_i / Q$ и переменной $P_{\square} = P_i(Q - 1) / Q$ компонент, где $Q = T / \tau_i$ – скважность импульсных посылок;
- теплоотводящее основание имеет заданные величины коэффициентов теплопроводности полупроводникового материала χ и теплоотвода.

$$\sigma = (\lambda \rho c)^{\frac{1}{2}},$$

где λ, c, ρ – соответственно теплопроводность, теплоемкость и удельная плотность материала теплоотвода.

Значения $\rho, c, \lambda, \chi, \sigma$ для меди, алмаза, кремния, арсенида галлия и ряда других материалов приведены в [3].

При работе ЛПД в режиме коротких импульсов с длительностью τ_i , меньшей времени тепловой релаксации диодной структуры [4]:

$$\tau_a = \frac{a^2}{4\chi^2}, \quad (1)$$

и скважностью, большей чем τ_a / τ_i , можно достичь существенного увеличения выходной мощности ЛПД. Здесь a – радиус диода; χ – температуропроводность материала теплоотвода.

Как показано в работе [5], выигрыш в величине рассеиваемой, а, следовательно, и полезной мощности, которую дает переход к импульсному режиму становится существенным при:

$$\tau_i < 2\tau_a. \quad (2)$$

Выбираем необходимые для расчета теплового режима $GaAs$ ЛПД трехсантиметрового диапазона следующие параметры: $\chi_{GaAs} \approx 0,26$ см²/с; $\sigma_{II} \approx 0,88$ Вт·с^{1/2}/см²·град; $\sigma_T = 3,75$ Вт·с^{1/2}/см²·град; $\lambda_{Cu} \approx 3,9$ Вт/см·град, $\chi_{Cu} = 1,14$ см²/с.

Зависимости $\tau_a(a)$ приведены на рис. 2. Видно, что при $\tau_i \leq 100$ условию (2) удовлетворяют полупроводниковые структуры с размерами $a > 10$ мкм с медным теплоотводом.

При условии (2) импульсное тепловое сопротивление $R_{Ti}(\tau_i)$, характеризующее перегрев $\Delta T_i(\tau_i) = P_{0i} R_{Ti}(\tau_i)$ активного слоя с

контактной площадью S к концу импульса, определяется выражением:

$$R_{Ti}(\tau_i) = 2 \left(\frac{\tau_i}{\pi} \right)^{1/2} \frac{1}{\pi a^2 \sigma_\Sigma} \approx \frac{\tau_i^{1/2}}{S \sigma_\Sigma}, \quad (3)$$

где $\sigma_\Sigma = \sigma_T + \sigma_{II}$

На рис. 3 представлена зависимость теплового сопротивления R_{Ti} от длительности импульса τ_i , рассчитанная по формуле (3).

Из рис. 3 видно, что при равномерном распределении источников тепла в активном слое температура этого слоя нарастает линейно при $\tau_i \leq \tau_a$ и не зависит от изменения с температуры теплопроводности полупроводника

χ_{II} .

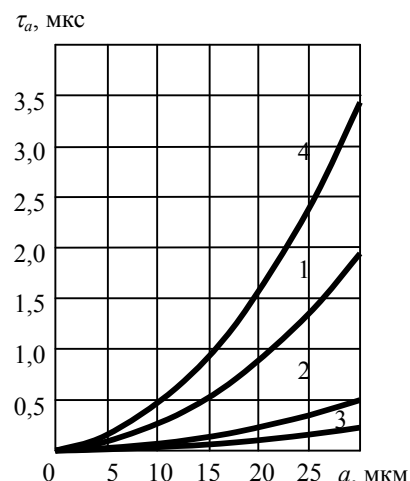


Рис. 2. Зависимость времени тепловой релаксации τ_a от размера структуры a для неограниченного теплоотвода из различных материалов: 1 – медь, 2 – 3 алмаз, 4 – кремний n -типа.

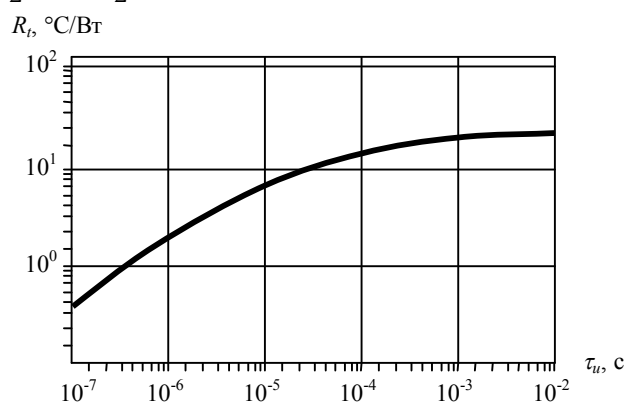


Рис. 3. Зависимость теплового сопротивления диода от длительности импульса

Рассмотрим зависимость допустимой мощности питания P_0 и максимальной полезной импульсной мощности ЛПД $P_i = \eta P_0$ от длительности импульса, при условии $2\tau_a > \tau_i$. Тогда отличие между мощностью P_0 и перегревом диода определится выражением [5].

$$U_0 J_0 S \approx \Delta T_i S \left[\left(\frac{\tau_i^{\frac{1}{2}}}{\sigma_T} + \rho_{II} \right) (1 - \eta) \right]^{-1}, \quad (4)$$

где $\rho_{II} S$ – удельное тепловое сопротивление активного слоя диода.

Выражение (4) определяет максимальную плотность тока, ограниченную допустимым перегревом диода:

$$(1 - \eta) J_0 = \frac{\Delta T_i}{U_0 \left(\frac{\tau_i^{\frac{1}{2}}}{\sigma_T} + \rho_{II} \right)}. \quad (5)$$

Зависимость
и $J_0(\tau_i)$ для
ЛПД площадью
 p - n перехода
 $S = 1 \cdot 10^{-4} \text{ см}^2$
приведены на
рис. 4. Для ЛПД
с длительностью
импульсов
 $\tau_i = 0,1 \text{ мкс}$.

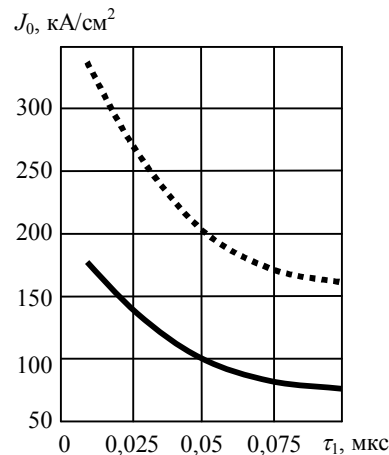


Рис. 4. Максимальная плотность импульсного тока питания ЛПД, J_0 ограничиваемая тепловым перегревом диода ΔT , равным 100°C (---) и 200°C (-), с медным теплоотводом составляет $100 \dots 170 \text{ кА/см}^2$

5. Выводы

Изложенная методика расчета позволяет для конкретно выбранных параметров ЛПД и теплоотвода определить предельно допустимые значения плотности тока питания и импульсной мощности в течение длительности импульса.

Список литературы: 1. Ясинский В. К. Тепловой режим импульсных генераторных диодов / Ясинский В. К. // Радиотехника и электроника. – 1975. – Т. XX, № 1. – С. 224 – 226. 2. Касаткин Л В., Чайка В. Е. Полупроводниковые устройства в миллиметровом диапазоне длин волн / Касаткин Л В., Чайка В. Е. // Севастополь: Издательство Вебер. – 2006. – 319 с. 3. Тагер А. С. К расчету тепловых характеристик полупроводниковых структур в режиме коротких импульсов / Тагер А. С. // Серия 1. Электроника СВЧ. – Вып. 5 – 1981. – С. 3 – 7. 4. Ходневич А. Д. Зависимость выходной мощности ГЛПД от емкости p - n перехода / Ходневич А. Д. // Серия 1. Электроника СВЧ. – 1974. – Вып. 2. – С. 34 – 44. 5. Горбачев А. В., Касаткин Л. В. Каскадное суммирование мощностей ЛПД в режиме внешней синхронизации / Горбачев А. В., Касаткин Л. В. // Электронная техника. – 1982. – Вып. 10. – С. 22 – 27.

Поступила в редколлегию 03.01.2012

В. А. ПОТАПОВ, докт.техн.наук, проф., зав.каф., ХГУПТ, Харьков

М. М. ЦУРКАН, канд,техн.наук,доц., ХГУПТ, Харьков

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ВЫСОТЫ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЕМКОСТИ СВЧ-СУШИЛКИ

Розглянуто питання визначення оптимальних геометричних розмірів функціональної місткості для розміщення зневоднюваної сировини в НВЧ-сушарці.

Ключові слова: НВЧ-нагрів, функціональна місткість

Рассмотрен вопрос определения оптимальных геометрических размеров функциональной емкости для размещения обезвоживаемого сырья в СВЧ-сушилке.

Ключевые слова: СВЧ-нагрев, функциональная емкость

The question of determination of optimum geometrical sizes of functional capacity is considered for placing of the dehydrated raw material in MV-dryer.

Keywords: MV-warming, functional capacity

Постановка проблемы в общем виде

Сегодня в пищевой промышленности, в частности, в технологических процессах, связанных с тепловой обработкой и сушением пищевого сырья, все больше распространяется использование СВЧ-энергии. Это диктуется в первую очередь требованиями повышения энергоэффективности тепломассообменных процессов как наиболее энергозатратных, к тому же, этому способствует и современное развитие оборудования и устройств для генерации СВЧ-энергии.

Максимальная энергоэффективность таких процессов в первую очередь будет зависеть от эффективного использования мощности СВЧ-генератора, что связано как с его рациональной нагрузкой, так и с геометрическими формами рабочей камеры СВЧ-сушилki и геометрическими формами функциональной емкости с обезвоживаемым сырьем.

Анализ последних исследований и публикаций

Работа является продолжением теоретических и экспериментальных исследований процессов сушки в функциональных емкостях (ФЕ) с использованием СВЧ-энергоподвода [1]. Одним из условий равномерности СВЧ-нагрева обезвоживаемого сырья является выбор оптимальных геометрических размеров функциональной емкости.

Цели и задачи статьи

Целью работы является теоретическое обоснование геометрии функциональной емкости опытной СВЧ-сушилki, которые обеспечивают условия равномерного нагрева пищевого сырья в процессе его сушки.

Изложение основного материала исследований

Определяющим геометрическим размером функциональной емкости с сырьем является ее высота d , которая на порядок (как минимум) меньше ее ширины. Таким образом, в первом приближении, ФЕ можно представить в виде пластины толщиной d , размещенной в центре резонаторной СВЧ-камеры.

В качестве критерия равномерности и эффективности СВЧ-нагрева принято считать глубину проникновения электромагнитного поля в диэлектрическую среду [2]

$$\Delta = \frac{\lambda}{\pi \sqrt{\varepsilon'} \operatorname{tg} \delta}, \quad (1)$$

где λ - рабочая длина волны, м; $\operatorname{tg} \delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'}$ - тангенс угла диэлектрических потерь; $\varepsilon', \varepsilon''$ - действительная и мнимая части комплексной относительной диэлектрической проницаемости.

Принято считать также, что толщина d материала обрабатываемого в СВЧ-поле не должна превышать Δ . Однако, понятие глубины проникновения имеет смысл для бесконечно толстого слоя диэлектрика. Распространяющаяся в нем электромагнитная волна затухает от поверхности к центру. Функциональная емкость с сырьем представляет собой диэлектрик конечной толщины ($d \sim \Delta$), помещенный в поле стоячей волны. В этом случае, с одной стороны, амплитуда внутреннего поля убывает от поверхности к центру, с другой – концентрируется в пучностях стоячей волны, возникающей внутри материала. Поэтому глубину равномерного нагрева в этом случае можно определить как максимальную высоту ФЕ, обеспечивающую равенство удельной мощности потерь в центре и на поверхности материала.

В соответствии с принятой моделью рассмотрим СВЧ-нагрев диэлектрика, имеющего форму бесконечной пластины толщиной $2d$ (рис. 1). При этом, как и в случае введения понятия глубины проникновения, будем считать обезвоживаемое сырье в функциональной емкости однородным диэлектриком, который облучается плоской электромагнитной волной. Поскольку нагрев происходит в практически закрытой ФЕ, потерями теплоты в окружающую среду пренебрегаем ввиду незначительных градиентов температур и малой длительности нагрева.

Электромагнитное поле внутри ФЕ описывается системой дифференциальных уравнений Максвелла, решение которой для бесконечной пластины имеет вид [2]:

$$\dot{E} = \frac{1}{2} \dot{A} e^{-ikz} + \frac{1}{2} \dot{B} e^{ikz} \quad (2)$$

$$\dot{H} = \frac{1}{2W} \left(\dot{A} e^{-ikz} - \dot{B} e^{ikz} \right) \quad (3)$$

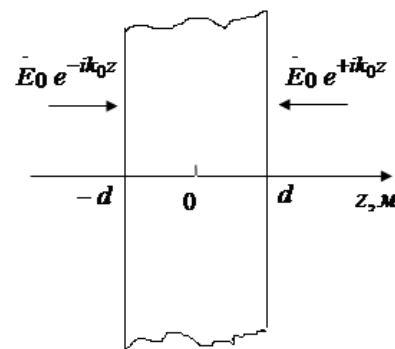


Рис. 1. Функциональная емкость с материалом в поле стоячей волны

где $\dot{E}$, $\dot{H}$ – соответственно, комплексные напряженности электрического, В/м и магнитного полей, А/м; z – текущая координата, м; $\dot{A}$, $\dot{B}$ – комплексные постоянные, определяемые из граничных условий при $z = -d$ и $z = d$, В/м; W – волновое сопротивление среды, Ом; $k = k' - ik''$ – комплексная постоянная распространения, м⁻¹, где

$$k' = \frac{2\pi\sqrt{\varepsilon'}}{\lambda}; \quad k'' = \frac{\pi\sqrt{\varepsilon'}\operatorname{tg}\delta}{\lambda} \quad (4)$$

Вследствие симметрии рассматриваемой задачи граничные условия на обеих поверхностях ФЕ будут одинаковыми, следовательно, $\dot{A} = \dot{B}$ и для электрической компоненты поля внутри функциональной емкости запишем следующее выражение

$$\dot{E} = \dot{A} \cos kz \quad (5)$$

Согласно [2], удельная мощность, выделяемая внутри ФЕ с материалом, определяется следующим образом:

$$Q_V = \frac{1}{2} \omega \varepsilon_0 \varepsilon'' |\dot{E}|^2 \quad (6)$$

где Q_V – удельная мощность потерь, Вт/м³; ω – циклическая частота, с⁻¹; ε_0 – электрическая постоянная, Ф/м.

Определив квадрат модуля косинуса (5) от комплексного аргумента [3], получим

$$Q_V(z) = \frac{1}{4} \omega \varepsilon_0 \varepsilon'' |\dot{A}|^2 (ch2k''z + \cos 2k'z). \quad (7)$$

Изменение Q_V по d показано на рис. 2. При малых временах τ , характерных для СВЧ-нагрева, температурное поле внутри ФЕ с материалом будет преимущественно определяться законом изменения Q_V [4]. Поэтому критерием равномерного нагрева материала в функциональной емкости как пластины конечной толщины может служить условие

$$Q_V(0) = Q_V(d) \quad (8)$$

При этом неравномерности температуры t , вызванные дифракционной картиной распределения Q_V , будут с течением времени уменьшаться в результате действия эффектов теплопроводности.

Определим максимальную полувысоту ФЕ d_0 , при которой выполняется равенство (8). Учитывая (7), условие (8) перепишем следующим образом:

$$ch2k''d_0 = 2 - \cos 2k'd_0. \quad (9)$$

Решение трансцендентного уравнения (9), определяющее искомую величину d_0 , существует при $ch2k''d_0 \leq 3$. Поэтому в нулевом приближении разложим в ряд

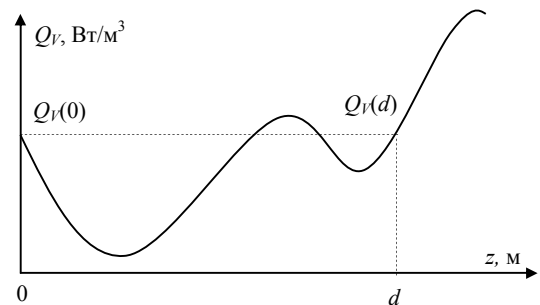


Рис. 2. Изменение удельной мощности по высоте ФЕ

по малому параметру функцию $ch2k''d_0$, а $\cos 2k'd_0$ заменим его средним (нулевым) значением

$$\frac{(2k''d_0)^4}{24} + \frac{(2k''d_0)^2}{12} - 1 = 0 \quad (10)$$

Больший из положительных корней биквадратного уравнения (10) является искомым нулевым приближением d_{00} . После несложных вычислений получаем

$$d_{00} \cong \frac{0,7\lambda}{\pi\sqrt{\varepsilon'}tg\delta}. \quad (11)$$

Следующее приближение для величины d_0 определим, разлагая в ряд Тейлора функции, входящие в уравнение (9) в окрестности точки нулевого приближения d_{00} . Ограничиваясь квадратичными членами разложения, после преобразований получим следующее уравнение относительно d_0 :

$$\begin{aligned} & (2k''^2 ch2k''d_{00} - 2k'^2 \cos 2k'd_{00})(d_0 - d_{00})^2 + (2k'' sh2k''d_{00} - 2k' \sin 2k'd_{00}) \\ & \times (d_0 - d_{00}) + ch2k''d_{00} - 2 + \cos 2k'd_{00} = 0 \end{aligned} \quad (12)$$

Учитывая то, что d_{00} – корень уравнения $ch2k''d_{00} = 2$, а также формулы (4), (11), перепишем уравнение (12):

$$\begin{aligned} & \left(\frac{\pi\sqrt{\varepsilon'}}{\lambda} \right)^2 \left(tg^2\delta - 2 \cos \frac{2,8}{tg\delta} \right) (d_0 - d_{00})^2 + \\ & + \frac{2\pi\sqrt{\varepsilon'}}{\lambda} \left[(sh1,4)tg\delta - 2 \sin \frac{2,8}{tg\delta} \right] (d_0 - d_{00}) + \cos \frac{2,8}{tg\delta} = 0 \end{aligned} \quad (13)$$

Решение уравнения (13) дает искомую величину для полувисоты функциональной емкости d_0 , обеспечивающий равномерный нагрев материала в СВЧ-поле:

$$\begin{aligned} d_0 &= \frac{\lambda}{\pi\sqrt{\varepsilon'}tg\delta} \left[0,7 + tg\delta \left(\frac{-1 \pm \sqrt{1 - 4m \cos(2,8/tg\delta)}}{4m} \right) \right]; \\ m &= \frac{tg^2\delta - 2 \cos \frac{2,8}{tg\delta}}{1,9tg\delta - 2 \sin \frac{2,8}{tg\delta}}. \end{aligned} \quad (14)$$

Для определения максимального значения d_0 по формуле (14) следует выбрать больший из корней уравнения.

Выводы

Таким образом, получена расчетная зависимость для определения максимальной высоты функциональной емкости для обезвоживаемого сырья, при которой обеспечивается его равномерный нагрев в резонаторной камере СВЧ-сушилки.

Список литературы: 1. *Погожих Н.И.* Метод определения напряженности СВЧ-поля по темпу нагрева модельного тела. [Текст] / Н. И. Погожих, В.А. Потапов, Н. М. Цуркан, О.Ю Гриценко // Науково-методологічні аспекти енергоефективності моделювання енерготехнологій: Зб. наук праць/ Голов. ред.. Б.В. Егоров. – Одеса: ОНАХТ, 2011. – Вип..39, том 2. - с. 16-18. 2. *Рогов И.*

А. Техника сверхвысокочастотного нагрева пищевых продуктов. [Текст] / И. А. Рогов, С.В. Некрутман, Г.В. Лысов. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1981, - 200 с.3. Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. [Текст] / Т. Корн, Г. Корн – М.: Наука, 1973, - 832 с.4. Нетушил А.В. Высокочастотный нагрев диэлектриков и полупроводников. [Текст] / А.В. Нетушил и др. – М. – Л.: Госэнергоиздат, 1956, - 480 с.

Поступила в редколлегию 15.01.2012

УДК 629.735Ю083.02.06(045)

Ю.М. ТЕРЕЩЕНКО, докт.техн.наук, проф., НАУ, Київ,
І.О. ЛАСТІВКА, канд.техн.наук, зав.каф., НАУ, Київ

ВПЛИВ ПАСИВНОГО УПРАВЛІННЯ ОБТІКАННЯМ У ДВОРЯДНИХ КОМПРЕСОРНИХ РЕШІТКАХ НА ОСНОВНІ ПОКАЗНИКИ ЇХ РОБОТИ

Проведено дослідження течії в дворядних компресорних решітках та зроблено аналіз впливу пасивного управління обтіканням на основні показники їх роботи.

Ключові слова: дворядна компресорна решітка, управління обтіканням.

Проведены исследования течения в двухрядных компрессорных решетках и сделан анализ влияния пассивного управления обтеканием на основные показатели их работы.

Ключевые слова: двухрядная компрессорная решетка, управление обтеканием.

Studies of flow in two-row compressor lattices are presented in the work. Analysis of the effects of passive control flow around the main indicators of the compressor lattice was made.

Key words: two-row compressor lattices, control flow.

1. Вступ

Підвищення ефективності компресорів газотурбінних двигунів та забезпечення їх газодинамічної стійкості в широкому діапазоні експлуатаційних режимів тісно пов'язане з дослідженням потоку повітря в решітках аеродинамічних профілів компресорів та вирішенням задачі щодо локалізації або попередження зривного обтікання лопаткових вінців і зниження рівня втрат в проточній частині компресора, обумовлених нерозрахунковим обтіканням лопаток та аеродинамічними кромковими слідами за елементами статора. Аеродинамічні сліди є причиною різних видів нерівномірності потоку і його пульсацій на вході в компресор, що призводить до небезпечних з точки зору міцності резонансних коливань лопаток робочого колеса [1,2,3]. Запобігти зриву потоку і зменшити інтенсивність аеродинамічних слідів за вихідними кромками лопаток статора можна за допомогою енергетичних методів впливу на течію в примежових шарах [2,4,5,6,7,8].

За принципом дії на течію в примежових шарах на поверхнях аеродинамічних профілів компресорів управління обтіканням ділиться на активне і пасивне. Активне управління обтіканням і вплив на аеродинамічні сліди реалізується шляхом видування через щілини профілів у напрямі основного потоку по дотичній до обтічної поверхні додаткової маси повітря (газу) в пристінний примежовий шар. При пасивному управлінні обтіканням вплив на примежовий шар здійснюється за допомогою перерозподілу енергії в потоці без

внесення додаткової енергії з інших систем. Детальний аналіз досліджень впливу енергетичних методів на течію в пристінних шарах на ізольованих поверхнях приведений в роботах [9,10,4,11].

2. Постановка задачі

Проведемо дослідження течії в дворядних компресорних решітках та розглянемо і проаналізуємо вплив дворядності і ефекту управління обтіканням на основні показники їх роботи – кут відхилення потоку $\angle \beta$ і рівень втрат повного тиску ξ .

3. Проведення досліджень

В якості одного із шляхів підвищення ефективності лопаткових вінків ступенів осьових компресорів останнім часом розглядається питання про застосування багаторядних компресорних решіток. В основі звернення до дворядних і багаторядних решіток лежить ідея про перерозподіл енергії в міжлопаткових каналах між різними областями потоку.

У ряді робіт відзначається, що струмінь, що використовується для управління обтіканням поверхонь лопаток, повинен мати вищі параметри, ніж основний потік [11,12]. Ця умова визначає конфузорну форму каналу між лопатками першого і другого ряду. Використання конфузорних щілин для отримання струменя (над поверхнею профілів другого ряду) з вищою швидкістю, ніж у основного потоку, визначило завдання досліджень кінематики потоку в дворядних решітках.

Розглянемо розрахункову схему течії в дворядній компресорній решітці, представлену на рис. 1

В результаті експериментальних досліджень [12,13,14] встановлено, що параметри струменя, який витікає з щілини, істотним чином залежать від геометричних характеристик як щілини, так і решітки в цілому, і можуть значно відрізнятися від параметрів в ядрі потоку.

В якості величин, що визначають геометричні характеристики щілин, у ряді робіт прийняті: f_e – мінімальна відстань між поверхнями профілів першого і другого рядів (мінімальна висота щілини); f_a – максимальна відстань між поверхнями профілів першого і другого рядів (максимальна висота щілини); l_s – відстань між перерізами f_e і f_a (глибина щілини). Параметри l_s , f_e , f_a характеризують конфузорність щілини

$$K = \frac{\bar{f}_a}{\bar{f}_e \cdot \bar{l}_s} \text{ або } K' = \frac{f_a - f_e}{l_s},$$

$$\text{де } \bar{f}_a = \frac{f_a}{b_\Sigma}, \bar{f}_e = \frac{f_e}{b_\Sigma}; \bar{l}_s = \frac{l_s}{b_\Sigma}.$$

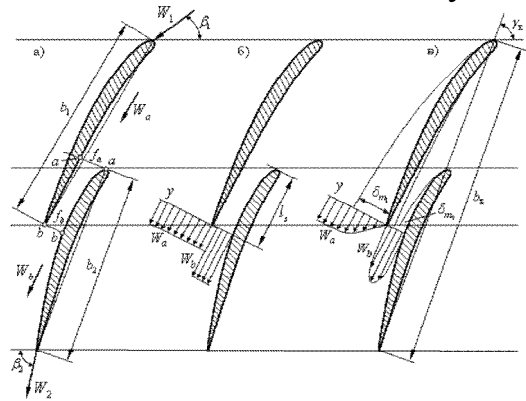


Рис. 1. Розрахункова схема течії в дворядній компресорній решітці

На рис. 2 зображені профілі швидкостей і повного тиску за вихідними кромками лопаток деяких типів дворядних компресорних решіток, що відрізняються геометрією щілин. Вони ілюструють вплив конфузорності щілин

на ефективність дії струменя, що витікає з щілини, на характер обтікання основним потоком поверхні профілів другого ряду.

Теоретичний розрахунок параметрів потоку в дворядних решітках має ряд особливостей, які

призводять до певних відмінностей в розрахунку системи управління обтіканням лопаток складної форми. При теоретичному дослідженні параметрів напівобмеженого струменя в супутньому потоці профіль швидкостей в струмені на виході з щілини приймається прямолінійним, тобто примежовий шар, що утворюється на стінках щілини, в розрахунках, зазвичай, не враховується. Це припущення визначається незначними розмірам щілини порівняно з характерними розмірами профілів. У разі використання подібного припущення при розрахунку течії в дворядних компресорних решітках може мати місце істотна помилка в розрахунках за рахунок того, що в районі щілини (біля вихідної кромки лопаток першого ряду) примежовий шар на профілях першого і другого рядів є достатньо розвиненим і його розміри одного порядку з розмірами щілини.

Особливості розрахунку напівобмеженого струменя в дворядній решітці полягають у тому, що необхідно враховувати поведінку основного потоку і струменя, що витікає з щілинного каналу до їх взаємодії. У загальному випадку повний розв'язок задач обтікання дворядних решіток повинен дати відповіді на наступні питання:

- як формується струменевий примежовий шар, що утворюється при злитті двох примежових шарів за вихідною кромкою профілів першого ряду;
- як формуються пристінні примежові шари в щілині між профілями першого і другого ряду;
- як розвивається примежовий шар за щілиною на профілі другого ряду.

Основні проблеми теоретичного аналізу вказаних задач полягають в обґрунтованому виборі зв'язків між параметрами швидкості і турбулентного тертя і їх залежностями від геометричних характеристик решіток.

Найбільш важливим для дослідження режимів безвідривної течії в дворядних решітках є питання про особливості формування пристінного примежового шару

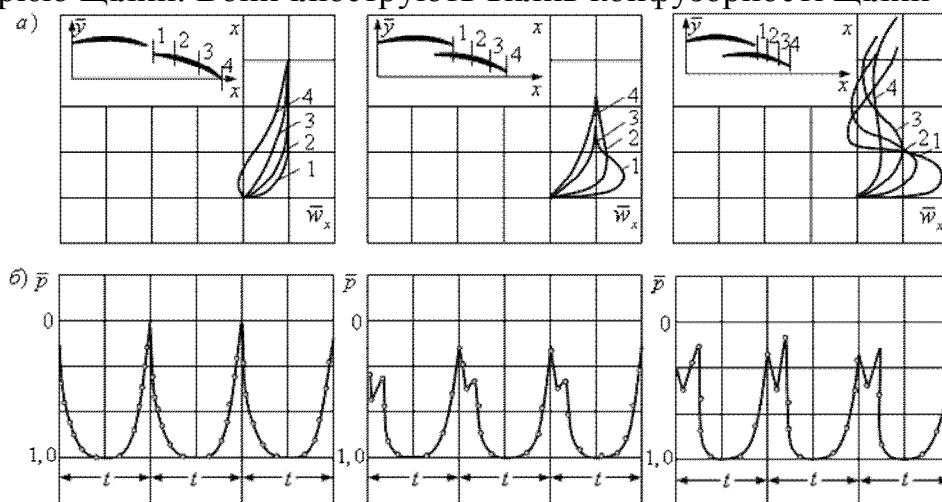


Рис. 2. Профілі повного тиску і швидкостей: а) – за вихідними кромками лопаток першого ряду; б) – за вихідними кромками лопаток другого ряду

на поверхнях лопаток першого і другого ряду. Діапазон безвідривного обтікання лопаток першого ряду може визначатися на основі узагальнень про закономірності поширення в'язкого струменя вздовж криволінійної поверхні [13,15]. Для пристінного примежового шару на профілі другого ряду при розрахунку точки відриву необхідно враховувати особливості формування струменевого примежового шару при змішуванні потоків в міжлопатковому каналі. Особливості струменевого примежового шару в цьому випадку визначаються зміною швидкості на зовнішній межі і залежать, в основному, від напружень зсуву в зовнішній частині струменя.

Підхід до розрахунку дворядної решітки, в якій використовується ефект управління обтіканням профілів, ґрунтується на тих передумовах, що і розрахунок однорядної решітки з активним управлінням обтіканням. Основна відмінність полягатиме в тому, що товщина втрати імпульсу в примежовому шарі на спинці лопатки $\delta_{кр}^{**}$ або $\delta_{ном}^{**}$ визначатиме не лише інтенсивність видуву в примежовий шар на лопатках другого ряду, але й розміри і форму міжлопаткових щілинних каналів – f_a, f_s, l_s . Для оцінки перерозподілу енергії (кількості руху) в міжлопаткових каналах дворядної решітки між основним потоком і потоком, що проходить через міжлопаткові щілини, вводиться коефіцієнт інтенсивності управління обтіканням дворядної решітки – коефіцієнт дворядності K_e , що визначається як і коефіцієнт імпульсу видуву c_μ відношенням імпульсу маси газу, що виходить з міжлопаткового щілинного каналу I_e , до імпульсу маси газу в міжлопатковому каналі в місці розташування щілини між профілями першого і другого ряду I_m , визначеному за допомогою осереднених параметрів газового потоку. Для спрощеної розрахункової схеми (при нульовому перекритті профілів першого і другого рядів, тобто при $l_s = 0$) коефіцієнт дворядності записується у вигляді

$$K_e = \frac{I_e}{I_m} = \frac{\rho_s W_s^2 f_s}{\rho_m W_m^2 t \sin \gamma_\Sigma - \rho_m W_m^2 f_s},$$

де γ_Σ – кут установлення профілів дворядної решітки.

У припущенні, що $W_s \approx W_m$, $\rho_s \approx \rho_m$, після ділення чисельника і знаменника на умовну хорду дворядного профілю b_Σ отримуємо наступне значення коефіцієнта дворядності для решітки з $l_s = 0$:

$$K_e = \frac{\bar{f}_s}{\bar{t} - \bar{f}_s},$$

де $\bar{t} = \frac{t}{b_\Sigma}$ – відносний крок решітки.

Таким чином, при нульовому перекритті профілів у дворядній решітці $l_s = 0$ коефіцієнт дворядності може визначатися тільки густотою решітки і відносними розмірами щілинного каналу.

Визначивши для вихідної однорядної компресорної решітки за допомогою відомих напівемпіричних залежностей [11] зміну інтегральних характеристик

примежового шару на поверхні лопаток $\delta_K, \delta_K^*, \delta_K^{**}, \delta_{cn}, \delta_{cn}^*, \delta_{cn}^{**}$ (індекси "к" відповідають потоку на коритці лопатки, а індекси "cn" – потоку біля спинки лопатки) і прийнявши за розрахунковий режим або максимальний (що відповідає максимальному значення кута відхилення потоку $\square \beta_{\max}$) або номінальний ($\square \beta^* = 0,8 \square \beta_{\max}$), можна оцінити відповідний коефіцієнт дворядності решітки як відношення імпульсу, що відповідає, наприклад, безвідривному обтіканню профілів на режимі $\square \beta_{\max}$, до імпульсу в міжлопатковому каналі

$$K_{eT} = \frac{\rho_m \delta_{cn}^{**} W_m^2}{\rho_m W_m^2 t \sin \gamma_{\Sigma} - \rho_m \delta_{cn}^{**} W_m^2} = \frac{\bar{\delta}_{cn}^{**}}{\bar{t} \sin \gamma_{\Sigma} - \bar{\delta}_{cn}^{**}},$$

$$\text{де } \bar{\delta}_{cn}^{**} = \frac{\delta_{cn}^{**}}{b_{\Sigma}}.$$

Прирівнюючи $K_e = K_{eT}$, отримуємо, що розміри щілини f_{ϵ} при нульовому перекритті $l_s = 0$ відповідають товщині втрати імпульсу на спинці лопатки δ^{**} на зривному режимі (при $i = i_{кр}$), тобто $f_{\epsilon} \approx \delta^{**}$. Ці міркування будувалися без урахування тієї обставини, що ефективна площа прохідного перерізу щілини f'_{ϵ} буде меншою за геометричну площу на товщину витіснення примежового шару, що сформувався до вихідної кромки профілю першого ряду на його увігнутій поверхні (на коритці) – δ_K^* . Урахування примежового шару на поверхні профілю першого ряду дозволяє уточнити вираз для визначення коефіцієнта дворядності і більш строго підійти до розрахунку розмірів щілинного каналу: $f'_{\epsilon} = f_{\epsilon} - \delta_K^*$.

Коефіцієнт дворядності решітки з урахуванням пристінного примежового шару на лопатці першого ряду записується у вигляді

$$K'_e = \frac{\rho_m W_m^2 (f_{\epsilon} - \delta_K^*)}{\rho_m W_m^2 t \sin \gamma_{\Sigma} - \rho_m W_m^2 (f_{\epsilon} - \delta_K^*)} = \frac{\bar{f}_{\epsilon} - \bar{\delta}_K^*}{\bar{t} \sin \gamma_{\Sigma} - \bar{f}_{\epsilon} + \bar{\delta}_K^*}.$$

Прирівнюючи значення K'_e до теоретичного коефіцієнта дворядності K_{eT} , що визначається з умови забезпечення безвідривного обтікання профілів другого ряду, отримуємо

$$\frac{\bar{f}_{\epsilon} - \bar{\delta}_K^*}{\bar{t} \sin \gamma - \bar{f}_{\epsilon} + \bar{\delta}_K^*} = K_{eT}.$$

Позначивши $(\bar{t} \sin \gamma + \bar{\delta}_K^*) = g$, вираз для відносної висоти щілинного каналу в дворядній решітці при нульовому перекритті профілів записується у вигляді

$$\bar{f}_{\epsilon} = \frac{g K_{eT} + \bar{\delta}_K^*}{1 + K_{eT}}.$$

Отримана таким чином величина $\bar{f}_{\epsilon}$ є вихідною для розрахунків дворядної решітки (при $l_s = 0$). Основою для побудови дворядного профілю можна рекомендувати профіль однорядної еквівалентної решітки, в який вписується профіль дворядної лопатки таким чином, що кути входу і виходу однорядної решітки дорівнюють кутам входу і виходу дворядної лопатки при, відповідно,

однакових кутах згину середньої лінії однорядного профілю і еквівалентної середньої лінії дворядного профілю.

В основу принципу геометричної еквівалентності однорядних і дворядних профілів покладені наступні умови:

– рівність кутів установки профілів однорядної і дворядної решіток (рівність кута нахилу хорди профілів вихідної решітки " $b_{вих}$ " до фронту решітки – $\gamma_{вих}$ і кута нахилу умовної хорди дворядного профілю " b_{Σ} ", яка є відрізком прямої, що сполучує точку входу профілю першого ряду і точку виходу профілю другого ряду)

$$\gamma_{вих} = \gamma_{\Sigma};$$

– рівність кутів входу і виходу потоку в однорядній і дворядній решітках

$$\beta_{1K} = (\beta_{1K})_{\Sigma}; \beta_{2K} = (\beta_{2K})_{\Sigma};$$

– рівність хорди вихідного профілю і умовної хорди еквівалентного дворядного профілю

$$b_{вих} = b_{\Sigma};$$

– рівність густот однорядної і дворядної решіток.

Отже, дворядний профіль може бути побудований з вихідного однорядного, геометричні параметри якого визначаються на основі газодинамічного розрахунку ступеня осьового компресора за відомими апробованими методиками. Потім середня лінія профілю ділиться на дві ділянки, кожна з яких грає роль середньої лінії профілів першого і другого рядів лопаток, відповідно. Після побудови профілів першого і другого рядів здійснюється паралельне перенесення уздовж фронту решітки профілів першого або другого ряду. Перенесення профілів має на меті формування щілинного каналу з розмірами f_a , f_e , визначеними з попереднього розрахунку дворядної решітки

$$f_e = b_{\Sigma} \bar{f}_e.$$

Аналогічно здійснюється побудова дворядних решіток з $l_s \neq 0$. Основна відмінність решіток з $l_s \neq 0$ від розглянутих дворядних решіток без перекриття полягає в тому, що швидкість на виході з щілинного каналу в таких решітках W_e може бути вищою, ніж швидкість основного потоку в перерізі видуву. У таких решітках може бути підвищена величина імпульсу, що характеризує газовий потік, який виходить з щілини, і забезпечена вища стійкість потоку до зриву.

Параметри повітряного потоку перед об'єктом досліджень визначалися за допомогою приймачів повного і статичного тисків і термопар, вимірювальними пристроями були п'єзометри і потенціометри. Методика проведення інтерферометричних досліджень відповідала рекомендаціям ЦАГІ, ЦКТІ. Окрім оптичних методів в даному дослідженні використовувалися результати безпосередніх вимірів параметрів потоку. Лопатки першого і другого рядів дренувалися, що дозволило за показаннями батареї рідинних манометрів контролювати характер течії на поверхнях лопаток при різних режимах роботи решіток. Така комбінована методика проведення газодинамічних досліджень дозволила з великою точністю дешифрувати інтерферограми і досліджувати структуру потоку в міжлопаткових каналах і аеродинамічних слідах. В процесі

досліджень за результатами експериментальних даних визначались величини, що характеризують ефективність решіток. Серед них, наприклад, такі як:

- коефіцієнт втрат повного тиску в решітці

$$\xi = \frac{\sum_{i=1}^n (p_1^* - p_2^*)_i \Delta t}{(p_1^* - B)t};$$

- коефіцієнт інтенсивності управління обтіканням на поверхні профілів другого ряду

$$K_e = \frac{\bar{f}_a}{\bar{t} \sin \gamma \left(\frac{1 - \bar{f}_s / (\bar{t} \sin \gamma)}{1 - \bar{f}_a / (\bar{t} \sin \gamma)} \right)}.$$

В основу принципу еквівалентності решіток були покладені наступні умови:

- рівність кутів установки профілів однорядної і дворядної решіток $\gamma = \gamma_0$ (індекс “0” тут і далі відзначає параметри еквівалентних однорядних решіток);
- рівність кута згину середньої лінії однорядної решітки θ і конструктивного кута повороту дворядної решітки $\beta_{2K} - \beta_{1K} = \theta_0$;
- рівність густот решіток

$$\left(\frac{b}{t} \right)_0 = \frac{b_\Sigma}{t};$$

- рівність кутів входу і виходу потоку в однорядній і дворядній решітках

$$\beta_{1K} = \beta_{10}; \quad \beta_{2K} = \beta_{20}.$$

При дослідженні решіток зміна геометричних параметрів щілин здійснювалась при фіксованих величинах кутів β_1 і β_2 . Це дозволяло аналізувати вплив зміни коефіцієнта K_e на ефективність решіток. Швидкість потоку на вході в решітку змінювалась в діапазоні, що відповідала значенням чисел Маха $M_1 = 0,4 - 0,6$.

Основні результати досліджень представлені на рис. 3, 4 у вигляді узагальнених залежностей:

$$\square \bar{\beta}_{\max} = f\left(\frac{b}{t}; \theta; K_e\right);$$

$$\xi^* = f\left(\frac{b}{t}; \theta; K_e\right),$$

де $\square \bar{\beta}_{\max} = \frac{\square \beta_{\max}}{\square \beta_{\max_0}}$; $\square \beta_{\max}$ та $\square \beta_{\max_0}$ – значення показників роботи

дворядних та еквівалентних однорядних решіток, відповідно.

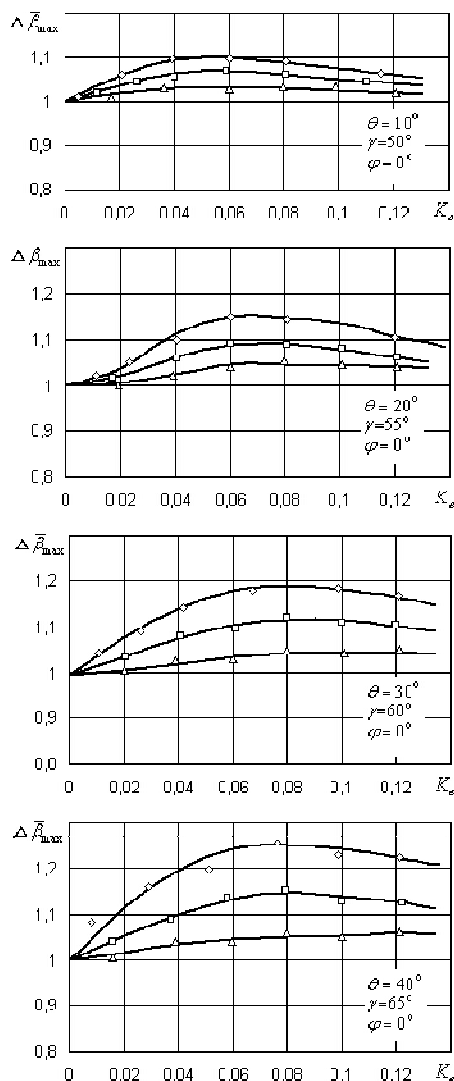


Рис. 3. Зміна $\Delta \bar{\beta}_{\max}$ в залежності від інтенсивності управління обтіканням $\diamond - \frac{b}{t} = 1,0$ $\square - \frac{b}{t} = 1,5$ $\square - \frac{b}{t} = 2,0$

4. Аналіз досліджень

Аналізуючи графічні залежності $\Delta \bar{\beta}_{\max} = f(b/t; \theta; K_e)$ і $\xi^* = f(b/t; \theta; K_e)$, можна констатувати наступне.

Максимальний кут відхилення потоку у дворядних решітках, що відповідає критичним значенням кута атаки i_{kr} , збільшується на 10 – 25% у порівнянні з відхиленням потоку еквівалентної за геометричними параметрами однорядної решітки. Чим більший кут згину середньої лінії (чим більший теоретичний кут повороту потоку решіткою), тим більш ефективним є використання ефекту дворядності як засобу підвищення аеродинамічної навантаженості решіток.

Залежність $\Delta \bar{\beta} = f(K_e)$ має екстремум, що відповідає оптимальній перебудові потоку в міжлопаткових каналах решіток.

Найбільший ефект управління обтіканням має місце в решітках з густотами $b/t < 1,0$, коли $\Delta \bar{\beta}$ змінюється у порівнянні з еквівалентними однорядними решітками на 25 – 30%. При збільшенні густоти до $b/t = 1,5 - 2,0$ значення $\Delta \bar{\beta}$

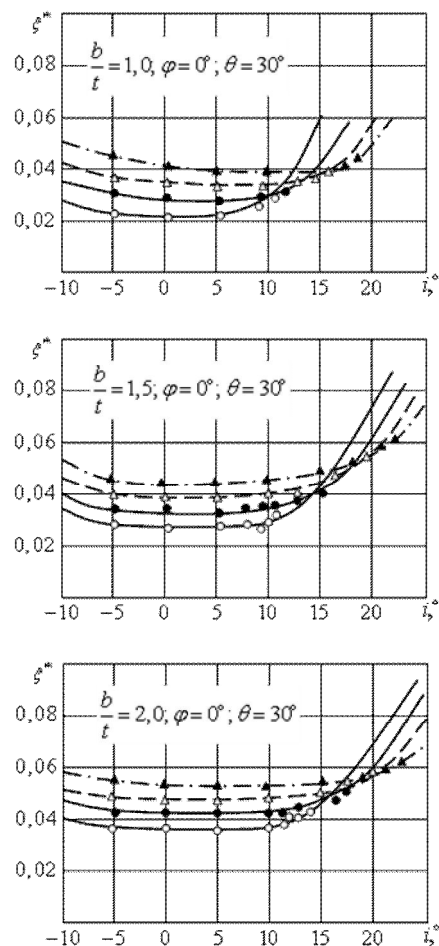


Рис.4. Залежність рівня втрат повного тиску від інтенсивності управління обтіканням K_e :

— $\circ$ — $K_e = 0$; — — Δ
 — — $K_e = 0,04$;
 — $\bullet$ — $K_e = 0,02$; — $\cdot$
 — $\blacktriangle$ — $K_e = 0,06$

змінюється на 5 – 10%, причому, чим більша густота решіток, тим менше проявляється ефект дворядності.

Рівень втрат повного тиску в дворядних решітках на докритичних режимах вищий на 10–20% (в залежності від K_e) від рівня втрат в еквівалентних однорядних решітках. На критичних і надкритичних режимах обтікання рівень втрат в дворядних решітках нижчий на 25–35% від рівня втрат в еквівалентних однорядних решітках.

5. Висновки

Застосування дворядних решіток в осьових компресорах підвищує їх ефективність у порівнянні з однорядними за рахунок перерозподілу енергії потоку в міжлопаткових каналах без внесення додаткової енергії з інших систем, в результаті якого відбувається взаємодія основного потоку повітря (газу) і потоку, що проходить через міжлопаткові щілини першого і другого рядів. Ефект пасивного управління обтіканням або ефект дворядності залежить від геометричних параметрів дворядної решітки в цілому і від міжлопаткових щілин зокрема. Ефект дворядності як засіб підвищення аеродинамічної навантаженості решіток пропорційний зміні кута згину середньої лінії профілів θ , він впливає також на рівень втрат повного тиску в дворядних решітках ξ^* і залежить від режимів обтікання.

Список літератури: 1. Гинзбург С.И. Исследование неравномерного по окружности течения перед осевой компрессорной ступенью / С.И. Гинзбург, А.А. Сусленников // Сб. «Лопаточные машины и струйные аппараты». – М.: Машиностроение, 1971. 2. Самойлович Г.С. Нестационарное обтекание и аэроупругие колебания решеток турбомашин / Г.С. Самойлович. – М.: Наука, 1969. – 444с. 3. Кулагина В.А. Влияние окружной неравномерности направления потока на резонансные колебания лопаток рабочего колеса компрессора / В.А. Кулагина // Сб. "Лопаточные машины и струйные аппараты" – М.: Машиностроение, 1971. 4. Чжен П. Управление отрывом потока / П. Чжен. – М.: Мир, 1979. – 365с. 5. Самойлович Г.С. Возбуждение колебаний лопаток турбомашин / Г.С. Самойлович. – М.: "Машиностроение", 1975. 6. Степанов Г.Ю. Гидродинамика решеток турбомашин / Г.Ю. Степанов. – М.: Физматгиз, 1962. 7. Терещенко Ю.М. Аэродинамика компрессоров с управлением отрывом потока / Ю.М. Терещенко, М.М. Митрахович. – К.: Институт математики НАН Украины, 1996. – 252с. 8. Терещенко Ю.М. Аэродинамическое совершенствование лопаточных аппаратов компрессоров / Ю.М. Терещенко. – М.: Машиностроение, 1987. – 168с. 9. Гиневский А.С. Теория турбулентных струй и следов / А.С. Гиневский. – М.: Машиностроение, 1969. – 400 с. 10. Федяевский К.К. Избранные труды / К.К. Федяевский. – Л.: Судостроение, 1975. – 439с. 11. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя / Г. Шлихтинг. – М.: Наука, 1969. – 742 с. 12. Бунимович А.И. Некоторые результаты экспериментального исследования плоских компрессорных решеток / А.И. Бунимович, А.А. Святогоров // Труды ЦИАМ. – 1957. – № 307. 13. Калихман Л.Е. Турбулентный пограничный слой на криволинейной поверхности, обтекаемой газом / Л.Е. Калихман. – М., Оборонгиз, 1956. – 209 с. 14. Фиккерт К.И. Исследование диффузионных решеток с большими отклонениями потока / К.И. Фиккерт // Вопросы ракетной техники. – М. 1953. – № 1. – С.57-67. 15. Самойлович Г.С. Расчет потенциального потока газа в криволинейном канале. / Г.С. Самойлович // Теплоэнергетика. 1954 – № 7.

Поступила в редколлегию 23.01.2012

З. Я. МОНАСТИРСЬКИЙ, докт.техн.наук, проф., Інститут
електродинаміки НАН України, Харків,
С.С. ОВЧИННИКОВ, докт.техн.наук, ХНАМГ, Харків,
О.О. СІРОБАБА, інж., ХНАМГ, Харків,

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРЯДНИХ І СВІТЛОДІОДНИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА В УСТАНОВКАХ ЗОВНІШНЬОГО ОСВІТЛЕННЯ

Стаття присвячена аналізу ефективності джерел світла в установках зовнішнього освітлення. Наведена оцінка ефективності випромінювання джерел світла для присмеркового зору, що дозволило точніше оцінити переваги одних джерел світла над іншими, відносно їх використання в установках зовнішнього освітлення.

Статья посвящена анализу эффективности источников света в установках наружного освещения. Дана оценка эффективности излучения источников света для сумеречного зрения, которая позволила точнее оценить преимущества одних источников света над другими, относительно их использования в установках наружного освещения.

The article is devoted the analysis of light sources efficiency in outdoor illumination systems. The estimation of light sources radiation efficiency is given for twilight sight, which allowed more precisely estimating advantages of one light source above other, in relation to their use in settings outdoor illumination.

Зовнішнє освітлення сучасного міста є основним елементом його впорядкування. Установки зовнішнього освітлення різного функціонального призначення створюють унікальний образ міста в темний час доби, формуючи світлове середовище, що забезпечує безпеку і емоційне задоволення мешканців і гостей мегаполісу. Доведено, що ефективне освітлення забезпечує зниження кількості ДТП, зниження кількості кримінальних випадків [1], дає змогу акцентувати архітектурні особливості міста, поліпшує його вигляд [3-5].

Наймасовішими і надзвичайно енергоємними в зовнішньому освітленні є установки для освітлення вулиць і доріг. Застосування сучасних джерел світла (ДС) в цих установках відкриває перспективи зниження енергоспоживання системи освітлення. При цьому важливо, щоб організація вуличного освітлення дозволяла зберігати необхідні умови світлового середовища, що задовольняють запити громадян.

Основними нормованими параметрами зовнішнього освітлення є яскравість й освітленість дорожнього полотна. Відповідно до стандарту рівні яскравості дорожнього полотна визначаються в межах 0,2 - 1,6 кд/м² залежно від категорії вулиці [6]. Рівні яскравості для зовнішнього освітлення приймаються спираючись на відбиваючі властивості поверхні асфальту в суху погоду, тобто за нормальних умов. Згідно проведеним в 2007р. вимірам рівнів яскравості дорожнього полотна створюваних різними освітлювальними установками [10], розподіл яскравості істотно змінюється залежно від різних погодних умов. Наприклад, у дощову погоду яскравість ділянки поверхні дороги із дзеркальним відбиттям у напрямку лінії зору водія збільшується в порівнянні з яскравістю за нормальних умов, тоді

як яскравість ділянок у темній області дорожнього полотна зменшується. Зростаюча нерівномірність яскравості полотна приводить до погіршення умов видимості. При цьому рівень середньої яскравості мокрого полотна зростає. У сніжну погоду яскравість дорожнього полотна може бути в кілька разів більше, ніж за нормальних умов. Отже, для всіх погодних умов діапазон яскравості оточення не виходє за межі в $0,01 - 5 \text{ кд/м}^2$ і відноситься до області функціонування присмеркового зору.

Подальший аналіз показав, що в зовнішньому освітленні найбільша потреба - 41% - відповідає ДС з світловим потоком від 5,0 до 10,0 клм, 27% - з потоком від 2,5 до 5,0 клм, і всього 12% - з потоком понад 10,0 клм [5]. Ці цифри відповідають потребам створення високоякісних освітлювальних установок, що повністю відповідають умовам забезпечення необхідного рівня видимості. На жаль, у ряді випадків потреба визначається не тільки нормами і якістю освітлення, але і обмежується фінансовими можливостями споживача. З іншого боку, сучасні ДС, крім високої вартості, володіють і вищою світловою віддачею, що дозволяє скорочувати витрати на експлуатацію освітлювальної установки.

Сьогодні наймасовішими ДС, що використовуються в зовнішньому освітленні, є натрієві лампи високого тиску (ДНаТ), набувають розвитку металогалогенні лампи (МГЛ) та лампи ртутні дугові (ДРЛ). Крім того, останнім часом все більш перспективними для зовнішнього освітлення стають світлодіодні джерела світла (СД). Основні характеристики вищеперелічених ДС наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Основні характеристики ДС

Найменування	Потужність, Вт	Світлова віддача, лм/Вт	Термін служби, тис. г.	Світловий потік, клм
ДРЛ	125 - 1000	50 - 60	12 – 18	6 - 60
МГЛ	175 - 3500	70 - 90	8 – 10	12 - 315
ДНаТ	50 - 400	90 - 120	10 – 12	4,5 - 48
СД	40 - 120	70 - 150	50 – 60	2,8 - 18

Порівняльний аналіз характеристик ДС показує, що практично всі вони задовольняють вимогам більшості зовнішніх освітлювальних установок. Доцільно використовувати ДС з більшою світловою віддачею, проте при цьому слід враховувати особливості відтворення кольорів в умовах їх використанні. Для освітлення скверів, парків і бульварів, а також пішохідних зон, найбільш ефективними з економічної точки зору ДС є ДНаТ, проте використання МГЛ і СД виглядає все більш перспективним.

Оскільки нормованим показником є яскравість дорожнього покриття, тому важливо оцінити не тільки світлову віддачу ДС, але і спектральну щільність яскравості освітленої поверхні. Дорожнє покриття, представлене в основному асфальтом і бетоном має селективні властивості відбиття [5, 8].

Спектральний склад випромінювання, що генерується ДС (1) і відбивається від ділянки асфальту в нормальних умовах (2), представлений на рис. 1. Довжина хвилі λ в нанометрах (нм), спектральна щільність випромінювання $\varphi_e(\lambda)$ в Вт/нм.

Сьогодні, при оцінці зовнішнього освітлення, використовують світлові величини, встановлені для світлоадаптованого ока. Для цього застосовують нормалізовану функцію відносної спектральної світлової ефективності випромінювання для денного зору $V(\lambda)$, яка узгоджена Міжнародною комісією по освітленню (МКО) та приводиться в вигляді таблиці в світлотехнічних довідниках. Проте при малих рівнях яскравості функція відносної спектральної світлової ефективності випромінювання для зорового апарату зазнає значні зміни в порівнянні з денним зором [3]. Величина найбільш інформативна в прикладному діапазоні адаптації зору – еквівалентна яскравість $L_{ек}$, також базується на функції відносної спектральної світлової ефективності випромінювання, але для прикладного зору $V_{ек}(\lambda, L_{ек})$. Складність використання функції $V_{ек}(\lambda, L_{ек})$ для розрахунку еквівалентної яскравості полягає в залежності самої функції $V_{ек}(\lambda, L_{ек})$ від $L_{ек}$. Зміст поняття еквівалентної яскравості полягає в тому, що вона характеризує прикладну світлову ефективність випромінювання, стосовно стандартного випромінювання. Під стандартним мається на увазі випромінювання абсолютного чорного тіла з температурою 2046 К.

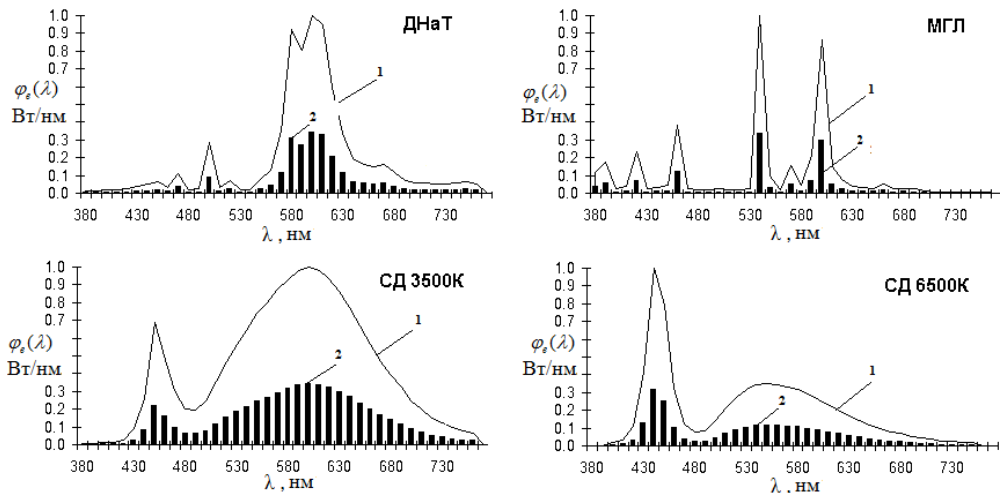


Рис. 1. Еквівалентна яскравість визначається за формулою [2]:

$$L_{ек} = K_{\max}(L_{ек}) \cdot \int l_e(\lambda) V_{ек}(\lambda, L_{ек}) d\lambda, \quad (1)$$

де

$$K_{\max}(L_{ек}) = 683 \cdot \frac{\int l_e^0(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int l_e^0(\lambda) V_{ек}(\lambda, L_{ек}) d\lambda} \quad (2)$$

- функція спектрального складу еталонного випромінювача й еквівалентної яскравості,

$l_e(\lambda)$ - спектральна щільність енергетичної яскравості випромінювання досліджуваного ДС, $l_e^0(\lambda)$ - спектральна щільність яскравості випромінювання зразкового ДС.

Нами розроблений метод розрахунку еквівалентної яскравості [4], в якій функція $V_{ек}(\lambda, L_{ек})$, моделюється з використанням елементарних нормалізованих функцій ефективності випромінювання для трьох кольоросприймаючих

рецепторів людини. Для знаходження еквівалентної яскравості необхідно лише розв'язати рівняння:

$$L_{ек} = K_{\max}(L_{ек}) \cdot [(0,033 \log L_e^3 - 0,091 \log L_e^2 + 0,073 \log L_e + 0,985) L_0 + (0,1 \log L_e^2 - 0,194 \log L_e + 0,1) L_n + (-0,0412 \log L_e^3 - 0,025 \log L_e^2 + 0,105 \log L_e - 0,0568) X'] \quad (3)$$

де L_0, L_n, X' - ефективні потоки випромінювання (св.Вт/Вт), що розраховуються за нормалізованими кривими МКО $V(\lambda), V'(\lambda), \bar{x}(\lambda)$ відповідно. Під світловим ватом варто розуміти ефективний потік випромінювання без обліку максимальної світлової чутливості.

Для реальної оцінки ефективності ДС в зовнішньому освітленні (в умовах присмеркового зору) нами проведено порівняння еквівалентної яскравості дорожнього покриття для різних рівнів фотометричної яскравості. Рис. 2 ілюструє значну розбіжність світлової ефективності для розглянутих ДС (1 – ДнаТ, 2 – МГЛ, 3 – СД 3500К, 4 – СД 5600К, 5 – СД 6500К), що відкриває перспективи більш раціонального використання світлової енергії.

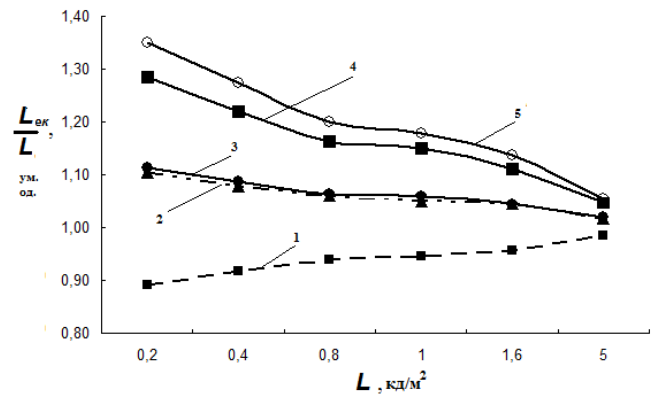


Рис. 2. Розбіжності світлової ефективності для розглянутих ДС

Розрахункові дані щодо можливості економії світлового потоку та електроенергії без втрати якості зорового сприйняття наведені в таблиці 2.

За результатами проведеного аналізу виразно просліджується, що ефективність випромінювання для присмеркового зору значно відрізняється від ефективності випромінювання для денного зору. Це дозволяє точніше оцінити переваги одних ДС над іншими, що надзвичайно важливо в наш час, коли розробляються нові типи ДС. При порівнянні світлової віддачі ДС для присмеркового зору чітко видно, що для ДнаТ вона знижується більш ніж на 5% в порівнянні зі світловою віддачею для денного зору, в той час як для СД 6500К вона підвищується більше ніж на 15% для рівня яскравості 0,8 кд/м².

Із табл. 2 видно, що економія світлового потоку, а відповідно й електроенергії, за умов використання СД та МГЛ при забезпеченні того ж самого зорового сприйняття будуть різними для кожного рівня яскравості. Згідно з розрахунковими даними, для вулиць категорій В при застосуванні СД з колірною температурою 6500 К можливо економити по світловому потоку від 30% до 46%.

Таблиця 2. Економія світлового потоку

Категорія об'єкту за освітленням	Середня яскравість покриття, кд/м²	ДС	Економія за світловим потоком
А-В	1,6 - 0,8	ДнаТ	(-4%) - (-11%)
		МГЛ	9% - 23%
		СД 3500	9% - 22%
		СД 4500	16% - 40%
		СД 6500	18% - 46%

Проведений порівняльний аналіз дозволяє сформулювати основні висновки:

1. Встановлено, що найбільш ефективним представленням функції спектральної світлової ефективності для присмеркового зору є апроксимація з використанням трьох функцій нормалізованих МКО: функції спектральної світлової ефективності для нічного $V'(\lambda)$ та денного $V(\lambda)$ зору та координати кольору X' колориметричної системи XYZ.

2. Аналіз відносної ефективності ДС різних типів показав істотні відмінності ефективності цих джерел в умовах зовнішнього освітлення, від їх ефективності в освітлювальних установках, що створюють високі рівні освітленості.

3. Розроблена методика розрахунку еквівалентної яскравості, яка дозволяє спростити оцінку світлової ефективності ДС в умовах їх використання в зовнішньому освітленні й забезпечує можливість розробки фотометрів для вимірювання еквівалентної яскравості.

Список літератури: 1. Справочная книга по светотехнике: справ. / под ред. Ю. Б. Айзенберга. 3-е изд. перераб. и доп. — М. : Знак, 2000. — 972 с. — ISBN 5-87789-0514-4. 2. Мешков, В. В. Основы светотехники Ч. 1. : учеб. — М. : Энергия, 1979. — 368 с. 3. Пойнтер, К. Уличное освещение и уменьшение преступности: выгоды и убытки // Светотехника. — 1999. — № 6. — С. 4-7. 4. Серобаба, А. А. Изменение спектральной световой эффективности излучения при уменьшении яркости как результат перестройки взаимодействия световоспринимающих рецепторов. / А. А. Серобаба, С. С. Овчинников // Светотехника и электроэнергетика. — 2010. - №1. - С. 4-10. 5. Трейдер, Д.А. Оценка экономической эффективности установок дорожного и уличного освещения // Светотехника. — 1995. — № 4-5. — С. 10–12. 6. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение. 7. Adrian W., Visibility of targets: Model for calculation. // Lighting Res. Technol. — 1989. - №21: pp. 181-188. 8. Ekrias A., Ylinen A.-M., Eloholma M., Halonen L. Effects of pavement lightness and colour on road lighting performance // Proceedings of the CIE International Symposium on Road Surface Photometric Characteristics: Measurement Systems and Results. Torino. 2008. 9. He Y., System of Mesopic Photometry. / He Y., Bierman A., Rea M., // Lighting Res. Technol. — 1998. — №30: pp. 175-81. 10. Viikary M. Modeling spectral sensitivity at low light levels based on mesopic visual performance. / Viikary M., Ekrias A., Eloholma M., Halonen L. // Clinical Ophtalmology. — 2008. - № 2(1).

Поступила в редколлегию 23.01.2012

СОДЕРЖАНИЕ

Ю.В.Доценко, В.Ю.Селиверстов	3
Затвердевание отливок из сплава АК5М при комплексном воздействии на расплав	
Л.Д. Мелконов	8
Износ и стойкость принудительно вращающихся чашечных резцов при обработке валковых калибров	
И.Ш. Невлюдов, И.С. Хатнюк	13
Анализ влияния конструктивно-технологических факторов на кинетику формирования сварного микросоединения	
Л.И. Нефёдов, Ю.А. Петренко, А.С. Кононыхин	18
Оценка качества среды функционирования проектного офиса в условиях высокой неопределенности информации	
Л.І. Нефьодов, Д.О. Маркозов	27
Математична модель прогнозування попиту на товари	
К. В.Власенко, О. О. Чумак	38
Математичне моделювання майбутніми інженерами в ході навчання теорії ймовірності та теорії випадкових процесів	
О.Г. Кисельова	43
Кластерний аналіз нелінійних характеристик серцевого ритму	
Н.У. Гюлев	52
Особенности изменения функционального состояния водителя грузового автомобиля	
В.В. Рапин, А.И.Федюшин	55
Математическая модель синхронизированного автогенератора	
М.А. Нефьодов, Н.В. Птиця	60
До проблеми методики розрахунку вартості години вільного часу	
А.Н. Горяинов	64
Определение эффективности систем диагностирования в теории транспортной диагностики	
Г. Д. Коваленко, А. В.Хабарова	71
Комплексный подход к оценке экологического риска для здоровья населения при воздействии выбросов опливо-энергетического комплекса Украины	
В.В. Березуцкий, Н.Л. Березуцкая	80
Исследование влияния электрокинетического потенциала частиц на процессы электроокисления	
М.Д. Гомеля, О.В. Голтвяницька, Т.О. Шаблій	84
Оцінка ефективності аніонітів в маловідходних процесах очищення води від нітратів	

Н.А. Букатенко	90
Исследования физико-химических методов очистки моющих растворов после мойки автомобилей	
Л.М. Кузнецова, П.Ф. Петік, І.М. Демидов, В.Ю. Папченко	100
Дослідження фракціонування пальмової олії	
Д.О. Лазненко, С.В. Сидоренко, С.О. Конєв	104
Новий підхід до підвищення ефективності масовіддачі в роторному масообмінному апараті	
В. А. Юрченко, А. Ю. Бахарева	108
Двухсекционный биореактор с омываемым слоем для биологической детоксикации метана и сопутствующих ему веществ (H_2S , SO_2 и NH_3) в газообразных выбросах из канализационных сетей г. Харькова и его эксплуатация	
Е.Ю. Федоренко	113
Теоретичні принципи отримання щільноспеченої кераміки за умов енергоощадної термообробки	
О.В. Жулінська	118
Застосування нових видів сировини у функціональних продуктах харчування	
Н.П. Кунденко	122
Расчет эффективного коэффициента вязкости крио–консервирующей среды с биологическими объектами	
О.Г. Биковський, М.І. Лазуткін	128
Охорона праці при виробництві конструкцій з кольорових металів і сплавів	
В.Н.Чернета	136
Как обучаем – так и действуем! (формирование практических навыков БЖД в процессе обучения)	
А. В. Козак	144
Влияние температурных параметров диода на энергетические характеристики импульсного диодного генератора	
В. А. Потапов, М. М. Цуркан	148
Определение оптимальной высоты функциональной емкости СВЧ-сушилки	
Ю.М. Терещенко, І.О. Ластівка	152
Вплив пасивного управління обтіканням у дворядних компресорних решітках на основні показники їх роботи	
З.Я. Монастирський, С.С. Овчинников, О.О.Сіробаба	161
Порівняльний аналіз ефективності розрядних світлодіодних джерел світла в установках зовнішнього освітлення	

Наукове видання

**ВІСНИК НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ "ХПІ"**

Збірник наукових праць

Тематичний випуск

"Нові рішення в сучасних технологіях"

Випуск №1

Науковий редактор докт. техн. наук, проф. Є. І. Сокол

Технічний редактор Т.Л. Коворотний

Відповідальний за випуск канд. техн. наук І. Б. Обухова

Обл.-вид. №12-12

Підписано до друку 07.02.2012. Формат 60x84/16. Надруковано на різнографі
Gestetner 6123CP. Ум.-друк. арк. 9,4. Облік.вид.арк. 10,0.
Наклад 300 прим. 1-й завод 1-100. Зам. № . Ціна договірна

Видавничий центр НТУ «ХПІ»

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК33657 від 24.12.2009р.
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Типографія "Технологічний центр"
вул. Новгородська, 3а, м. Харків, 61145