

ВЕСТНИК
НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА "ХПИ"

ISSN 2079-5459

Сборник научных трудов

33'2011

*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.

Л.М. Бесов, 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» -
2011. - №33. - 156с.

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 № 8 від 02.09.2011

ISSN 2079-5459

Національний технічний університет „ХПІ" 2011

УДК 628

А. Ю. БАХАРЕВА, канд. техн. наук, ст. преп. НТУ «ХПИ», Харьков

ГАЗООБРАЗНЫЕ ВЫБРОСЫ МЕТАНА – ИХ ИСТОЧНИКИ И ЭКОЛОГО-ТОКСИКОЛОГИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ

Описана эколого-токсикологическая опасность газообразных выбросов метана и их источники попадания в атмосферу.

Наведено опис еколого-токсикологічної небезпеки газоподібних викидів метану та їх джерела надходження в атмосферу.

Ecological-toxicologic danger of methane gasiform throw outs and their sources of entrance to atmosphere have been described.

Метан попадает в атмосферный воздух от 3-х основных источников – в результате природных процессов, от стационарных и подвижных источников (рис. 1).

К стационарным источникам выбросов метана в атмосферный воздух относятся коксохимические производства, нефте- и газоперерабатывающие заводы, процессы органического синтеза, производства ацетилена, формальдегида, аммиака, синильной кислоты, водорода, осветительных приборов [1], газовые и нефтяные скважины, каменноугольные шахты.

Воздух загрязняется метаном в бункерах при транспортировке угля, он накапливается в трюмах пароходов. Возможны утечки с метановозов, предназначенных для транспортировки морем сжиженного природного газа. Кроме того, метан, как и другие гнилостные газы, содержится в газообразных выбросах канализационных сетей. Метан также выделяется из некоторых полимерных материалов при термоокислительной деструкции. Вследствие



Рис. 1. Основные источники газообразных выбросов метана и опасность его воздействия на человека

активной угледобычи, метан является преобладающим веществом в газообразных выбросах Донецкой области [2].

Метан входит в состав выхлопных газов автотранспорта (подвижные источники выбросов метана в атмосферный воздух) [3]. В табл. 1. приведена структура выбросов метана и других вредных веществ в атмосферу в 2005 году по Донецкой области и по Украине [1].

Из данных табл. 1 видно, что доля выбросов метана Донецкой областью от общеукраинских составляет 60,62 %, что больше, чем доля других выбросов. Причем основные выбросы метана в Донецкой области наблюдаются в г. Донецке (28,5%) [1].

Газообразные выбросы из канализационных сетей создают экологическую напряженность в прилегающих городских регионах, поскольку концентрация в них ряда соединений, в том числе и метана, в несколько раз превышает ПДК [4, 5-8].

Таблица 1. Структура выбросов вредных веществ в атмосферу в 2005 году [1]

Наименование загрязняющего вещества	Объемы выбросов Донецкой области, тыс. т	Объемы выбросов вредных по Украине, тыс. т	Доля выбросов Донецкой области от общеукраинских, %
Все загрязняющие вещества, в т.ч.	1638,1	4449,3	36,82
металлы и их соединения	24,4	50,2	48,61
метан	492,7	812,8	60,62
неметановые летучие органические соединения	4,5	90,8	4,96
оксид углерода	457,9	1320,3	34,68
диоксид и другие соединения серы	348,1	1129,5	30,82
соединения азота	89,4	343,5	26,03
вещества в виде суспензированных частиц	220,1	697,6	31,55
другие	1	4,6	21,74

В результате контроля канализационной сети г. Харькова выявлены превышения концентрациями метана ПДК_{р.з.} [8]. Из 40 исследованных точек, в 16 отмечено превышение ПДК_{р.з.} по метану, причем, в 4 точках концентрация метана превысила ПДК_{р.з.} в 3 раза, т.е. составила 6 об. %.

Таблица 2. Химические соединения в газообразных выбросах из канализационных сетей г. Харькова и их происхождение [4, 5-8].

Циклы элементов	Соединения	Концентрация в газообразных выбросах	ПДК	Кратность превышения ПДК	Микробиологические процессы, образующие соединения
Углерода	CO ₂ , об. %	0,1-3,5	0,5*	До 7	Минерализация
	CO, мг/м ³	0-258	20*	До 1,4	-
	CH ₄ , об. %	0,2-6,0	2*	До 3	Метаногенез
Серы	H ₂ S, мг/м ³	0-60	10*	До 6	Сульфатредукция, гниение
	SO ₂ , мг/м ³	5-30	20*	До 3	Химическое окисление ДМС и H ₂ S
	ДМС, мг/м ³	(1-4)·10 ⁻⁴	9·10 ^{-6**}	До 10 ²	Гниение
Азота	NH ₃ , мг/м ³	0-5,0	20*	-	Аммонификация
	NO _x , мг/м ³	0-5,0	5*	-	Денитрификация

* – ПДК в рабочей зоне; ** – ПДК населенных мест

Третьим источником выбросов метана являются природные процессы. Выделение метана в атмосферу происходит благодаря деятельности анаэробных бактерий, являющихся конечным звеном трофической пищевой цепи, разлагающей сложные органические соединения. В природе известно большое число экосистем с активно протекающим метаногенезом. В богатых органическим материалом донных отложениях рек, озер и на морском шельфе, в переувлажненных почвах тундры и болотах вырабатываются огромные количества метана. Именно эти экосистемы наряду с периодически затопляемые землями, занятыми под выращивание риса, являются крупнейшими источниками биогенного метана атмосферы [9, 10].

Метаногенез не всегда связан с анаэробным разложением органических веществ. Он происходит и в местах геотермического образования CO₂ и H₂, т.е. за счет участия в этом процессе чисто минеральных соединений [11].

Метан относится к веществам 4-го класса опасности. Токсическое действие метана в обычных условиях определяется главным образом недостатком кислорода. Случаи острого отравления человека редки. Накопление метана в воздухе до 25-30%, что соответствует снижению концентрации кислорода с 21 до 15-16%, сопровождается отчетливыми признаками кислородного голодания: учащение пульса, увеличение объема дыхания, ослабление внимания, нарушение координации движений (рис. 1). Внезапные выбросы метана в угольных шахтах приводят к развитию острого кислородного голодания. Острые отравления (рис. 1) характеризуются жалобами на головную боль, головокружение, тошноту, рвоту, общую слабость, боли в области сердца [3].

CH₄, CO₂, оксиды азота и хлорфторуглеводороды препятствуют отдаче земного тепла в космическое пространство, что приводит к повышению температуры на планете [12]. Метан – второй по вкладу в парниковый эффект газ. Для одиночной молекулы его эффект в 20 раз больше, чем у CO₂, благодаря

широкому інфрачервоному спектру. Концентрація CH_4 збільшується в атмосфері со значительно більшим темпом, чем концентрація CO_2 [13].

Метан являється вибугопосним вешеством (рис. 1). При концентрації от 5,3 до 15% в воздухе образует взрывчатую смесь [14]. В районах угольных разработок при перепадах барометрического давления, метан из породы может проникать в жилые и общественные здания, поэтому необходимо проводить контроль за его концентрациями.

Таким образом, основными путями поступления метана в атмосферный воздух являются стационарные и подвижные источники, а также природные процессы. Кроме того, метан имеет общебиосферное экологическое значение – он является одним из газов, которые вносят наиболее значительный вклад в формирование парникового эффекта.

Список літератури: 1. Земля тривоги нашої: Матеріали доповіді про стан навколишнього природного середовища в Донецькій області у 2005 році / [уклад. С.В. Трет'якова]. – Донецьк, 2006. – 108 с. 2. *Сигал И.Я.* Источники выбросов метана в Украине и особенности утилизации биогаза / И.Я. Сигал, Н.А. Гуревич, М.М. Хворов, Э.П. Домбровская // Экотехнологии и ресурсосбережение. – К: НАН Украины. – 2005. – № 3. – С. 33-40. 3. *Иванюк Д.П.* Управління природоохоронною діяльністю / Иванюк Д.П., Шульга І.В. – Навчальний посібник. – К.: Алерта, 2007. – 368с. 4. *Юрченко В.О.* Розвиток науково-технологічних основ експлуатації споруд каналізації в умовах біохімічного окислення неорганічних сполук: Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня док. техн. наук: спец. 05.23.04 «Водопостачання, каналізація, будівельні системи охорони водних ресурсів» / В.О. Юрченко – Харків, 2007. – 36 с. 5. *Юрченко В.А.* Екологічески опасные газообразные соединения в сетях водоотведения / В.А. Юрченко, Е.К. Лобкова, Е.В. Бригада, Е.А. Василенко // Тезиси докладов XVIII научной конференции «Инженерная защита окружающей среды. Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в стройиндустрии», 18-19 сентября 2007 г., Белгород. – Белгород: БГТУ им. Шухова, 2007. – С. 240-244. 6. *Дрозд Г.Я.* Повышение эксплуатационной долговечности и экологической безопасности канализационных сетей: Дис... док. техн. наук: 21.00.08 / Дрозд Геннадий Яковлевич. – Макеевка, 1998. – 320 с. 7. Полимерные отходы в коммунальном хозяйстве города / Коллектив авторов. – Учебное пособие. – Харьков: ХНАГХ, 2004. – 375 с. 8. *Гончаренко Д.Ф.* Ремонт и восстановление канализационных сетей и сооружений: монография / Гончаренко Д.Ф., Коринько И.В. – Харьков: Рубікон, 1999. – 368 с. 9. *Бойденко С.Г.* Сучасна динаміка відносного вмісту метану в атмосфері та його антропогенних викидів в Україні / С.Г. Бойденко, В.М. Волошук, Р. Я. Белевцев, Н.М. Сердюченко // Збірник наукових статей «Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення». – Харків: УкрНДІЕП. – 2008. – Том 2. – С. 282-288. 10. *Исидоров В.А.* Органическая химия атмосферы / Исидоров В.А. – М.: Химия, 1992. – 264 с. 11. Биология метанобразующих и метанооксиляющих микроорганизмов / *Малашенко Ю.Р., Хайер Ю., Бергер У.* и др. – К: Наукова думка, 1993. – 255 с. 12. *Медоуз Д.Х.* За пределами роста / Медоуз Д.Х., Медоуз Д.Л., Рандерс Й. – Учебное пособие. – М.: Пангея, 1994. – 207 с. 13. *Крылов Г.В.* Роль природных и техногенных эмиссий газов в формировании парникового эффекта / Г.В. Крылов, Е.Е. Подборный, С.Т. Фомина // Экология в газовой промышленности (Приложение к журналу «Газовая промышленность»). – М.: «Газопресс». – 1998. – № 2. – С. 20-23. 14. *Мякенький В.И.* Микробиологическое окисление метана угольных шахт / Мякенький В.И., Курдиш И.К. – К : Наук. думка, 1991. – 148 с.

Поступила в редколлегию 27.05.2011

А.Г.КИРИЧЕНКО, асс., ЗГИА, Запорожье

Ю.П.НАСЕКАН, канд.техн.наук, доц., зав.сектором, ЗГИА, Запорожье

Н.Ф.КОЛЕСНИК, докт.техн.наук, проф, ЗГИА, Запорожье

ВЛИЯНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА КРАСНОГО ШЛАМА НА КИНЕТИКУ НАУГЛЕРОЖИВАНИЯ

Исследован процесс науглероживания железа СО-содержащими газами с применением в качестве катализаторобразующих материалов красных шламов. Установлено влияние размера частиц красного шлама на кинетику процесса распада СО.

Ключевые слова: науглероживание, красный шлам, монооксид углерода

Досліджено процес науглецювання заліза СО-вмісними газами феросплавних печей з застосуванням у якості катализаторутворюючих матеріалів червоних шламів. Встановлено вплив розміру частинок червоного шламу на кінетику процесу розпаду СО.

Ключові слова: науглецювання, червоний шлам, монооксид вуглецю

The process of iron carburization using CO-containing gas as a catalyst red mud is investigated. The effect of particle size on the kinetics of red mud of the decay of the CO.

Key words: carburization, red mud, carbon monoxide

Введение

Проблема утилизации красного шлама (КШ) с каждым годом становится более значимой ввиду постоянного увеличения объема шламовых отложений. В шламонакопителях Николаевского глиноземного завода (ОАО «НГЗ») складировано более 40 млн. т. красного шлама. Шламохранилище уже близко к наполнению и проблема вторичного использования шлама стоит очень остро. На сколько остро стоит проблема утилизации красных шламов можно судить на примере Запорожского алюминиевого комбината (ОАО «ЗАЛК»). Так, количество красного шлама превысило 7 млн. т и шламохранилище этого предприятия заполнено практически целиком.

В рамках данной работы нами предложена принципиально новая технология переработки красных шламов, а именно, КШ глиноземного производства по своим свойствам могут быть использованы для успешного проведения реакции термokatалитического распада монооксида углерода с целью получения металлоуглеродных продуктов различной морфологии с широким спектром применения. В качестве реакционных углеродсодержащих газов предлагается использовать богатые монооксидом углерода отходящие газы ферросплавных печей.

Анализ практических данных и достижений

В работах [1,2] были проведены исследования использования сухого осадка красного шлама и ферросплавных газов для получения сажистого железа и металлоуглеродных композиций.

Сухой осадок красного шлама является мелкодисперсным порошком. Гранулометрический состав и удельная поверхность его зависят от четырех

основных факторов: тонкости помола боксита; химического диспергирования его долей в процессе автоклавного выщелачивания; размера частиц, которые при этом образуются; агрегации частиц шлама в процессе отмывания и сгущение под влиянием коагулянтов и флокулянтов. Фазовый и минеральный состав КШ определяют его гранулометрические характеристики [3].

Боксит, который перерабатывает НГЗ, состоит из гидроксидов алюминия (гипсидит, бемит, аморфные гидроксиды алюминия) и железа (гетит, алюмогетит, гематит, дисперсный гематит), второстепенных и аксессуарных минералов (каолинит, кварц, кальцит, сидерит, рутил, анатаз, пирит и др.). Технологическая схема переработки боксита включает измельчение его в шаровых мельницах в присутствии концентрированного щелочного раствора с добавлением гидроксида кальция в виде известкового молока. Полученную пульпу перекачивают на дальнейшую переработку. Выщелачивание алюминия из боксита осуществляется в автоклавах с механическим перемешиванием. Пульпу после сепарации направляют к аппаратам сгущения и промывки, где алюминатный раствор отделяется от шлама. Последний после шестикратного промывания попадает в шламохранилище. В щелочно-алюминатный раствор алюминий попадает в виде раствора алюминатов, но часть металла соединяется с растворенным в щелочах кремнеземом и создает нерастворимый в щелочах гидроалюмосиликат натрия, который переходит в шлам. Минералы титана, железа и циркония химически инертны в этих условиях и, соответственно, также попадают в шлам. Кальцит частично изменяется и переходит в шлам [3].

Железосодержащие минералы боксита представлены магнетитом, гетитом, дисперсным гетитом, гематитом, дисперсным гематитом и алюмоферритами различного состава. Преобладает гетит дисперсногематитовая составляющая. В процессе получения алюминатного раствора оксиды железа попадают в шлам. Подобно ведут себя рутил и анатаз. Галлий и скандий, входящие в состав оксидов алюминия, попадают, в основном, в алюминатный раствор. Золото боксита в процессе переработки попадает в красный шлам, поэтому его содержание в отходах выше по сравнению с бокситом [4]. В зависимости от качества боксита и особенностей его переработки красный шлам содержит (масс.%): 40-55 Fe₂O₃, 14-18 Al₂O₃, 5-10 CaO, 5-10 SiO₂, 4-6 TiO₂, 2-4 Na₂O. Содержание элементов-примесей следующее (г/т): 5 Cu, 10 Be, 50 B, 4 S, 0,2 Co, 30 Ga, 30 Sc, 20 La, 30 Ce, 20 Mo, 80 Y, 20 Ni [5].

Формулировка цели

Целью настоящего исследования являлось определение гранулометрического состава красного шлама и его влияние на процесс распада монооксида углерода.

Методика исследований

Для рассмотрения этого вопроса использовали сухой осадок красного шлама ОАО «Запорожский алюминиевый комбинат» (ЗАЛК). Красный шлам был отобран в виде суспензии с отношением Ж : Т = 3 : 1 в отделении сгущения. Химический состав КШ следующий (% мас.): SiO₂ - 7,12; Fe₂O₃ - 49,20; Al₂O₃ - 16,42; TiO₂ - 5,60; CaO - 9,62; Na₂O - 3,78.

Для определения гранулометрического состава шлам кипятили 1 ч в дистиллированной воде с добавлением антикоагулянта, чтобы добиться полного

разрушения агрегатов. Для анализа использовали промывку дистиллированной водой и лазерное измерение размера частиц, которое выполнялось на одном из самых современных аппаратов - MALVERN MASTERSIZER 2000, с помощью которого можно выполнить анализ начиная от 0,02 до 2000 мкм.

Исходный материал подвергли термической обработке на воздухе в течение 0,5 часа при температуре 600⁰С, после чего произвели гранулометрический анализ.

Результаты и обсуждение

Данные гранулометрического состава КШ приведены на рис. 1.

Красные шламы НГЗ и ЗАлКа – пылевидные и глинистые частицы, склонные к агрегированию, поэтому реальный дисперсный состав и кажущийся агрегатный состав могут отличаться.

Плотность красного шлама около 3000 кг/м³. В практике переработки большинства разновидностей боксита по способу Байера его измельчают до крупности -0,063 мм (60-80% фракций).

Минеральный состав различных гранулометрических фракций шлама отличается.

Крупные фракции дисперсного шлама ЗАлКа (1000-50 мкм) представлены в основном кварцевыми и железосодержащими фазами, причем фракция 100-250 мкм состоит из кварца, гематита, кальцита; во фракции 50-100 мкм преобладают гематит, алюмогетит; во фракции 10-50 мкм присутствуют гематит, алюмогематит, алюмогетит, повышается содержание гидрогранатов.

Мелкие фракции (менее 10 мкм) представлены гидроалюмосиликатами (щелочной и алюминатный содалиты, нозеан или канкринит), гидрогранатами, карбонатами, алюмогетитом, дисперсным гематитом, кремнеземом, рутилом. Для мелких фракций преобладающими в составе являются щелочи при незначительном количестве железосодержащих фаз.

В шламе ЗАлК основу составляет гематит с кристаллами 30-40 мкм. По своей структуре эти фракции можно отнести к мелким пескам или крупным пылям. Частицы такой крупности способны к формированию агрегативных комплексов с размером агрегатов 50-120 мкм.

Особенность распределения частиц по крупности в красном шламе дает возможность разделять шламы на гидроциклонах, обогащая песковую фракцию железом, пылеватую кремнеземом и щелочами.

Из-за непостоянной сырьевой базы имеет место колебание состава шлама.

Проверку влияния гранулометрического состава катализаторобразующего материала (сухой осадок красного шлама) на процесс науглероживания в технологической схеме получения металлоуглеродного материала проводили на опытной установке [6].

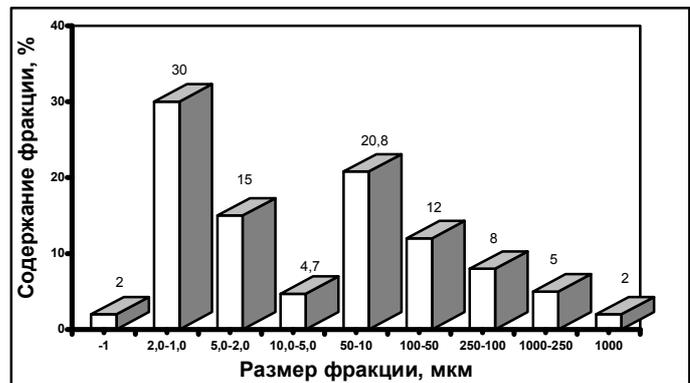


Рис. 1. Гранулометрический состав красного шлама

Для проведения серии экспериментов по науглероживанию готовили реакционный газ, который во всех опытах содержал 99,7% CO и 0,3% N₂, содержание H₂ не контролировалось. Навеска шлама во всех опытах составляла $3 \cdot 10^{-4}$ кг.

Для использования красного шлама в качестве сырья проводили гидроциклонную сепарацию суспензии. Затем осуществляли фильтрование отдельных фракций с последующим обезвоживанием на вакуумном фильтре, после чего подвергали сушке на воздухе при температуре 130 °С до остаточного содержания влаги не более 20 %. В дальнейшем материал красных шламов измельчали во вращающейся мельнице с одновременным сбором различных фракций. После измельчения материал рассеивали и анализировали.

Взаимодействие оксидов с СО-содержащими газами протекают через ряд последовательных стадий – сначала восстановление до определенной степени металлизации, затем науглероживание. Рентгеноструктурный и химический анализы конечных продуктов науглероживания свидетельствует о наличии в образцах этой серии аморфного углерода, графита, железа и его карбидов Fe₃C, Fe₂C, причем содержание карбидных фаз является преобладающим.

Основным критерием, позволяющим фиксировать скорость процесса науглероживания является количество отложившегося углерода на катализаторе (У, кгС/кгМе). Причем в данном случае нами фиксировалось общее выделение углерода как свободного, так и связанного.

Кинетические закономерности науглероживания различных фракций КШ при нагреве до температуры 560⁰С представлены на рис. 2.

Из рисунка следует, что характер кинетических кривых различных фракций на этапе науглероживания несколько различается. С повышением крупности скорость и полнота науглероживания растет, что связано в первую очередь с

содержанием железосодержащих компонентов в реагирующих фракциях. Как видно, для каждой из фракций КШ восстановление при нагреве до 560⁰С протекает примерно за 20-30 мин. Затем наблюдается достаточно продолжительный индукционный период (50-60 мин.), который связан с окончанием процесса восстановления, зарождением и разрушением карбидных фаз, формированием активного катализатора и началом интенсивного отложения углерода. Некоторые отличия для различных фракций наблюдаются именно на стадии формирования активного катализатора, что связано, по-видимому, с зональностью восстановительного процесса на крупных частицах и проявлением, так называемого, ситового эффекта на мелких фракциях. По окончании индукционного процесса начинается интенсивное увеличение массы образцов за

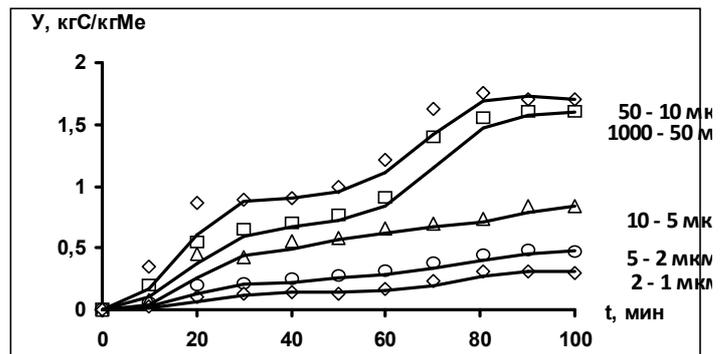


Рис. 2. Кинетика науглероживания различных фракций образцов КШ при 560⁰С газом, содержащим 99,7% CO и 0,3% N₂ (t=170мин., m_{кш}=300·10⁻⁶кг)

счет распада СО и отложения углерода. Выделение свободного углерода начинается после того, как появляется карбидная фаза.

На рис. 3 представлена зависимость количества углерода, отложившегося за 170 мин. опыта при 560⁰С от гранулометрического состава образцов КШ.

Из рис. 3 следует, что оптимальные размеры частиц КШ для получения высоких скоростей науглероживания должны находиться в пределах 10-100 мкм, т.е. именно для той фракции, которая и является основной железосодержащей фракцией КШ.

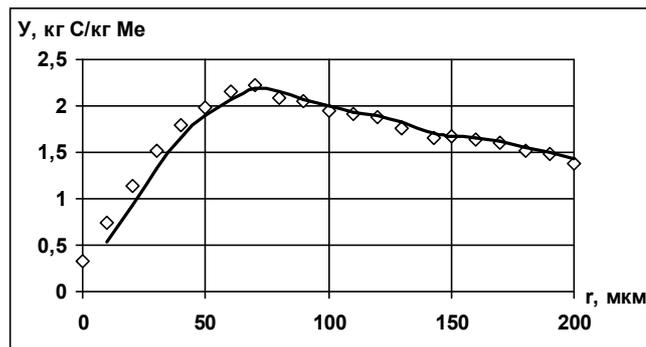


Рис. 3. Влияние размера частиц (r) КШ на количество углерода (У), отложившегося за 170 мин. опыта при 560⁰С

Выводы:

1. Гранулометрический состав красного шлама ЗалКа имеет два четко выраженных максимума (фракции 10-50 мкм и фракции – менее 2,0 мкм) и характеризуется неравномерным химическим составом, определяемым используемой сырьевой базой.

2. Распределение частиц по крупности определяет фазово-минералогический состав шлама. Крупные фракции (песковая) представлены железосодержащими соединениями, мелкие (пылеватые) – щелочами.

3. Отдельные фракции проявляют индивидуальные особенности в отношении реакции распада СО. Для полноценного её осуществления необходимо проводить предварительную подготовку шлама с обогащением железосодержащих фракций методом гидроциклонирования либо магнитной сепарацией.

4. Оптимальные размеры частиц КШ для получения высоких скоростей науглероживания должны находиться в пределах 10-100 мкм.

Список литературы: 1. Колесник Н.Ф. Особенности процесса получения сажистого железа с использованием колошниковых газов металлургических агрегатов [Текст] / Колесник Н.Ф., Приходько Э.В., Ахматов Ю.С., Нестеренко А.М., Пирогова Э.К. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1988. – №2. – С. 8-11. 2. Колесник Н.Ф. Получение дисперсных металлоуглеродных композиций с использованием колошниковых газов закрытых ферросплавных печей [Текст] / Колесник Н.Ф., Соркин Л.П., Прилуцкий О.В. // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 1990. – № 5. – С. 39-41. 3. Корнеев В.И. Красные шламы – свойства, складирование, применение : [учеб.] / Корнеев В.И., Сусс А.Г., Цеховой А.И. – М.: Металлургия, 1991. – 144 с. 4. Добровольская Т.И. Техногенные минералы в глиноземном производстве [Текст] / Техногенные россыпи. Проблемы. Решения. Труды 1-й Международной научно-практической конференции // Симферополь, 2000.– С. 55–59 5. Утков В.А. Промышленные способы переработки красных шламов [Текст] / Утков В.А., Мешин В.В., Ланкин В.П., Тесля В.Г. // Состояние, проблемы и направления использования в народном хозяйстве красного шлама // Николаев, 1999.– С. 11. 6. Колесник Н.Ф. Экспериментальное исследование кинетики взаимодействия оксидов группы железа с СО-содержащими газами [Текст] / Колесник Н.Ф., Кудиевский С.С., Прилуцкий О.В., Амосенок И.И. // Поверхность. Физика, химия, механика. – 1989. – № 6. – С. 139-142.

Поступила в редколлегию 27.06.2011

А.М.КАСИМОВ, докт.техн.наук, проф., зав. лаб., УкрНИИЭП, Харьков,
А. А. КОВАЛЕВ, асп., УкрНИИЭП, Харьков,
И.Н.ГРИЦИНА, канд. техн. наук, доц., Национальный университет
гражданской защиты Украины, Харьков

К ВОПРОСУ КРИСТАЛЛООБРАЗОВАНИЯ В МЕТАЛЛСОДЕРЖАЩИХ РАСТВОРАХ

Предложен новый подход к решению задачи гидролитического выделения соединений ванадия (V^{+5}) из растворов с использованием высокотемпературной паро-жидкостной струи струйного реактора.

Ключевые слова: паро-жидкостная струя, процесс кристаллизации

Запропонований новий підхід до рішення задачі гідролітичного виділення з'єднань ванадію (V^{+5}) з розчинів з використанням високотемпературного паро-рідинного струменю струменевого реактора.

Ключові слова: паро-рідинний струмінь, процес кристалізації

New approach is offered to the decision of task of hydrolysis selection of connections of vanadium (V^{+5}) from solutions with the use of high temperature stream of steam and liquid of stream reactor.

Key words: Stream of steam and liquid, process of crystallization

Авторами разработан и исследован принципиально новый подход к решению задачи кристаллизации (гидролитического выделения) соединений ванадия (V^{+5}) из растворов и получения чистых V-содержащих продуктов с пониженным содержанием примесей. Предложен метод, обеспечивающий максимальное увеличение скорости кристаллизации с обеспечением оптимального тепло-массообмена за счет резкого возрастания поверхности контакта реагирующих фаз.

Для решения этих задач предложено вести кристаллизацию соединений ванадия (V^{+5}) из растворов в высокотемпературной паро-жидкостной струе струйного реактора. Особенность капельной структуры паро-жидкостного потока может проявляться в т. н. концевых эффектах, обусловленных формированием капель при истечении жидкости из диффузора реактора и их дроблением при встрече с сетчатой насадкой, а также во внутрикапельной циркуляции жидкости.

Капли жидкости, попадая в поток газа (пара), первоначально изменяют свою форму от сферической до эллипсоидной с искривленной поверхностью и потом мгновенно (в виде взрыва) дробятся на более мелкие капли (рис. 1). В момент входа жидкости в поток пара происходит удар из-за большой разницы скоростей $V_{п}$ пара и раствора $V_{р}$. Т.к. скорость пара очень велика, можно сравнить это явление с ударом образовавшейся движущейся капли о твердую стенку. При этом масса жидкости внутри капли быстро перераспределяется.

В точке первоначального соприкосновения капли со стенкой реактора возникает ударная волна, направленная по диаметру к противоположной стороне капли. В это же мгновение под действием инерционных сил капля стремится

превратиться в тонкий диск. Поэтому в противоположной стороне (от точки удара) капли появляются значительные растягивающие напряжения, что ведет к локальному снижению статистического давления в этом месте жидкости. В силу быстроты протекания процесса это локальное давление снижается до величины меньшей давления насыщенных паров жидкости в капле. В результате в ней появляется одна или несколько кавитационных полостей.

Относительная скорость капли постепенно снижается и давление в кавитационной полости растет до первоначального давления внутри капли, что ведет к быстрому уменьшению размеров пузырька и его "схлопыванию". При этом возникает ударная волна, направленная к центру пузырька (рис. 1).

Направление движения газового потока

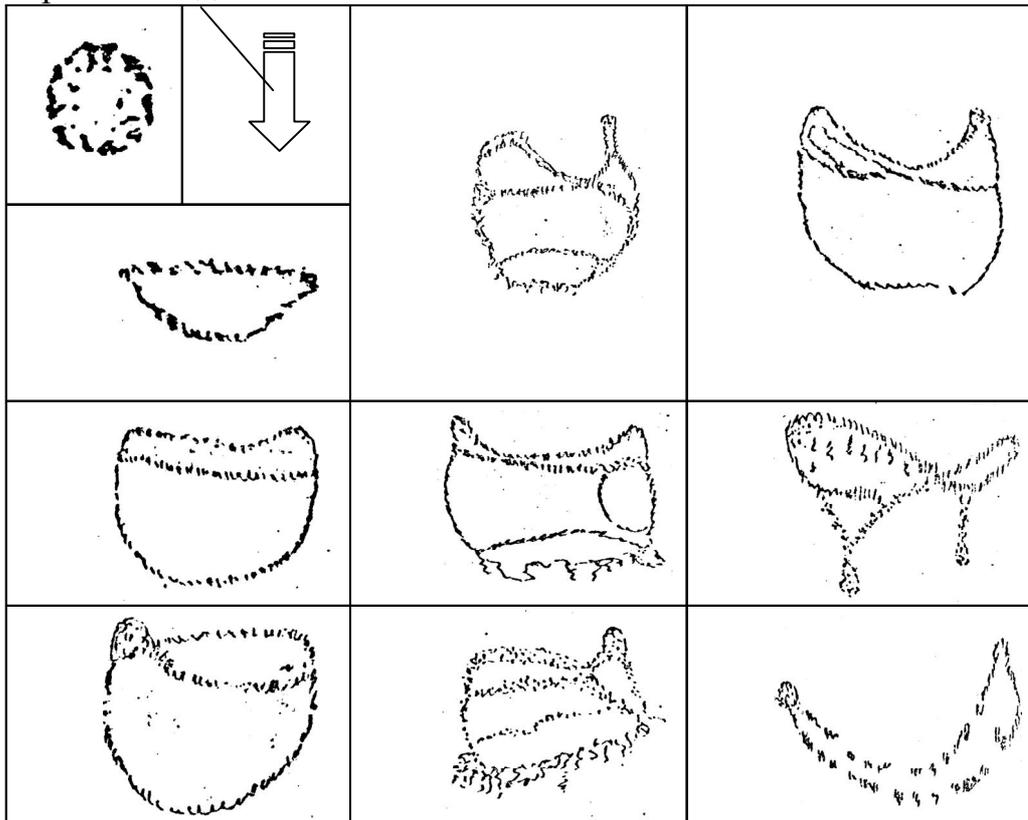


Рис. 1. Движение капли жидкости в момент столкновения с паровым потоком (по материалам скоростной киносъемки разрушения капли диаметром 2,2 мм)

При диспергировании раствора высокотемпературным паром, возникает полидисперсная система капель, движущихся с высокой скоростью в осисимметричном канале и протекает ряд физических, физико-химических и химических процессов: распыление раствора и создание паро-капельной турбулентной струи; тепло-массообмен между паром и каплями; теплообмен между турбулентным парожидкостным потоком, стенками канала и насадками различных конструкций в реакционном объеме; кристаллизация растворенных соединений, гидролитическое выделение малорастворимых осадков и т.п. [1,2].

При наличии в канале местных сопротивлений - сетчатых перегородок происходит интенсификации процесса кристаллизации, связанная с:

- увеличением степени турбулизации потока, что ускоряет теплообмен между паром и жидкой фазой, а также между жидкой и растущей твердой фазой;
- ростом интенсивности процесса вихреобразования в реакционном объеме, возрастает турбулентная составляющая скорости капле в связи с увлечением их газовым (паровым) потоком, что приводит в свою очередь, к росту скорости кристаллизации в результате увеличения относительной скорости движения микророзродышей твердой фазы и омывающей их жидкости.

Процессы происходят в условиях нестационарного тепло-массообмена между фазами и теплообмена системы с поверхностью канала. Одновременно протекает процесс кристаллизации соединений ванадия в каплях, размер и скорость которых не стационарны. Решение первой задачи определяется системой уравнений гидродинамики двухфазной смеси с соответствующими начальными и граничными условиями, дополненными уравнениями тепло-массообмена между фазами и теплообмена между системой и стенкой канала. Результатом решения системы является размер и скорость капли в функции времени (или расстояния от сопла), что и задает внешние условия для второй задачи.

Кинетика процесса кристаллизации осадков из растворов характеризуется в основном двумя величинами: скоростью образования зародышей и скоростью роста кристаллов твердой фазы. Первая из них связана с индукционным периодом кристаллизации. В течение индукционного периода происходит непрерывное возрастание числа центров кристаллизации, достигающее максимума к его окончанию. В дальнейшем происходит, в основном лишь рост зародышей и превращение их в кристаллы без увеличения их количества.

Во время индукционного периода кристаллизации возникает большое количество субмикроскопических зародышей, находящихся в кинетическом равновесии с раствором. Значительное влияние на скорость образования центров кристаллизации оказывает интенсивность перемешивания и другие механические воздействия подобного типа (вибрации, обновление поверхности контакта с другими фазами, кавитационные воздействия) [1-2]. В соответствии с [5] при этом снижается необходимое для начала кристаллизации пересыщение раствора и растет скорость образования зародышей. Внесение в раствор затравки свежесформованного осадка вызывает спонтанную кристаллизацию. Устойчивость гетерогенной системы («пар-раствор-твердая фаза») резко падает и скорость образования зародышей быстро возрастает. Скорость образования устойчивых зародышей по Фольмеру и Чепелевскому [3-4]:

$$I = K_e \frac{A}{KT} \quad \text{или} \quad I = K_e \frac{\alpha}{T^3 \ln \frac{C}{C_0}}, \quad (1)$$

где: А - работа образования зародыша; К - постоянная Больцмана, α - коэффициент учета соотношения поверхности и формы зародыша; Т - температура процесса, К_е - коэффициент пропорциональности; С - средняя концентрация выделяемого элемента в растворе; С₀ - концентрация выделяемого элемента на поверхности растущего кристалла.

Из данных зависимостей ясно, что рост температуры резко увеличивает скорость образования зародышей в результате уменьшения их критического размера, значительно сокращается индукционный период кристаллизации твердой фазы, снижается поверхностное натяжение между раствором и зародышем и уменьшается работа, необходимая на его образование [5-7].

Согласно классической диффузионной теории роста кристаллов, процессы на границе раздела фаз протекают очень быстро, а скорость гетерогенных процессов лимитируется только диффузией. Поверхность кристалла покрыта тонким слоем малоподвижного раствора, в котором концентрация C падает со средней в растворе до концентрации насыщения C_0 на поверхности кристалла. Этот слой толщиной δ создает основное сопротивление для диффузионного перехода вещества из раствора на поверхность растущего кристалла. Скорость отложения вещества на гранях кристалла [9]:

$$\frac{dq}{d\tau} = \frac{U}{\delta} F_{TB} (C - C_0) = \beta F_{TB} (C - C_0), \quad (2)$$

где: dq - количество вещества, перешедшего из раствора на поверхность кристалла за время τ ; F_{TB} - поверхность растущего кристалла; U - коэффициент диффузии; β - коэффициент массопередачи.

Молекулярно-кинетическая теория Коссея-Странского-Каишева [10] описывает "блоковый" механизм образования устойчивых зародышей за счет срастания квазикристаллических образований. Одно- и двухмерные "блоки" ионов срастаются в трехмерные образования и после достижения критического размера частица растет за счет молекулярной диффузии. Первым этапом возникновения устойчивого зародыша является образование гелеподобной частицы критического или несколько большего размера, затем происходит упорядочивание ее структуры.

Вблизи поверхности зародыша появляются участки с неким пересыщением, что ведет к образованию двумерных зародышей. В ионных кристаллах они легко возникают в углах граней, труднее на ребрах и менее вероятно - в центре граней. Дальнейший их рост происходит присоединением к ним цепочек одномерных зародышей. Согласно [6-8] при росте реального кристалла образуются дислокации, т.е. искажения кристаллической решетки, и на поверхности граней появляются ступеньки, имеющие размеры от молекулярных до микроскопических. Дефекты возникают в результате колебаний температуры, наличия примесей, изломов кристаллов при соударениях, истирании в движении.

В ограниченном числе работ по кинетике гидролитического выделения ванадия из растворов имеются лишь отрывочные сведения о влиянии на процесс кислотности среды и концентрации ванадия в растворе. Каждый из параметров оценивался отдельно от остальных факторов, что не позволяло комплексно оценить влияние всех переменных на полноту процесса.

В настоящее время нет общепринятой теории, объясняющей влияние движения среды относительно кристалла на его развитие и рост. В микрогетерогенных системах - пересыщенных растворах, даже слабое движение жидкой фазы позволяет неустойчивым субмикророзародышам получить скорости инерционно отличные от скорости раствора и тем самым ускорить свой рост до

устойчивых зародышей. Это может происходить и за счет столкновений микрзародышей и за счет их выброса из холодных зон в более горячие и богатые кристаллизантом области раствора. Естественно, что в дисперсной струе капле описанные процессы протекают с гораздо большей интенсивностью.[6-11]

Особо сильное влияние на процесс кристаллизации оказывает движение в каплях кристаллов твердой фазы или обтекание кристаллов раствором (что равнозначно). Свежееобразованные частицы при дроблении и слиянии капле приобретают в турбулентном дисперсном потоке хаотическое движение и могут перемещаться внутри капле под действием инерционных сил и вихря Хилла в каждой капле и т.д. [12-15].

В результате взаимного движения кристалла и раствора разрушается слой упорядоченных ионов с их гидратными оболочками, создающими вокруг растущего кристалла несколько ионных слоев. Разрушение упорядоченного ионного слоя ведет к быстрому образованию новых зародышей и превращению зародышей в устойчивые кристаллы. «Смывая» промежуточный слой и восстанавливая максимальную разность концентраций кристаллизанта ($C-C_0$), интенсивное перемешивание веществ в капле обеспечивает быстрый рост выделяемых кристаллов.

Следовательно, предложенный процесс гидролиза V-содержащих растворов в дисперсной струе оказывает влияние на жидкую и твердую фазы. При этом кинетика роста кристаллов V_2O_5 определяется скоростью процесса диффузии растворенного вещества к поверхности кристалла и лишь частично зависит от кристаллической стадии. Образующиеся в потоке дисперсных капле турбулентные вихри и участки пульсирующих скоростей обеспечивают возможность выброса мельчайших "дозародышей" в зоны, богатые ионами ванадия и имеющие более высокую температуру. В [13-15] при исследовании кинетики роста кристаллов в растворах выведено соотношение

$$\frac{1}{W} = \frac{1}{W_0 + a_1 V_{TB}} + \frac{1}{W_{II}}, \quad (3)$$

где: W - линейная скорость роста кристалла; W_0 - скорость роста при отсутствии размешивания раствора; W_{II} - скорость поверхностной реакции; V_{TB} - скорость движения раствора относительно поверхности зародыша; a_1 - постоянная.

Полученное уравнение показывает, что процесс роста кристалла состоит из стадий подвода вещества из объема раствора к поверхности частицы со скоростью $W_0 + a_1 V_{TB}$ и перехода вещества в кристаллическую решетку частицы со скоростью W_{II} . Первый член правой части включает перенос вещества диффузией и потоком массы $a_1 V_{TB}$. Интерес представляет количественное определение скоростей обтекания частиц раствором в каплях, образующихся при его диспергировании паром. При $V_{TB} = 0$, $W_{II} \rightarrow \infty$ и $W = W_0$ т.е. скорость роста кристалла зависит лишь от скорости молекулярной диффузии.

При $V_{TB} \rightarrow \infty$ следует что $W = W_0$ т.е. скорость роста кристалла определяется скоростью кристаллохимической стадии.

Для рассматриваемого процесса необходимо определить характеристики тепло- массообмена для системы пар-жидкость и жидкость-твердая фаза. В

основе первой части расчета лежит задача о обмене между группой капель и несущим паровым потоком. Вопрос о тепло- массообмене при групповом движении капель, с учетом их взаимного влияния не рассматривался, хотя эти явления вносят существенные изменения в интенсивность процессов тепло- массообмена. Физическую картину описываемого процесса можно представить следующим образом. Через объем между сетчатыми насадками, аналогичный проницаемому пористому слою, проходит с определенной скоростью пар, содержащий систему капель обрабатываемого раствора. Капли, встречаясь с сеткой, проникают в переднюю область межсетчатого слоя и постепенно замедляют движение. В результате действия сил вязкости вблизи каждой сетки происходит насыщение пространства каплями.

Удельное насыщение парового потока жидкостью и поверхность контакта жидкости с ним существенно увеличиваются, хотя общий расход раствора сохраняется. Скорость перемещения капель в зоне сетчатых перегородок значительно ниже скорости пара. Следовательно, капельный слой в зоне перегородок можно считать неподвижным по отношению к паровому потоку. В объеме пористого слоя происходит фильтрация пара через капельную среду, причем неизвестны гранулометрический состав капель и местная скорость обтекания паром отдельной капли. Расчет теплообмена между паром и жидкостью в данном случае сводится к определению этих величин.

Рассмотрим уравнение фильтрации газа через пористый слой:

$$\begin{aligned} \frac{m}{g} \frac{d}{d\tau} \left(\frac{V_x}{m} \right) + \frac{dh}{dx} + \frac{V_x}{f} &= 0 \\ \frac{m}{g} \frac{d}{d\tau} \left(\frac{V_y}{m} \right) + \frac{dh}{dy} + \frac{V_y}{f} &= 0 \\ \frac{m}{g} \frac{d}{d\tau} \left(\frac{V_z}{m} \right) + \frac{dh}{dz} + \frac{V_z}{f} &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

и уравнение неразрывности:

$$\frac{d(m\gamma)}{d\tau} + \text{div}(\gamma\vec{V}) = 0 \quad (5)$$

где: V_x, V_y, V_z - скорость капли вдоль соответствующих осей координат в трёхмерной системе, m - пористость капельного слоя; g – ускорение свободного падения

В отличие от обычных уравнений фильтрации [10-12] в систему уравнений (4-5) введена функция фильтрации $f = f(\tau, x)$ и переменная по времени и координате функция пористости m . В системе уравнений (4) оставлены конвективные члены, которые при работе сетчатого слоя с высокими скоростями паровой фазы могут быть соизмеримы по величине с остальными членами уравнений и пренебрежение ими нуждается в проверке. Для анализа фильтрации независимо от рода газовой фазы, вводится функция проницаемости φ , связанная с функцией фильтрации соотношением:

$$\varphi = \frac{\mu}{\gamma} f \quad (6)$$

где: μ – вязкость жидкой фазы; γ – плотность жидкой фазы
Вместо напора h вводится величина давления газового потока:

$$P = \gamma h \quad (7)$$

Функция проницаемости через пористость выразится:

$$\varphi = A_1 m d_{\text{э}}^2 \quad (8)$$

где: $d_{\text{э}}$ – эквивалентный диаметр капли

Решим каждое уравнение системы относительно скорости для начального момента времени, когда еще величины f и h во времени незначительны и можно выполнить интегрирование:

$$\begin{aligned} V_x &= m \left[-\frac{f}{m} \frac{dh}{dx} + \frac{V_{ox}}{dx} + \left(\frac{f}{m} \frac{dh}{dx} + \frac{V_{ox}}{m_o} \right) \exp\left(-\frac{g}{f} \tau\right) \right] \\ V_y &= m \left[-\frac{f}{m} \frac{dh}{dy} + \frac{V_{oy}}{dy} + \left(\frac{f}{m} \frac{dh}{dy} + \frac{V_{oy}}{m_o} \right) \exp\left(-\frac{g}{f} t\right) \right] \\ V_z &= m \left[-\frac{f}{m} \frac{dh}{dz} + \frac{V_{oz}}{dz} + \left(\frac{f}{m} \frac{dh}{dz} + \frac{V_{oz}}{m_o} \right) \exp\left(-\frac{g}{f} t\right) \right] \end{aligned} \quad (9)$$

Подставим значение скоростей из (9) в (5) и, предварительно опустив конвективные составляющие ускорения от массовых сил, для одномерного течения с учетом (8) и уравнения состояния $P = \gamma RT$ получим:

$$\frac{d}{dt}(mP) - \frac{d}{dx} \left(\frac{A_1 d_{\text{э}}^2}{\mu} mP \frac{dP}{dx} \right) = 0 \quad (10)$$

Для установившегося процесса фильтрации с граничными условиями: $P = P_0$ при $x = 0$ и $P = P_1$ при $x = L$ и полагая, что:

$$m = m_o \exp \delta \frac{x}{L}, \quad x \leq L \quad (11)$$

интегрируем уравнение (11) и получим:

$$P = \sqrt{P_0^2} - \frac{P_0^2 - P_1^2}{1 - \exp(-\delta)} \left(1 - \exp\left(-\delta \frac{x}{L}\right) \right) \quad (12)$$

Затем, используя первое уравнение из системы (9), найдем скорость обтекания паром капли при стационарном процессе:

$$V_x = -\frac{A_1 m_o d_{\text{э}}^2}{2\mu} \cdot \frac{\frac{\delta}{L} (P_0^2 - P_1^2) \exp\left(-2\delta \frac{x}{L}\right)}{\sqrt{P_0^2} - \frac{(P_0^2 - P_1^2) \left[1 - \exp\left(-\delta \frac{x}{L}\right) \right]}{1 - \exp(-\delta)}} \quad (13)$$

С большой степенью точности поведение системы можно характеризовать одной каплей эквивалентного диаметра, учитывая соответствующим образом влияние окружающих капель. Это влияние сказывается в том, что скорость обтекания отдельной капли паровым потоком при групповом полете будет иной, чем при ее одиночном полете, причем от этой скорости зависит и размер одной капли. Распространенным выражением для определения эквивалентного диаметра капли, образующейся при дроблении жидкости газом, является:

$$d_3 = \sqrt{d_{\max} \cdot d_{\min}} \exp \left[\frac{1}{2} \left(\frac{1}{6} \ln \frac{d_{\max}}{d_{\min}} \right)^2 \right] \quad (14)$$

При этом в соответствии с [13-15]:

$$d_{\max} = \frac{4980}{V_{\text{расх}}} + 27m^{1,5} \quad (15)$$

минимальный диаметр капли следует принимать на два порядка меньше максимального.

Рассмотрим каплю раствора радиуса R_k , обтекаемую газовым потоком, попадающую в среду, где температура и концентрация растворенного вещества (изополиванадатов) изменяются скачкообразно в определенный момент времени на конкретную величину. Задача состоит в исследовании температурных перепадов и полей концентраций внутри капли и вне ее. Пористость капельного слоя m непосредственно связана с эквивалентным диаметром капель и их количеством n в слое соотношением:

$$m = \frac{V_r - (V_{\text{жс}} + V_c)}{V_r} = 1 - \frac{\pi d_3^2 n + 6V_c}{6V_r} = A_2 - A_3 d_3^2 n \quad , \quad (16)$$

где $A_2 = 1 - \frac{V_c}{V_r}$; $A_3 = \frac{\pi}{6V_r}$

При установившемся режиме движения парожидкостной смеси в капельном слое система уравнений (11-13) при заданном перепаде давления позволяет определить удельное орошение в любом сечении, эквивалентный диаметр капли в этом сечении и местную скорость обтекания капли паровым потоком. Знание этих величин достаточно для определения коэффициента теплопередачи в системе, межфазовой поверхности и аналитического расчета процесса теплообмена. Измерение перепадов давления экспериментально необходимо для определения величин A_1 , и δ , которые зависят от конструкции аппарата. Построение замкнутой системы уравнений для определения искомых величин потребовало введения ряда допущений и коэффициентов, которые определяются только экспериментально.

Порядок выполнения работы следующий. Измеряли по толщине капельного слоя перепады давления при работе реактора и по (13) определяли коэффициент δ . Зная коэффициент δ и расход пара на единицу площади поперечного сечения аппарата, количество жидкости в паровом потоке и ее физические свойства, по (14) и (15) с учетом замечаний относительно d_{\min} , находили d_3 капли. Далее по (13) подсчитывали коэффициент A_1 , (зная что $V_{X=L} = V_{\text{расх}}$). Т.о. искомые величины - эквивалентный диаметр капли, скорость внешнего для капли парового потока определены в зависимости от заданных параметров - расхода пара и раствора, геометрии установки, пористости системы. Расчеты показывают, что теплообмен в капельно-зернистом слое протекает гораздо интенсивнее, чем в объеме раствора, нагреваемого барботажем острого пара по существующему способу гидролиза и интенсивнее, чем при полете единичной капли в паровом потоке. Последнее явление объясняется возрастанием скорости обтекания капель при их стесненном полете в газовой фазе.

Задача о стационарном тепло- массообмене при стесненном движении системы капля решена нами при следующих допущениях: внутренняя циркуляция жидкости в каплях полностью развита, числа Рейнольдса более 300, внутри капли предполагается наличие торообразного вихря Хилла, наружное течение - безвихревое, толщина пограничных слоев мала, физические характеристики – постоянны.

Полярная система координат (τ, θ) связана с центром капли. Осуществим ее перенос на стенку капли и будем откладывать радиальную составляющую по оси «Y». Переход от радиальной координаты « τ » к координате «Y», лежащей на поверхности капли, осуществляется по правилу: $y = \tau - R_k$ и $\frac{y}{R_k} \ll 1$

Во внешнем течении координата «y» положительна ($y > 0$), во внутреннем – отрицательна ($y < 0$), при этом:

$$\frac{T_1 - T_\infty}{T_0 - T_\infty} = \frac{1}{1 + \beta_1} \operatorname{erfc} \left[\frac{(3PeM_o)^{1/2}}{4} \cdot \frac{\sin^2 \theta}{x^{1/2}} \cdot \frac{-y}{R_k} \right] \quad \text{при } y > 0 \quad (17)$$

$$\beta_1 = \left(\frac{K_\Gamma \cdot C_{p\Gamma} \cdot \rho_\Gamma}{K_{ж} \cdot C_{pж} \cdot \rho_{ж}} \right)^{1/2}, \quad (18)$$

где $K_{\Gamma,ж}$ -коэффициент теплопроводности среды или капли,

$$Pe = \frac{2V_x R_x}{K_2} \quad (19)$$

$$\frac{T_2 - T_\infty}{T_0 - T_\infty} = 1 - \frac{\beta_1}{1 + \beta_1} \operatorname{erfc} \left[\frac{(3PeM_o)^{1/2}}{4} \left(\frac{K_2}{K_{ж}} \right)^{1/2} \cdot \frac{\sin^2 \theta}{x^{1/2}} \cdot \frac{y}{R_k} \right] \quad \text{при } y < 0; \quad (20)$$

Местный тепловой поток к поверхности капли:

$$q = -K_2 \frac{dT_1}{dy} = \frac{K_2 (T_0 - T_\infty)}{2R_k} \cdot \frac{\left(\frac{3}{\pi} PeM_o \right)^{1/2}}{1 + \beta_1} \cdot \frac{\sin^2 \theta}{x^{1/2}} \quad (21)$$

а соответствующее число Нуссельта:

$$Nu = \frac{2qR_k}{(T_0 - T_\infty)K_\Gamma} = \frac{\left(\frac{3}{\pi} Pe \right)^{1/2}}{1 + \mu} \cdot \frac{\sin^2 \theta}{x^{1/2}} \quad (22)$$

Время входит в параметр X, который является функцией величины:

$$Pe\tau = \frac{2V_x R_x}{K_\Gamma} \cdot \frac{K_\Gamma t}{R_\Gamma^2} = \frac{2V_x t}{R_k} \quad (23)$$

При $\frac{2V_x \cdot t}{R_k} = 1$ процесс нестационарного теплообмена заканчивается, т.к. при

изменении Re от 70 до 1100 поток тепла практически не меняется. При $\frac{2V_x \cdot t}{R_k} \rightarrow \infty$

установившийся режим теплообмена определяется выражением:

$$Nu_\infty = \frac{\left(\frac{3}{\sqrt{\pi}} PeM_o \right) \cdot \sin^2 \theta}{(1 + \beta_1) \cdot \left(\frac{2}{3} - \cos \theta + \frac{1}{3} \cos^3 \theta \right)^{1/2}} = \frac{3}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{(PeM_o)}{1 + \beta_1} \cdot \frac{1 + \cos \theta}{(2 + \cos \theta)^{1/2}} \quad (24)$$

Суммарный тепловой поток на каплю равен:

$$Q = 2\pi R_K^2 \int_0^\pi q \sin \theta d\theta = \frac{4\sqrt{\pi} R_K K_\Gamma (T_0 - T_\infty) \cdot (Pe \cdot M_o)^{1/2}}{1 + \beta_1} \cdot I \quad (25)$$

$$I = \int_0^\pi \frac{\sqrt{3}}{4} \frac{\sin^3 \theta d\theta}{\left[(x - \cos \theta) - \frac{1}{3} (x^3 - \cos^3 \theta)^{1/2} \right]}$$

Среднее число Нуссельта выражается:

$$\overline{Nu} = \frac{2R_K Q}{4\pi R^2 (T_0 - T_\infty) K_\Gamma} = \frac{2(Pe \cdot M_o)^{1/2}}{\sqrt{\pi(1 + \beta_1)}} \cdot I \quad (26)$$

При стационарном теплообмене при $J = 1$:

$$\overline{Nu}_\infty = \frac{2(Pe \cdot M_o)^{1/2}}{\sqrt{\pi(1 + \beta_1)}} \cdot I \quad (27)$$

В соответствии с [13-15] для данных условий $M_0 = 1,08$ в то время как при полете одиночной капли $M_0 = 1,0$. Следует также учесть тепло конденсации пара на капле, которое является определяющим для данного процесса. В таблице 1 приведены результаты расчета d_3 , скорости обтекания капель паром V_x при групповом полете, перепада давления P_x и критериев Pe и Nu , характеризующих теплообмен в капельном слое для лабораторного реактора, производительностью 50 л/ч при следующих технологических параметрах процесса гидролитического выделения ванадия (V^{+5}) из растворов:

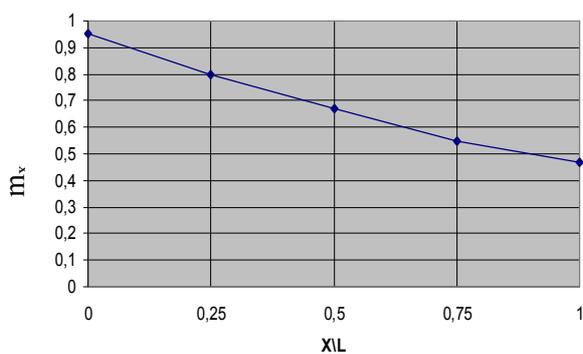
$$P_0 = 1,2 \text{ ати}; P_1 = 1,1 \text{ ати}; P_{x=0,5L} = 1,16 \text{ ати}; \rho_2 = 0,123 \frac{\text{кг} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^4}; \rho_{ж} = 104,5 \frac{\text{кг} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^4};$$

$$T_{\text{нач}} = 40 \text{ }^\circ\text{C}; T_{\text{кон}} = 105 \text{ }^\circ\text{C}; L = 150 \text{ мм}; \delta = -0,72434; A_1 = 1,23351 \times 10^{-6}.$$

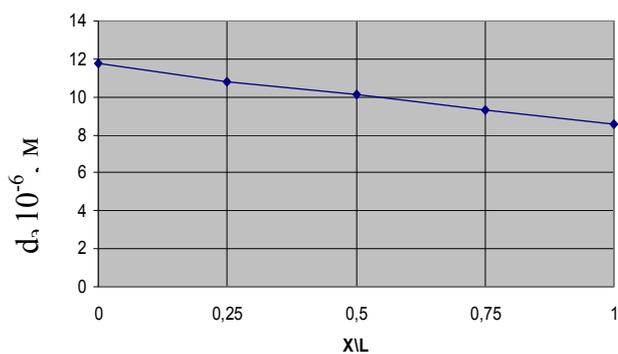
Таблица 1. Расчетные значения эквивалентного диаметра капель, скорости их обтекания паром, перепадов давлений и критериев теплообмена.

X/L	P_x , ати	m	$d_{\text{max}} 10^{-6}$, м	$d_3 10^{-6}$, м	V_x , м/с	Pe	Nu
0	1,2	0,96068	89,269	11,984	7,8	89,0	13,96
0,25	1,18197	0,80156	81,782	10,979	7,98	85,90	13,62
0,5	1,160	0,66879	75,204	10,096	8,24	79,20	13,08
0,75	1,1331	0,55802	69,297	9,303	8,58	76,00	12,81
1,0	1,100	0,46559	63,911	8,580	9,0	73,50	12,60

Несмотря на уменьшение значений Pe и Nu общий тепловой поток возрастает в связи с более интенсивным ростом поверхности теплопередачи по длине слоя при уменьшении d_3 и увеличении числа капель. На рис. 2 представлены зависимости изменения пористости слоя и эквивалентного диаметра капель по длине капельного слоя между сетчатыми перегородками реактора. Формулы составляющих скорости движения жидкости внутри торообразного вихря Хилла, возникающего при полете капли в несущей газовой среде и наличии градиента скоростей между каплей и несущей средой имеют вид:



а)



б)

Рис. 2. Изменение пористости капельного слоя и эквивалентного диаметра по длине капельного слоя а) и б), соответственно

$$V_r = \frac{3}{2} V_x \left(1 - \frac{r^2}{R_K^2} \right) \cos \theta \quad \text{и} \quad V_\theta = -\frac{3}{2} V_x \left(1 - 2 \frac{r^2}{R_K^2} \right) \sin \theta \quad (28)$$

Суммарная скорость движения жидкости внутри капли определяется по формуле

$$V_{\text{общ}} = \sqrt{V_r^2 + V_\theta^2} \quad (29)$$

Следовательно, скорость обтекания кристаллизующейся частицы раствором может изменяться в диапазоне от $V_{\min} = 0$ до $V_{\max} = V_{\text{общ}}$ (соответственно, в центре и вблизи поверхности капли).

Рассматривая зону внутри капли, ограниченную изменением $\theta = \pm 45^\circ$, в пределах $0 - R_K$, где скорость жидкости в торообразном вихре Хилла достигает наибольших значений (рис. 3, 4), можно видеть, что интенсивность процесса кристаллизации и линейная скорость роста кристалла в соответствии с (3) резко возрастает.

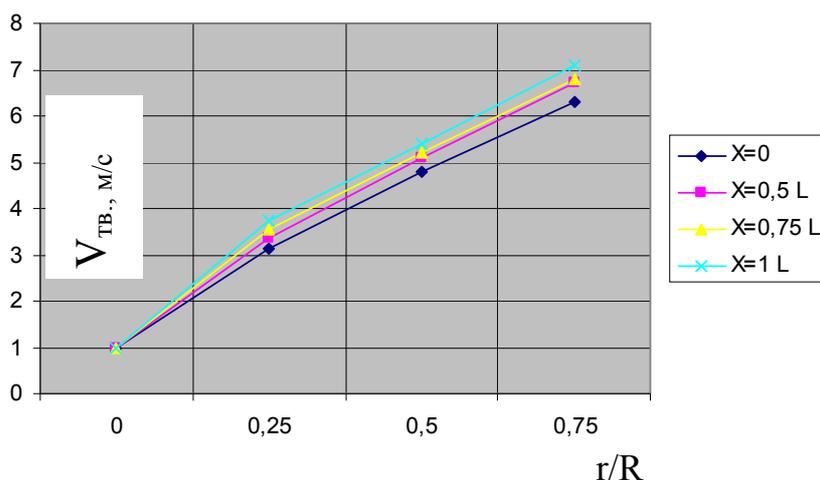
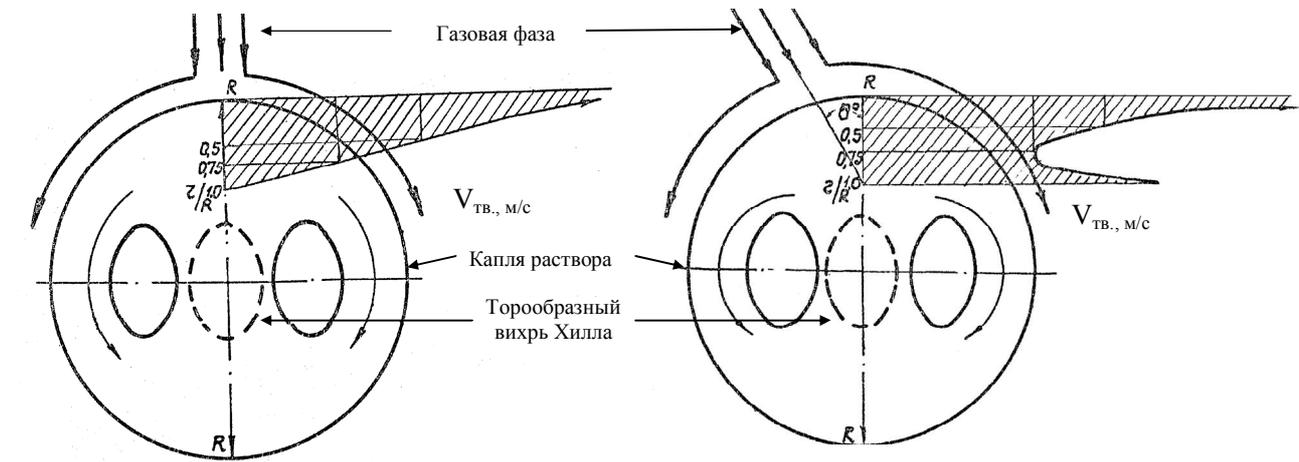


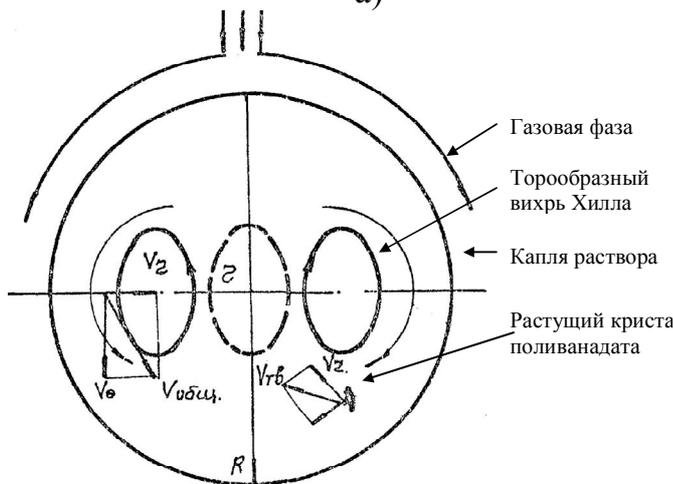
Рис. 3. Изменение скорости движения кристаллического зародыша по радиусу капли для разных расстояний от сетчатой перегородки при $\theta = 0^\circ$. Для кривых 1 - 4, соответственно $X=0$; $X=0,5 \text{ L}$; $X=0,75 \text{ L}$; $X=1,0 \text{ L}$

Данное положение хорошо согласуется с результатами опытов по выделению пятиокси ванадия в дисперсной струе. Возрастание степени кристаллизации пентаоксида ванадия из раствора с использованием разработанного способа приведены на рис. 5.



а)

б)



в)

Рис. 4. Эпюры скоростей
 а) эпюра скоростей движения кристаллического зародыша в капле под действием вихря Хилла. Направление набегающего газового потока и ось абсцисс совпадают - $\theta = 0$.
 б) эпюра скоростей движения кристаллического зародыша в капле под действием вихря Хилла. Направление набегающего газового потока и оси абсцисс $\theta = 45^\circ$
 в) - схема движения растущей частицы внутри капли в стесненных условиях полета

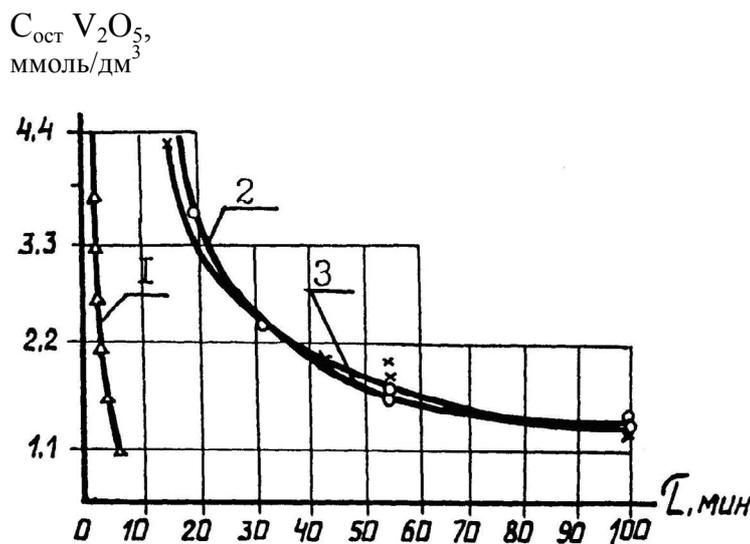


Рис. 5. Зависимость остаточной концентрации V_2O_5 в растворе от продолжительности процесса
 1 - в дисперсной струе; 2 - традиционная технология; 3 - контрольный опыт

Результаты решения указанных выше задач при сформулированных нами граничных условиях положены в основу расчета и конструирования разработанных для реализации нового способа струйных реакторов-диспергаторов.

Список литературы: 1. *Касимов А.М.* Управление промышленными отходами. В 2-х томах, т.2. Технологии обезвреживания и утилизации промышленных отходов. Учебное пособие [Текст] / А.М. Касимов .-Х.: РИП «Оригинал»,2000. – 308 с. 2. *Касимов А.М., Александров А.Н.* Скоростное и глубокое выделение ванадия с использованием высокотемпературных газожидкостных струй [Текст] / А.М. Касимов, А.Н. Александров // Редкие металлы – взгляд в будущее. Научное издание. Сб. научных тр. ИГН НАНУ, -К.: 2001. – с. 57 – 58. 3. *Чепелевецкий М.Л.* Скрытые периоды кристаллизации и уравнение образования зародышей кристаллов [Текст] / М.Л. Чепелевецкий //ЖФХ, 1939 т.13 вып. 5 С.561. 4. *Фольмер М., Горбунов К. М.* Кинетика образования новой фазы [Текст] / М Фольмер., К. М. Горбунов – М Наука, 1986. – 204с. 5. *Френкель Я.И.* Кинетическая теория жидкостей [Текст] / Я.И. Френкель – М.: АН СССР. 1975. -592 с. 6. *Малин Дж.У.* Кристаллизация. [Текст] Пер. с англ. под ред. Вигдоровича В.Н. – М.: Металлургия. 1965. -342 с. 7. *Хавский Е.В.* Кристаллические вещества и продукты. Методы оценки и совершенствования свойств [Текст] / Е.В. Хавский – М.: Химия. 1986. – 223 с. 8. *Дьюлаи З.* Образование зародышей кристаллов в водных растворах. Рост кристаллов. Т.3. [Текст] / З. Дьюлаи– М.: АН СССР. 1981. – С.98-104. 9. *Франк-Каменецкий Д.А.* Диффузия и теплоотдача в химической кинетике. [Текст] / Д.А. Франк-Каменецкий – М.: Наука. 1967. – 338 с. 10. *Тимофеева В. А.* Рост кристаллов из растворов-расплавов [Текст] / В. А. Тимофеева – М.: Наука. 1978. – 267 с. 11. *Кафаров В.В.* Системный анализ процессов химической технологии. Процессы массовой кристаллизации из растворов и газовой фазы. [Текст] // Дорохов И.Н., Кольцова Э.М.; под общ. ред. В.В. Кафарова – М.: Наука. 1983. - 367 с. 12. *Виля. В.* Теория вихрей. [Текст] / В. Виля. –М.-Л.: ОНТИ.1935. – 182 с. 13. *Касимов А.М.* Технология утилизации ванадийсодержащих отходов ЗТМК [Текст] //Тез. докл. конференции с международным участием «Сотрудничество для решения проблемы отходов» – Х.: ИнжЭК. 2005 . – С. 195-199. 14. *Касимов А.М.* Кристаллизация соединений ванадия в дисперсной струе Экспресс-информация. [Текст] / А.М. Касимов - М.: Черметинформация, 1986. – 12 с. 15. *Касимов А.М.* Малоотходные и энергосберегающие технологии в производстве редких и тяжелых цветных металлов [Текст] / А.М. Касимов -М.: Металлургия. 1990. – 112 с.

Поступила в редколлегию 27.07.2011

УДК 662.769.2 : 621.43

Н.В. ВНУКОВА, канд.геогр.наук, , доц., заст. зав. каф., ХНАДУ, Харків
О.М. КОВАЛЬОВА, канд.техн.наук, доц., ХНАДУ, Харків
Г.М. ЖЕЛНОВАЧ, асп., ХНАДУ, Харків

ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЮ ЯК ПАЛИВА ДЛЯ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ І ЕФЕКТИВНІСТЬ ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ

Надана характеристика водню як палива для двигунів внутрішнього згорання та порівняльна характеристика горіння водню і бензину в суміші з повітрям. Розроблені науково-технічні рішення конвертування двигуна автотранспортних засобів на живлення воднем при зовнішньому сумішоутворенні.

Ключові слова: водень, палива, двигуни внутрішнього згорання, ефективність.

Дана характеристика водорода как топлива для двигателей внутреннего сгорания и сравнительная характеристика сгорания водорода и бензина в смеси с воздухом. Разработаны научно-технические решения конвертирования двигателя автотранспортного средства на использование водорода при внешнем смесеобразовании.

Ключевые слова: водород, топлива, двигатели внутреннего сгорания, эффективность.

It's presented characteristics of hydrogen as a fuel for combustion engines and comparative characteristics of hydrogen and gasoline burning in a mixture with air. Scientific and technical solutions of motor vehicle engine converting for usage hydrogen in an external mixing were developed.

Keywords: hydrogen, fuels, combustion engines, efficiency.

Вступ

Викиди в атмосферне повітря від сотні мільйонів автомобілів у світі стали серйозною загрозою для здоров'я та життя людей. Неможливість вирішити екологічні проблеми, пов'язана з експлуатацією автомобільних двигунів, механічними способами змушує шукати інший шлях – хімічний, тобто пошук заміників традиційних палив нафтового походження або добавок і присадок до них, хоча при використанні традиційних палив коефіцієнт корисної дії від їх спалення не перевищує 15-17 %. Слід зазначити, що першим поштовхом до такого пошуку в західних країнах світу стали не екологічні, а економічні проблеми – обмеження в постачаннях нафти і різкий стрибок ціни на неї в середині минулого десятиліття змусили деякі країни проводити пошуки альтернативних палив.

Постановка завдання

На фоні зростання попиту на енергію, паливо та загострення проблеми охорони навколишнього природного середовища світова спільнота змушена звернути увагу на пошук нових енергетичних та паливних технологій, які б не уповільнювали б економічного зростання і в той же час забезпечували прийнятний рівень забруднення навколишнього природного середовища. Одним з способів вирішення цього питання і є можливість застосування водню як палива для двигунів внутрішнього згорання.

Аналіз останніх досліджень

Останніми роками багато уваги приділяється розробці і використанню в автомобільному транспорті водню як палива для двигунів. На думку багатьох фахівців в розв'язанні зазначеної проблеми провідне місце займе воднева енергетика, а саме виробництво водню та його використання на основі в промисловості, енергетиці, будівництві та насамперед на транспорті [1-3].

Формування цілей та викладення основного матеріалу

Якийсь симбіоз механічного і хімічного впливу на токсичність ВГ являють собою нині активно використовувані на Заході системи каталітичної нейтралізації ВГ автомобільних двигунів. Ці системи дозволяють практично цілком позбутися від CO, значно (на 70 %) скоротити викиди C_nH_m і на 20 % викиди NO_x . Але їхня установка призводить до збільшення витрати палива на 3-5 %.

Крім того, каталізатори в системах нейтралізації виготовляються на основі платини і паладію, що призводить до великої їхньої витрати на ці цілі. Наприклад, у США тільки платини для виробництва каталітичних нейтралізаторів ВГ щорічно витрачається близько 40 т [4].

Через величезну кількість експлуатованих автомобілів, неможливості корінної зміни конструкцій двигуна й автомобіля, розвинутої інфраструктури автомобільного транспорту (систем збереження, автозаправних станцій)

замінники традиційних палив повинні мати фізико-хімічні властивості, що не потребують корінної зміни конструкції двигуна паливної апаратури і системи збереження палива на борті. У зв'язку з цим і з метою економії дефіцитних і дорогих видів палива і для зниження викиду токсичних речовин одним з ефективних способів є застосування палива з добавками.

Водень – одна з таких перспективних добавок. Перевагою водню перед іншими можливими добавками є те, що він робить двояку дію: не тільки знижує викиди практично всіх токсичних компонентів ВГ, але і підвищує паливну економічність.

Вплив, що робить вміст водню в паливі, у тому числі і водню, що вводиться додатково в зону горіння, на утворення КУ і ТЧ, зв'язано з реакціями окислювання радикалами ОН попередників їхнього утворення.

Тому збільшення в бензині вуглеводнів з підвищеним вмістом водню забезпечує м'який режим горіння, повноту вигорання палива, відсутність закоксування і руйнування полімерних ущільнювачів, запобігання утворення конденсованої канцерогенної ароматики в камері згорання і викиду її з ВГ двигунів в атмосферу. Тому поява на ринку бензинів марки Premium з їхнім високим вмістом ізо-парафінових вуглеводнів і обмеженим вмістом ароматики (до 30 %) навіть без добавок оксигенатів складає серйозну конкуренцію традиційним вітчизняним бензинам.

Слід особливо зазначити, що в звичайному неетильованому бензині міститься до 10 видів ПАУ, а в дизельних паливах – до 20 ПАУ. У США (Каліфорнія) введені обмеження на якість дизельних палив, у тому числі встановлена норма на вміст не більш 10 % ароматики. Сучасні стандарти «Євро» у числі інших обмежують вміст бензолу й ароматичних вуглеводнів у ВГ автомобільних ДВЗ [5].

Значно важливим на найближче майбутнє є також те, що в синтетичних бензинах, одержуваних з вугіль, міститься велика кількість ПАУ, що структурно відрізняються від ПАУ, які зустрічаються в нафтових бензинах. Їхня присутність здатна викликати такі проблеми як: підвищена канцерогенність ВГ двигунів, утворення відкладень ТЧ у камері згорання і випускному тракті, підвищення вимог до октанового числа з часом.

Елементний склад нафтових палив: С, Н, S, О, N і волога (W). Пальними елементами палив є: С, Н, S. Основним пальним елементом у традиційних нафтових паливах є вуглець з теплотою згорання 34,1МДж/кг. Саме вміст вуглецю в паливі визначає питомі рівні викидів парникового газу – діоксида вуглецю (CO₂). Найбільшу теплоту згорання на одиницю маси має водень (120,5МДж/кг), але його в складі нафтових палив небагато. У світлих нафтопродуктах – 13-15 %, у метані – 25 %. Підвищений вміст водню в паливі або пальній суміші (наприклад, з використанням добавок водню) сприяє істотному зниженню рівнів утворення ТЧ і канцерогенних інгредієнтів при спалюванні палив. Сірка є шкідливою домішкою, тому що вона при згоранні виділяє мало теплоти (9,3МДж/кг), а при експлуатації двигунів продукти згорання сірки викликають великі труднощі: діоксид сірки, що утворюється, є екологічно гранично шкідливим сполученням і негативно впливає на надійність і

ресурс двигуна. Крім того, сірка сприяє збільшенню рівнів утворення і дисперсності ТЧ, а також – канцерогенних речовин. Тому зниження вмісту сірки в моторних паливах, у першу чергу дизельних, представляється одним з важливих напрямків у зниженні екологічної небезпеки МЕНУ і підвищення їхньої параметричної надійності і ресурсу. У Європі обмежений вміст сірки в дизельних паливах на рівні 0,02 %.

Основні теплотехнічні показники ряду моторних палив, у тому числі альтернативних, приведені в табл. 1.

Таблиця 1. Фізико-хімічні властивості вуглеводних моторних палив і водню

Моторні палива	ρ , кг/м ³	H_T , МДж/кг	L_0	T_{max} , К	$\alpha_{гран}$	ОЧД	Состав, %				
							С	Н	S	N	О
Бензин А-92	710-760	44,0	15	2350	0,7-1,1	93	85	15	–	–	–
Дизельне	820-870	42,4	14,2	2370	0,9-5	–	86	13	1	0,01	–
Метанол	795	19,7	6,5	2175	0,7-1,4	106	37	13	–	–	50
Пропан-бутан	542	45,7	15,2	2149	0,7-1,2	102-110	84	16	–	–	–
Метан	0,8 (416)	49,8	17	2065	0,8-1,5	120	75	25	–	–	–
Водень	0,09 (71)	120,2	34,5	2470	0,2-5	130	–	100	–	–	–

Примітки:

1). ρ – щільність; H_T – енергоємність; T_{max} – максимальна температура при горінні палива в повітрі; $\alpha_{гран}$ – границі сталої роботи за коефіцієнтом надлишку повітря; ОЧД – октанове число, обумовлене дослідницьким методом; 2). У дужках дані щільності метану і водню в рідкій фазі.

Вибір водню як палива для двигунів внутрішнього згорання, що є основними джерелами забруднення навколишнього середовища міст і промислових центрів, був зроблений на основі аналізу і порівняння його фізичних і хімічних властивостей з такими ж показниками інших найбільш важливих видів палива. При цьому були враховані такі фактори, як доступність його запасів, вартість сировини для його одержання, безпека виробництва, економічність транспортування до місць споживання, мінімальні переробки в конструкціях устаткування, мінімальні забруднення навколишнього середовища при виробництві і споживанні. Крім того, при рішенні цього питання приймалися до уваги стабільність при збереженні по відношенню до кисню і вологості повітря, токсичність самого палива і продуктів його згорання, інертність по відношенню до конструкційних матеріалів і, нарешті, можливість спалювання палива з досить високим ступенем використання отриманого тепла. За цими показниками водень виявився конкурентоздатним з кожним із вуглеводних палив, перевершуючи їх за екологічною сумісністю з навколишнім середовищем (табл. 2).

Таблиця 2. Характеристика горіння водню і бензину в суміші з повітрям

Показник	Водень	Бензин	Показник	Водень	Бензин
Енергія запалювання, мДж	0,02	0,25	Швидкість поширення полум'я, см/с	270	30
Відстань гасіння, см	0,06	>0,25	Теплота згоряння:		
Температура запалювання, К	903	724	Нижня, кДж/кг	$120 \cdot 10^3$	$44 \cdot 10^3$
Границі запалювання по об'ємному вмісту, %	4,7-74,2	0,59-6,00	Суміші при стехіометричній витраті повітря, кДж/м ³	3180	3710
Коефіцієнт дифузії, см ² /с	0,63	0,08	Стехіометрична витрата повітря, кг/кг	34,20	14,95

Дані експлуатації свідчать про те, що застосування водню як палива в ДВЗ забезпечує безумовну перевагу по основних техніко-економічних показниках. Більш того, навіть невелика його добавка до традиційного палива (5–10 %) дозволяє в міських умовах експлуатації автомобіля скоротити витрату бензину на 20–30 % і приблизно вдвічі зменшити емісію вуглеводнів. Крім того, це приводить до зменшення викидів CO у 10 разів, а NO_x – у 5 разів.

Перспективність застосування водню для автомобільних двигунів визначається насамперед екологічною чистотою та унікальними моторними властивостями, що відкриває можливість його широкого застосування в сучасних двигунах без корінної перебудови. Однак деякі фізичні властивості водню, що визначають його моторні якості, висувують ряд серйозних науково-технічних проблем, що вимагають рішення при переводі ДВЗ на живлення воднем. У процесі досліджень встановлено, що однією з основних проблем є виникнення у водневому двигуні зворотного спалаху і калильного запалювання. Усунення цього явлення зажадало розробки способів, що забезпечують повне придушення зворотного спалаху в конвертованому двигуні. Крім того, низька щільність водню, використовуваного як паливо, приводить до необхідності оптимізації робочого циклу водневого ДВЗ за ступенем стиску і коефіцієнту надлишку повітря.

Висновки

При проведенні досліджень робочих процесів у ДВЗ була встановлена фізична природа виникнення зворотного спалаху, що базується на кінетичному механізмі самоzapalювання водньоповітряної суміші в результаті розігріву її залишковими газами. Встановлено, що ефективним способом придушення зворотного спалаху є подача водню із запізнюванням за кутом повороту колінчатого вала відносно відкриття впускного клапана.

На підставі отриманої інформації був розроблений і реалізований спосіб роботи ДВЗ, при якому водень під тиском, що регулюється у залежності від режиму роботи двигуна, подається за допомогою спеціального пристрою в

коллектор у зону впускного клапана. У цьому випадку забезпечується утворення в місці розташування впускного клапана зони, у якій вміст водню перевищує верхню межу (більш 74 % за об'ємом) запалення водньоповітряної суміші. Запропоноване рішення практично не погіршує техніко-економічні показники водневого двигуна в порівнянні з прототипом, а його конструктивне втілення відрізняється простотою технічного виконання і надійністю експлуатації.

Отримані на моторному стенді навантажувальні і швидкісні характеристики водневих двигунів з якісним регулюванням потужності і результати дорожніх іспитів автомобілів послужили вихідними даними для створення системи автоматичного регулювання витрати водню і кута випередження запалювання, що забезпечує його найбільш ефективну і надійну роботу (табл. 3).

Проведені іспити показали, що двигуни ВА3-2101, УМЗ-451 МП і ЗМЗ-402 їхні модифікації, що оснащені спеціальною конструкцією впускного колектора, працюють на водні стійко у всьому діапазоні зміни частоти обертання колінчатого вала і коефіцієнта надлишку повітря, характерних для режимів експлуатації автомобіля як в умовах міської їзди, так і на трасі.

Таблиця 3. Дані іспитів на токсичність і паливну економічність

Живлення	Концентрація CO, %		Викид шкідливих речовин, г/км			Витрати палива, л на 100 км
	$N_{xx, \min}$	$0,6 n_{\text{ном}}$	CO	CH	NO _x	
Бензин + водень	0,04	0,01	5	4,6	2,0	6,8 л бензину +1,56H ₂
Бензин (карбюратор К-126Г)	1,5	2,3	44	9,9	14,0	15,9

Розроблені науково-технічні рішення конвертування двигуна автотранспортних засобів на живлення воднем при зовнішнім сумішоутворенні реалізовані також у двигуні УМЗ-451МП ($\epsilon=6,7$), встановленому на автонавантажувачі моделі 4092.

Як систему збереження водню на борті автонавантажувача використаний гідридний акумулятор масою 498 кг і місткістю 2,7 кг водню, що встановлений на місце верхньої частини противаги. При цьому загальна маса автонавантажувача і розподіл навантаження по осях не змінилися. Іспиту експериментального зразка водневого автонавантажувача показали гарну працездатність конвертованої машини і її екологічні переваги в порівнянні з бензиновим прототипом.

У процесі промислових іспитів автонавантажувача в закритих складських приміщеннях і трюмах морських судів в Одеському порту встановлено, що використання водню як палива знижує кількість оксидів азоту в 1,5 рази, а наявність оксиду вуглецю, незгорілих вуглеводнів і інших токсичних речовин зводить до нуля. Створений зразок водневого автонавантажувача експонувався на виставці VII Міжнародної конференції по водневій енергетиці й одержав високу оцінку вітчизняних і іноземних фахівців.

Досвід, накопичений при конвертації двох варіантів автотранспорту, дозволили створити експериментальний зразок водневого транспортного засобу на базі вантажно-пасажирського автомобіля «Газель» моделі ГАЗ-2705 із двигуном ЗМЗ-4026.

Дорожні іспити створеного експериментального зразка водневого автомобіля, що проведені в умовах міської експлуатації, підтвердили ефективність прийнятої концепції використання водню як палива.

При іспитах по замкнутому кільцевому маршруту довжиною 41,6 км була визначена контрольна витрата водню, що склала 0,0384 кг/км, яка забезпечує пробіг автомобіля без дозаправлення близько 140 км. При цьому емісія єдиного токсичного компонента (оксидів азоту) приблизно вдвічі нижче, ніж у бензинового прототипу (табл. 4, 5).

Таблиця 4. Показники токсичності ВГ бензинового ДВЗ (г/кг спаленого палива)

Живлення	Запуск із холодного стану		
	CO	C _n H _m	NO _x
Бензин	52	21	37
Бензин+водень	15	13	6
Зменшення у викиді	37	8	31
Те ж у перерахунку на 1 т H ₂ , т	0,37	0,08	0,31

Таблиця 5. Показники токсичності викидів дизельного двигуна (г/кг спаленого палива)

Компонент ВГ	Потужність 100 %		Потужність 80 %	
	Чисте паливо (Н/С=2,125)	Добавка H ₂ 3,3 % (Н/О~2,7)	Чисте паливо (Н/С=2,125)	Добавка H ₂ 5% (Н/С~3)
Сажа	5,9	3,6	2,7	1,1
C _n H _m	3,7	4,5	3,1	4,2
NO _x	15,9	19,4	13	16,6

Список літератури: 1. *Месяц Г.А.* На пути к водороду : [круглый стол по проблемам водородной энергетики] [Текст] / Г. А. Месяц, Б. Н. Кузык // Экономические стратегии. - 2005. - N 4. - С. 6-13. 2. Водородная энергетика и топливные элементы. Взгляд в будущее [Текст] / Европейская комиссия, - 2003. 3. *Г.С.Асланин.* Проблематичность водорода в плане замещения нефти [Текст] / Энергетическая политика. – Вып.2. – 2006. – С. 42-51. 4. *Казаков Н., Масленникова И.* Экологическая безопасность транспорта [Текст] / Н. Казаков, И. Масленникова. СПб. – «Автобизнесмаркет». – 2004. – №14.- С.5-9. 6. Директива 98/69/ЕС Европейского парламента и совета от 13 октября 1998 г. о мерах против загрязнения воздуха выбросами автомобилей и во изменение Директивы 70/220/ОЕЭС Совета. Официальный бюллетень Европейского сообщества L 350. – 73 с.

Поступила в редколлегию 27.05.2011

Л.Н. МИХАЙЛОВА, инж., ст. преп. Подольский государственный аграрно-технический университет, Каменец-Подольский
А.Н. МОРОЗ, докт. техн. наук, доц., Национальный технический университет сельского хозяйства им. Петра Василенка, Харьков

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МАСТИТА СВИНЕЙ И МЕТОДЫ ЕГО ЛЕЧЕНИЯ

Рассмотрены основные болезни молочных желез свиноматок, причины и микроорганизмы, приводящие к их возникновению, и рассмотрены основные методы их лечения.

Ключевые слова: мастит свиноматок, возбудители мастита, методы лечения мастита.

Розглянуто основні хвороби молочних залоз свиноматок, причини і мікроорганізми, що призводять до їх виникнення, і розглянуті основні методи їх лікування.

Ключові слова: мастит свиноматок, збудники маститу, методи лікування маститу.

The main diseases of mammary glands of sows, and the reasons for the microorganisms, leading to their emergence, and the basic methods of treatment.

Key words: mastitis sows, agents of mastitis, treatment's methods of mastitis.

1. Введение

В сельскохозяйственном производстве Украины свиноводство является одной из важнейших отраслей животноводства. Свиньи характеризуются многоплодием, коротким эмбриональным периодом развития, скороспелостью и высоким убойным выходом. Употребление в пищу 30-60 г свиного жира обеспечивает суточную потребность человека в незаменимых полиненасыщенных жирных кислотах, составляющую, по данным Института питания Академии наук СССР, 3-6 г. Содержание витаминов в свинине составляет (мг%): тиамин (В1) – 0,6-1,4; рибофлавин (В2) – 0,18-0,24; пиридоксин (В6) – 0,5-0,6; никотиновой кислоты (РР) – 4-8,7; пантотеновой кислоты (В3) – 1,2-2,0; биотин (Я) – 1,5-5,5; П-аминобензойной кислоты – 0,08; кобаламин (В12) – 0,001-0,004. В противоположность крупному рогатому скоту и овцам, свиньи отличаются биологической особенностью накапливать в мышечной ткани значительное количество витамина В1 [1, 2].

Все эти положительные качества свинины отмечаются у свиной при условии их полноценного кормления и соответствующей технологии содержания. Несоблюдение этих условий приводит к заболеванию и гибели значительного количества поросят (от 10 до 20% [2]), особенно в первые 3 дня их жизни.

2. Цель статьи

Изучение основных болезней молочных желез свиноматок, причины их возникновения и характеристики микроорганизмов, приводящие к возникновению болезней, а также изучение основных методов их лечения.

3. Изложение основного материала

Основными незаразными болезнями организмов размножения и молочной железы у свиной являются: метрит – мастит – агалактия (ММА), острый и хронический гнойно-катаральный эндометрит, мастит, гипогалактия или

агалактия, первичная слабость родов, задержание последа, которые сопровождаются мертворождаемостью и гибелью поросят в первые часы и дни после опороса, нанося свиноводству большой экономической ущерб.

Чаще всего из перечисленных болезней встречаются метрит-мастит-агалактия. Это острое послеродовое заболевание свиноматок, возникающее в первые двое суток после опороса и проявляющееся воспалением матки, молочной железы, а также снижением или прекращением секреции молока.

У свиней воспаление молочной железы в большинстве случаев протекает в скрытой (субклинической) форме; которой поражается до 45...60%, а в отдельных случаях до 70...80% функционирующих долей молочной железы свиноматок. Клинический мастит регистрируется у 12...20% свиноматок [3]. В результате нарушения лактации поросята не получают необходимого количества молока, поэтому отстают в росте, болеют диареей и погибают в большом количестве. Иногда отход поросят от свиноматок с синдромом ММА составляет до 80% [4] так как молоко больных свиноматок содержит болезнетворные микроорганизмы.

В отличие от вымени коров, овец и лошадей, у свиноматок оно не имеет молочных цистерн. От молочных альвеол тянется сеть тончайших молочных протоков, которые по ходу многократно сливаются в более крупные, и к вершине соска заканчиваются 2-3 протоками.

Мастит одной или нескольких желез возникает вследствие заражения бактериями или как результат другого заболевания. Мастит возникает sporadically у индивидуальных свиноматок или в виде эпидемии целого стада, пораженного специфической инфекцией. Заболевание развивается с началом опороса и проявляется клинически 12 ч спустя. Причиной мастита может быть первичная инфекция, поразившая одну и более желез в период опороса, или это может быть «прорыв» субклинической скрытой инфекции, содержащейся в небольших абсцессах, активированных развитием железы и потоком молока. Порой мастит возникает в результате отека вымени [5].

Считается, что бактерия заносится в отверстие соска острыми зубками поросенка. В редких случаях мастит возникает вследствие сентецемии [3].

К наиболее опасным бактериям – возбудителям мастита у свиней можно отнести три обширные категории: бактерии Coliform; стрептококки, стафилококки; микроорганизмы – псевдомоны [5].

Наиболее распространен и опасен мастит Coliform, другие же бактерии вызывают мастит различной степени сложности, в зависимости от индивидуальных особенностей свиноматки.

Бактерия Coliform относится к виду E.Coli и наиболее часто у свиноматок наблюдается мастит, вызываемый E.Coli и другими видами клебсиеллы. Данные виды бактерий являются причиной острого некрологического мастита. Они выделяют токсин (эндотоксин), ограничивающий образование молока в железах, ослабляющих свиноматку и поросят. Внешними признаками данного мастита является обесцвечивания кожного покрова над выменем и посинения прилегающей к нему кожи, а также ушей и хвоста.

В основном болезнетворные бактерии присутствуют в кишечнике, фекалиях и моче свиноматок. Так, они присутствуют во всем помещении и способны выживать и размножаться в контейнерах с водой и трубах. Они быстро размножаются в застоявшейся грязной воде, жидкости на полу репродуктора и влажной подстилке под свиноматкой. Так, мастит Coliform возникает из-за неудовлетворительного состояния окружающей среды. Нарушение санитарно-гигиенических норм содержания свиноматок приводит к увеличению заболеваемости субклиническим маститом до 38%.

Стрептококковый и стафилококковый мастит – как правило, более мягкая форма мастита, чем Coliform. Спорадически возникает у отдельных свиноматок и поражает лишь несколько желез, не вызывает общего недомогания у свиноматки. Исключением является острая стрептококковая инфекция одной железы, которая опухает, твердеет и обесцвечивается. Тем не менее, в большинстве случаев свиноматка пребывает в нормальном состоянии, а из пораженной железы выделяется меньше молока.

В отличие от бактерий Coliform источником размножения стрептококков и стафилококков является не грязная вода, а кожа и «отверстия» на теле самой свиноматки.

Для лечения болезней свиней в большинстве случаев применяются только медикаментозные средства: окситоцин, пеницилин, неоцилин, стрептомецин, триметоприм, амоксицилин, фрамещилин, тилозин, энрофлокацин, цефтиофрид и др. [3, 5]. При тяжелой форме заболевания свиноматке вводится инъекция дважды в день. В период острых вспышек мастита свиноматкам вводится долго действующие препараты за 12 часов до опороса. Антибиотики, предписанные ветеринаром должны соответствовать уничтожаемому микроорганизму и его чувствительности.

Как показывают медицинские исследования, применение антибиотиков и других медикаментов не всегда приводит к выздоровлению животных и, кроме того, лекарственные препараты с мясом животных попадают в организм человека, что приводит к негативному влиянию на его органы. Кроме того использование антибиотиков, входящих в комплексные противомаститные препараты, привело к образованию антибиотикоустойчивых штаммов микроорганизмов, что способствует появлению у молодняка свиней токсико-аллергических реакций, развитию иммунодефицитного состояния и, в значительной степени, снижению терапевтической эффективности этих средств [6].

В ряде стран (США, Англия, Германия) с 1971 года введен запрет на применение антибиотиков для лечения животных.

Поэтому для решения данной проблемы необходимо разрабатывать новые экологически безопасные методы и способы в борьбе с маститами свиноматок. Одним из таких способов является воздействие электромагнитных полей на молочные железы вследствие их благоприятного действия на биологические ткани животных [5, 7].

4. Выводы

Проведенный анализ основных болезней молочных желез свиноматок, причин их возникновения и основных методов лечения показал, что медикаментозное лечение животных с помощью антибиотиков имеет существенные недостатки и одним из экологически безопасных методов лечения мастита свиноматок является использование электромагнитных полей.

Список литературы: 1.Кабанов В. Д. Биологические основы повышения интенсивности свиноводства. / В. Д. Кабанов // Свиноводство. – 2002. – №2 – С. 27-28.2.Ноздрин Н.Т. Выращивание молодняка свиней. / Н.Т. Ноздрин, А.Ф. Сагло. – М.: Агропромиздат, 1990. – 144с. 3.Диагностика, терапия и профилактика болезней органов размножения и молочной железы у свиней. / Методические рекомендации. – М.: Информагротех, 1998. – 21с. 4.Комплексная экологическая безопасная система защиты здоровья животных. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2000. – 300с. 5.Башкиров Б.А. Общая ветеринарная хирургия. / Б.А. Башкиров, А.Д. Белов, А.В. Есютин. – М.: Агропромиздат, 1990. – 531с. 6.Фисенко С.П. Резистентность организма поросят и ее коррекция биологически активными препаратами / С.П. Фисенко // Вестник ветеринарии. – 2001. – №3. – С.42-44. 7.Биологические принципы лечения электромагнитным полем УВЧ коров при мастите / И.И. Балковой, В.П. Иноземцев, А.Г. Самоделкин [и др.] // Ветеринария. – 1993. – № 6. – С.40-43.

Поступила в редколлегию 01.08.2011

УДК 629.463.65:629.4.01

О.В. ФОМИН, канд. техн. наук, ас. УкрДАЗТ, Харків

О.В. БУРЛУЦЬКИЙ, зав. лаб., УкрДАЗТ, Харків

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ТА МЕТОДИ ВИКОРИСТАННЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ РЕЗЕРВІВ ЗНИЖЕННЯ МАТЕРІАЛОЄМНОСТІ КУЗОВІВ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ

В статті представлені запропоновані підходи визначення та використання конструкційних резервів зниження матеріалоемності складових елементів кузовів вантажних вагонів. Наведено результати застосування таких підходів.

Ключові слова: вантажний вагон, конструкційні резерви.

В статье представлены предложенные подходы определения и использования конструкционных резервов снижения материалоемкости составных элементов кузовов грузовых вагонов. Приведены результаты применения таких подходов.

Ключевые слова: грузовой вагон, конструкционные резервы.

In the article approaches proposed definition and use of reserves decline of structural components freight car body. The results of application such approaches.

Keywords: railways freight car, construction backlogs.

Постановка проблеми і аналіз результатів останніх досліджень.

Залізничний транспорт займає провідне місце у задоволенні потреб виробничої сфери та населення у перевезеннях, є важливим фактором забезпечення соціально-економічного зростання України, розвитку її зовнішньоекономічних зв'язків. Транспортною стратегією України на період до 2020 року, яка була затверджена на засіданні Кабінету Міністрів України 20 жовтня 2010 року, до залізничного транспорту висунуто вимоги по удосконаленню технології організації перевезень, модернізації інфраструктури та оновленню рухомого складу. На сьогоднішній день найбільша частка рухомого складу Укрзалізниці припадає на вантажний парк вагонів, який об'єднує універсальний, спеціалізований та ізотермічний їх типи [1, 2].

Комплексною програмою оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 роки, яку затверджено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 14 жовтня 2008 року №1259 передбачено оновлення вантажного вагонного парку новими та модернізованими моделями вагонів вітчизняного виробництва з сучасним рівнем техніко-економічних та експлуатаційних показників. При цьому одним із найважливіших техніко-економічних показників вантажних вагонів, який безпосередньо впливає на ефективність їх експлуатації є матеріалоемність (тара). Зниження якої є одним із пріоритетних напрямків розвитку вагонобудівної галузі [3], що обумовлено не тільки великою витратою матеріалів (переважно металу) на споруду вагонів, а і значними постійними витратами на їх пересування, які зростають із збільшенням матеріалоемності. Відомо, що однією із найбільш матеріалоемних складових вагону є кузов (біля 50% питомої ваги у загальній

конструкції). При цьому більшість конструкцій кузовів вагонів вантажного парку, які виготовляються вітчизняними вагонобудівниками були спроектовані за традиційними методами та підходами, які не забезпечували повне використання їх конструкційних можливостей. Зазначене обґрунтовує актуальність розгортання науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт з метою вирішення науково-прикладного завдання – розробка нових підходів та методів проектування кузовів вантажних вагонів за критерієм мінімальної матеріалоємності, спрямованого на ефективне використання їх конструкційних резервів. Але аналіз профільної науково-технічної літератури засвідчив про відсутність змістовної інформації з рішення такого важливого завдання.

Мета статті та викладення основного матеріалу

В статті представлені запропоновані авторами підходи визначення та використання конструкційних резервів зниження матеріалоємності складових елементів кузовів вантажних вагонів, які основані на методах теорії оптимізації та реалізують системний підхід.

Для визначення складових конструкції за рахунок удосконалення яких доцільно знижувати матеріалоємність вагону авторами запропоновані – новий підхід до її формалізованого описання у вигляді блочно-ієрархічної схеми [4] та його використання при дослідженні структури матеріалоємності [5]. Для формалізації процедури удосконалення визначених конструктивних елементів розроблено математичний запис задачі їх оптимізаційного проектування за критерієм мінімальної матеріалоємності, визначені головний критерій оптимізації, параметричні та функціональні обмеження, що представлено у роботі [6]. Особливістю розробленого математичного запису є те, що його орієнтовано на комплексне удосконалення конструкції вагону шляхом модернізації її окремих складових. При цьому виділено два основних напрямки поліпшення конструктивних елементів. Перший напрямок орієнтовано на проведення пошукових досліджень, які спрямовано на відшукання таких конфігурацій профілів та характеристик матеріалу, які при меншій матеріалоємності та собівартості виготовлення забезпечать характеристики міцності не нижчі ніж у вже існуючого виконання. Другий напрямок є більш перспективним, тому що направлений на визначення та ефективне використання резервів зниження матеріалоємності досліджуваного елемента. Для реалізації другого напрямку необхідно комплексно досліджувати роботу елемента, що розглядається у сприйнятті експлуатаційних навантажень (у відповідності з I, II та III розрахунковими режимами Норм [7]). Зазначене на сучасному рівні доцільно здійснювати шляхом дослідження відповідної адекватної розрахункової скінчено-елементної моделі (РСЕМ) вагону. При виявленні надлишкових запасів міцності конструкції (визначаються як співвідношення отриманих характеристик міцності з їх допустимими значеннями), розраховуються раціональні показники міцності з урахуванням яких проводяться роботи визначені першим напрямком.

Представлені підходи та методи було використано для удосконалення конструкції універсального напіввагону моделі 12-9745, яка є базовою для ДП «Стрийський вагоноремонтний завод», ДП «Дарницький вагоноремонтний завод», ДП «Укрспецвагон», ТДВ "Попаснянський вагоноремонтний завод". Так

було розроблено блочно-ієрархічну схему цього вагону [8], в якій виділено основні модулі: кузова, рами, автозчепного пристрою, гальмівного обладнання, ходової частини. Розроблено відповідне математичне описання формування структури матеріалоемності [5], в результаті чого з'ясовано, що одним з перспективних напрямків зниження матеріалоемності вагону є удосконалення складових модуля кузова, а саме стін бокових та торцевих.

Визначено, що в якості елементів, за рахунок яких доцільно знижувати матеріалоемність для стін бокових є – обв'язування верхнє та стійки вертикальні, а для стін торцевих – обв'язування верхнє, горизонтальні та вертикальні пояси.

Для модернізації елементів стін бокових було застосовано перший напрямок поліпшення конструктивних характеристик. Так результати проведених науково-дослідних робіт при яких варіювались різні можливі конфігурації профілів (труби прямокутного та квадратного перерізу, швелера, двотаври, замкнуті профілі і інш.) та матеріали (різні марки сталі, сплави на основі алюмінію і інш.) для виготовлення досліджуваних складових, вказали на те, що в якості обв'язування верхнього та стійки вертикальної доцільно використовувати труби прямокутного перерізу (рис.1а) зі сталі марки 09Г2, виготовлення яких засвоєно вітчизняними металургійними підприємствами.

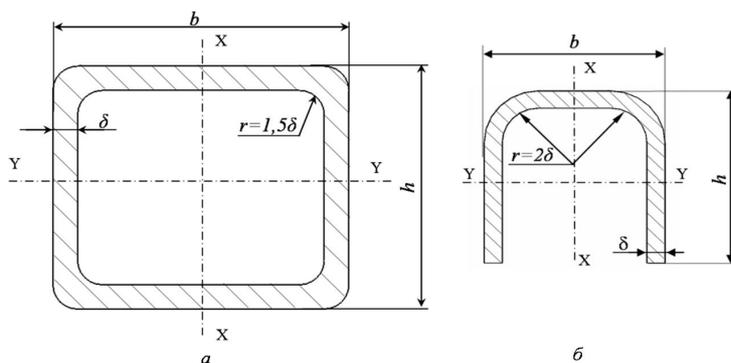


Рис.1. Перерізи запропонованих профілів для модернізації стін бокових та торцевих напіввагонів моделі 12-9745. а) переріз обв'язування верхнього та стійок вертикальних стін бокових; б) переріз обв'язування верхнього, горизонтальних та вертикальних поясів стін торцевих

торцевої було використано другий напрямок поліпшення конструктивних характеристик складових. Для цього у програмному комплексі COSMOSWorks було розроблено РСЕМ кузова (елементів 833667, вузлів 265916) та експериментально перевірено її адекватність. Для розробленої РСЕМ змодельоване напружено-деформований стан конструкції при екстремальному випадку роботи стіни торцевої – співударянні вагонів 3,5МН. Визначено максимальні експлуатаційні еквівалентні напруження для досліджуваних складових та при порівнянні їх з допустимими значеннями визначено раціональні показники міцності [11]. В подальших дослідженнях розглядались різні форми профілів та марки матеріалу для виготовлення вказаних елементів. Було встановлено, що для виготовлення обв'язування верхнього, поясів та вертикальних стійок стіни торцевої доцільно використовувати гнутий швелер з

Проведені оптимізаційні дослідження [9, 10] дозволили визначити раціональні параметри перерізів запропонованих конфігурацій профілів при яких буде знижена матеріалоемність стіни бокової при забезпечені умов міцності. В результаті запропонованої модернізації каркасу стіни бокової тару напіввагонів моделі 12-9745 було знижено більше ніж на 200кг.

Для модернізації стіни

рівними полицями (рис. 1б) зі сталі марки 09Г2. При цьому використання таких профілів обґрунтувало необхідність проведення досліджень з вибору геометричних параметрів їх перерізу. Проведені оптимізаційні дослідження [12] дозволили визначити раціональні параметри запропонованих конфігурацій профілів при яких будуть забезпечені умови міцності при зниженні матеріалоемності. В результаті запропонованої модернізації каркасу стіни торцевої матеріалоемність напіввагонів моделі 12-9745 було знижено більше ніж на 250кг.

У результаті використання запропонованих підходів і методів визначення та використання конструкційних резервів зниження матеріалоемності складових елементів кузовів вантажних вагонів, для стін бокових та торцевих напіввагону моделі 12-9745 його тару було знижено на 450кг, що дозволить додатково перевозити більше 27т вантажу у складі поїзду з 60-ти таких вагонів.

Висновки і рекомендації щодо подальшого використання

Наведені у статті матеріали свідчать про доцільність впровадження запропонованих підходів і методів визначення та використання конструкційних резервів зниження матеріалоемності складових елементів кузовів вантажних вагонів з метою поліпшення їх техніко-економічних та експлуатаційних показників. Запропоновані підходи та методи можуть бути використані для удосконалення різних складових елементів універсальних та спеціалізованих вантажних вагонів.

Список літератури: 1.Грузовые вагоны нового поколения // «Магистраль»-всеукраїнська транспортна газета. – 2011 – №29(1612). – С.8 2.Кулієва, О Плани і перспективи українських залізниць [Текст] / О.Кулієва // Вагонный парк. – 2011 – № 1. –С.8-10. 3.Шадур Л.А. Вагоны [Текст]/. Изд. 2-е, перераб. и доп. Под ред. Л.А. Шадура. М., «Транспорт», 1973. - 440 с. 4. Мороз, В.І., Формалізоване описання конструкції залізничних вантажних вагонів / В.І. Мороз, О.В. Фомін // Зб.наук.праць 107. - Харків: УкрДАЗТ, 2009. - Вип. –С 173-179. 5.Мороз, В.І. Визначення структури матеріалоемності залізничного напіввагону з використанням блочно-ієрархічного описання його конструкції [Текст]/ В.І. Мороз, О.В Фомін // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2010. – Вип.№.21.- С.101-109 6.Мороз, В.І. Математичний запис задачі оптимізаційного проектування піввагонів за критерієм мінімальної матеріалоемності [Текст]/ В.І. Мороз, О.В Фомін // Зб. наук. праць.- Харків: УкрДАЗТ, 2009.- Вип. 111. - С. 121-131. 7.Нормы расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) [Текст]. М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 354с. 9.Мороз, В.І. Блочно-ієрархічне описання конструкції напіввагонів виробництва ДП «Укрспецвагон» [Текст] / В.І. Мороз, О.В. Фомін / 69 Міжнародна науково-практична конференція: «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» 2009 (21.05.2009-22.05.2009), Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (ДНУЗТ) 2009г. – С. 35,36. 10. Мороз, В.І. Оптимізаційне проектування обв'язування верхнього стіни бокової піввагонів моделі 12-9745 з метою зниження матеріалоемності [Текст]/ В.І. Мороз, О.В. Фомін, К.В. Сидоренко, В.П. Білаш, В.В Фомін // Зб. наук. праць.- Харків: УкрДАЗТ, 2010.- Вип. 119.- С. 163-168 11. Мороз, В.І. Модернізація стійки вертикальної стіни бокової універсальних напіввагонів вітчизняного виробництва [Текст]/ В.І. Мороз, О.В. Фомін, // Зб. наук. праць.- Харків: УкрДАЗТ, 2011.- Вип. 123.- С. 196-201 12.Мороз, В.І. Визначення розрахункових резервів міцності елементів конструкції стіни торцевої напіввагону моделі 12-9745[Текст]/ В.І. Мороз, О.В Фомін // Зб. наук. праць. – Луганськ: СНУ ім. В.Даля, 2010. – Вип.№.1(143) Ч.2.- С.118-124 13.Мороз, В.І. Оптимізаційне проектування конструкції стіни торцевої піввагону моделі 12-9745 за критерієм мінімальної матеріалоемності [Текст]/ В.І.

УДК 621.9 – 621.98

А.А.ДУДНИКОВ, канд.техн.наук, проф., Полтавская государственная аграрная академия

А.И.БЕЛОВОД, канд. техн. наук, доц., Полтавская государственная аграрная академия

В.В. ДУДНИК, асс., асп., Полтавская государственная аграрная академия

А.В. КАНИВЕЦ, асс., асп., Полтавская государственная аграрная академия

А.А КЕЛЕМЕШ, маг., Полтавская государственная аграрная академия

ВИБРАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

Показаны аспекты проблемы вибрационной технологии; общие закономерности, технологические аспекты, практическое применение. Дано обобщение подхода к сущности процесса вибрационных колебаний.

Ключевые слова: долговечность, поверхностное пластическое деформирование, кристаллическая решетка, упрочняющая обработка.

Показані аспекти проблеми вібраційної технології; загальні закономірності, технологічні аспекти, практичне застосування. Дано узагальнення підходу до суті процесу вібраційних коливань.

Ключові слова: довговічність, поверхнева пластична деформація, кристалічна решітка, зміцнююча обробка.

The aspects of problem of oscillation technology are shown; general conformities to law, technological aspects, practical application. Generalization of going near essence of process of oscillation vibrations is Given.

Keywords: longevity, superficial flowage, crystalline grate, consolidating treatment.

Введение

К числу важнейших задач при изготовлении и восстановлении машин относятся проблемы повышения их качества, надёжности и долговечности.

В условиях больших скоростей и нагрузок контактирующих поверхностей возрастают требования к износостойкости, сопротивлению ударным нагрузкам и усталостной прочности деталей, что, в большинстве случаев, обеспечивается приданием их поверхностному слою необходимых физико-механических свойств.

В связи с неравномерным распределением напряжений по сечению деталей, а также в виду ослабления наружного слоя металла из-за большого количества различных дефектов механического происхождения, усталостное разрушение работающих деталей, в большинстве случаев, начинается с поверхностного слоя.

Постановка проблемы

С целью увеличения надёжности и долговечности деталей машин необходимы дальнейшие комплексные исследования теоретического и прикладного характера. Необходимо решение таких аспектов проблемы, как

механика взаимодействия обрабатывающего инструмента с поверхностью обрабатываемых деталей; влияние параметров вибрационных колебаний на состояние обрабатываемого материала; конструктивного исполнения вибрационных установок; влияние условий вибрационной упрочняющей обработки на качество поверхности и эксплуатационные свойства деталей различного назначения; разработка новых технологических схем; исследование технологических возможностей и изыскание новых областей технологического применения колебаний.

Анализ основных исследований и публикаций по данной проблеме

Работами ряда учёных [1...4] доказана сложность общей физической природы процессов вибрационной технологии в виду таких явлений, как удар, кавитация, абразивное изнашивание, многоконтактное взаимодействие обрабатываемых предметов, взаимодействие ударных волн с материалом и др.

В машиностроении используется более тридцати [2] методов поверхностного пластического деформирования. Однако, универсального, пригодного для большого ассортимента изготавливаемых деталей, особенно работающих в тяжелых эксплуатационных условиях, не существует. В связи с этим для конкретных деталей подбирают тот или иной технологический процесс в наибольшей мере удовлетворяющий требованию повышения их эксплуатационных характеристик с учетом экономической целесообразности.

Проводятся исследования по созданию новых методов поверхностного пластического деформирования, обеспечивающих в сравнении с существующими большую эффективность упрочняющей обработки. Так, появившиеся в последнее время ультразвуковое и лазерное упрочнение [5] обеспечивают высокую степень упрочнения материала поверхностного слоя обрабатываемых деталей. Однако сложность и дороговизна применяемого оборудования, высокая энергоёмкость процесса упрочнения препятствует широкому их использованию, поскольку существенно сказываются на себестоимости обрабатываемых деталей.

Следует отметить, что далеко не изучены эффективные методы динамического упрочнения. Вибрационные технологии существенно отличаются от традиционных методов обработки. Нетрадиционный подход позволяет создавать новые технологические процессы, способствующие разработке экологически чистых ресурсосберегающих технологий, характеризующиеся более высокой интенсивностью и производительностью.

Для обоснования оптимальных параметров вибрационного упрочнения различных деталей машин необходимо проведение исследований в развитии упомянутой проблемы.

Целью исследования является раскрытие особенностей вибрационной упрочняющей обработки деталей, изучение влияния технологических параметров вибрационного деформирования на качественные показатели обработки поверхностного слоя изготавливаемых и восстанавливаемых деталей.

Результаты исследований

Долговечность деталей определяется не только рациональной их конструкцией и качеством их материала, но и в значительной степени зависит от технологических процессов, определяющих собой качество поверхностного слоя

деталей. Дефекты поверхности служат очагами зарождения усталостной трещины и определяют преждевременное разрушение детали. Стремление повысить долговечность деталей путем снижения шероховатости их поверхности, которое обычно достигается шлифованием или полированием, не дает желаемого результата, поскольку возникающие при этом в поверхностном слое материала остаточные напряжения растяжения, величина которых может достигать весьма существенных значений, не препятствуют росту усталостных трещин. Установлено, что повышению усталостной прочности деталей способствует наличие в поверхностном слое их материала остаточных напряжений сжатия [6]. В связи с этим, одной из главных задач при решении вопроса повышения надежности и долговечности деталей сельскохозяйственных машин следует считать выбор таких операций и режимов обработки, которые обеспечивали бы в поверхностном слое материала деталей наличие сжимающих остаточных напряжений.

Одним из основных путей решения данной задачи является вибрационное упрочнение поверхностного слоя изготавливаемой (восстанавливаемой) детали. Использование поверхностного пластического деформирования является высокоэффективным средством уменьшения шероховатости поверхности, образования в поверхностном слое деталей остаточных напряжений сжатия, повышения поверхностной твердости и износостойкости, что в совокупности приводит к значительному повышению ресурса и надежности машин.

При упрочнении деталей вибрационным деформированием пластическая деформация поверхностного слоя их материала, возникающая под действием усилий от обрабатывающего инструмента, изменяет его физико-механические свойства. Степень деформации и ее последствия зависят от характера ее протекания, а также от ее режимов, первоначального состояния материала, его микроструктуры, шероховатости, формы, геометрических размеров и других факторов.

Явление деформационного упрочнения может быть объяснено на основе теории дислокаций, основывающейся на общих предположениях о вкладе неподвижных и свободных дислокаций в формирование внутренних напряжений. Упрочнение материала связано с образованием барьеров для движущихся дислокаций между собой и другими дефектами кристаллической решетки. По мнению академика Т.С. Скобло увеличение степени деформации обрабатываемого материала вызывает уменьшение пути пробега дислокаций и, следовательно, увеличение их плотности и взаимодействия. Сплетения дислокаций (клубки) создают препятствия продвижению остальных дислокаций, что приводит к упрочнению и формированию полос скольжения.

При вибрационной обработке периодически происходит отрыв поверхности рабочей части инструмента от обрабатываемой поверхности детали. При этом происходит микропроцесс разгрузки контактируемых поверхностей инструмента и детали.

При вибрационном деформировании в момент отрыва инструмента от обрабатываемой поверхности траектории максимальных касательных напряжений будут располагаться к обрабатываемой поверхности под углом,

изменяющимся от 45° до 90°. Следовательно, при вибрационном деформировании усилие и величина деформации в радиальном направлении обрабатываемой детали будут иметь большее значение по сравнению с обычной обработкой. Это вызывает и большее упрочнение обрабатываемой поверхности.

Исследованиями установлено влияние вида обработки на характер напряженного состояния. Величина удельного давления на обрабатываемую поверхность в 2,5 раза меньше при вибрационном упрочнении по сравнению с традиционной обработкой поверхностным пластическим деформированием.

Теоретически установлено, что при вибрационной обработке коэффициент трения между обрабатываемой поверхностью и обрабатывающим инструментом в 2,37 раза меньше.

Расчетные значения степени уплотнения приведены в табл. 1.

Таблица 1. Значения степени уплотнения

Материал	Степень	
	при обычном деформировании	при вибрационном деформировании
Сталь 65Г	0,042	0,059
Сталь 45, сормайт	0,035	0,048
Сталь 65Г, сормайт	0,028	0,039

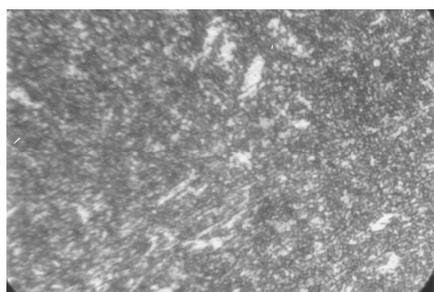


Рис. 1. Микроструктура стали 45 после вибрационного деформирования, × 200

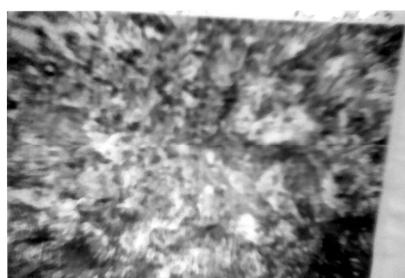


Рис. 2. Микроструктура материала образцов без обработки, × 200

Проведенными исследованиями установлено, что образцы имеют ферритно-перлитную основу. У поверхности перлит более плотный. Замеры микротвердости производились вблизи шлифованной поверхности на расстоянии 5 мкм и в сердцевине основного металла (табл. 2).

Таблица 2. Значения микротвердости

Н-50 в сердцевине	Н-50, на глубине 5 мкм			
	до обработки	после 20 с	после 40 с	после 60 с
320	360	390	420	435

Результаты исследований показывают, что после вибрационной обработки микротвердость поверхностных слоев по сравнению с исходной повышена на 12...35 %.

Глубина деформированного слоя образцов из стали 65Г, подвергнутых вибрационному деформированию в 1,85 раза меньше, чем у образцов из стали 65Г с приваркой шин из стали 45 с наплавкой сормайтом.

Выводы

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Повышение надежности и долговечности деталей сельскохозяйственных машин может быть достигнуто применением пластического поверхностного деформирования с использованием вибрационных колебаний обрабатываемого инструмента.

2. Упрочнение материала обрабатываемых деталей связано с образованием барьеров для движущихся дислокаций между собой и другими дефектами кристаллической решетки.

3. При вибрационной обработке степень упрочнения в 1,37 раза больше, чем при обычной обработке, что способствует повышению износостойкости восстановленных деталей методом вибрационного упрочнения.

Список литературы: 1. *Бабичев А.П.* Основы вибрационной технологии [Текст] / А.П. Бабичев. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2003. – 191с. 2. *Бабичев А.П.* Основы вибрационной технологии [Текст] / А.П. Бабичев, И.А. Бабичев. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2008. – 694с. 3. *Берник П.С.* Тенденції роз витку конструктивних схем машин для обробки деталей у вільно-гранульованому середовищі [Текст] / П.С. Берник. – Машинознавство. 1998. – №3. – С. 37-38. 4. *Каледін Б.А.* Повышение долговечности деталей поверхностным деформированием [Текст] / Б.А. Каледін, П.А. Чепя. – Минск: Наука и техника, 1974. – 230 с. 5. *Микотин В.Я.* Технология ремонта сельскохозяйственных машин [Текст] / В.Я. Микотин. – М.: Агропромиздат, 2000. – 368 с. 6. *Карпенко Г.В.* Упрочнение стали механической обработкой [Текст] / Г.В. Карпенко, Ю.Н. Бабей. – К.: Накова думка, 1996. – 340 с.

Поступила в редколлегию 27.05.2011

УДК 621.165

Ю.А.БЫКОВ, канд. техн. наук, Институт проблем машиностроения им А.Н. Подгорного НАН Украины, Харьков

В.И.ГНЕСИН, докт.техн.наук, проф., зав.отд., Институт проблем машиностроения им А.Н. Подгорного НАН Украины, Харьков

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОУПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ ЛОПАТОК ТУРБОМАШИН

Представлены математическая модель и численный метод моделирования термоупругих колебаний лопаток турбомашин. Приведены результаты моделирования термоупругих колебаний лопатки газовой турбины с охлаждением.

Ключевые слова: численные методы в теории упругости, динамика лопаток турбомашин, термоупругость.

Представлено математичну модель и чисельний метод моделювання термопружних коливань лопаток турбомашин. Наведено результати моделювання термопружних коливань лопатки газової турбіни з охолодженням.

Ключові слова: чисельні методи в теорії пружності, динаміка лопаток турбомашин, термопружність.

In the paper mathematic model and numerical method of simulation of thermoelastic vibrations of turbomachine blades is presented. The results of the simulation of thermoelastic vibrations of turbine cooled blade are demonstrated.

Key words: numerical methods in elasticity theory, turbomachine blade dynamics, thermoelasticity.

1. Введение

Часто используемым способом повышения эффективности турбин современных ГТД является увеличение температуры на входе в первые ступени турбины. Причина использования высоких температур кроется в повышении давления для процесса адиабатического расширения, следовательно, в возможности создания большей удельной работы при расширении газа в турбине. Сегодня входные температуры рабочего колеса газовой турбины достигли уровня, намного превосходящего температуры плавления материала турбины.

Для снижения температуры лопатки применяются различные технологии охлаждения. Значительная разница в температурах воздуха из камеры сгорания и охлаждающего воздуха из компрессора приводит к существенным температурным напряжениям в теле лопатки. Это обстоятельство бросает вызов существующим методикам оценки надежности работы лопаточных аппаратов, в частности, определения условий возбуждения автоколебаний лопаток в различных режимах работы турбины. Таким образом, возникает проблема надежности лопаточных аппаратов с учетом повышенных тепловых нагрузок на лопатки. В частности, до последнего времени не была исследована проблема понижения уровня вибраций, в том числе по выявлению возможных автоколебаний лопаток, в условиях значительного перепада температур в лопатках, имеющих сложную структуру в связи с наличием каналов охлаждения. Проблема чересчур сложна для экспериментальных исследований, поэтому с помощью внедрения в практику проектирования современных методов и средств численного моделирования возможно существенно снизить затраты на экспериментальный поиск оптимальных материалов и режимов эффективной работы турбины.

Таким образом, актуальной проблемой на данный момент является проблема численного моделирования взаимодействия натекающего потока и колебаний лопаток с учетом значительной температурной неравномерности и сложной конструкции лопатки в первых ступенях газовых и паровых турбин. Важность учета указанных параметров подтверждается исследованиями других авторов [1].

Одной из задач, необходимых для решения данной проблемы, является моделирование упругих колебаний лопатки турбомшины в сочетании с моделированием задачи теплопроводности в лопатке. Решение данной задачи заключается в интегрировании уравнений термоупругости. В статье рассмотрена математическая модель и численный метод решения динамических уравнений термоупругости лопатки. Основным методом для решения задачи термоупругости является метод конечных элементов [2].

2. Математическая модель

Ставится задача по решению динамических уравнений термоупругих колебаний лопатки турбомшины в трех пространственных измерениях. Материал лопатки предполагается изотропным. Движение точек тела лопатки и изменение температуры описывается системой уравнений [3,4,5]:

$$\rho \frac{\partial^2 \vec{u}}{\partial t^2} = (\lambda + \mu) \nabla \operatorname{div} \vec{u} + \mu \Delta \vec{u} + \rho \vec{f} - \gamma \operatorname{grad} \theta$$

$$\frac{1}{\chi} \frac{\partial \theta}{\partial t} = \Delta \theta - \eta \frac{\partial}{\partial t} \operatorname{div} \vec{u} + \frac{Q}{\chi} \quad (1)$$

где \vec{u} – вектор смещения точки в теле; ρ – плотность; \vec{f} – вектор массовых сил; $\mu = \frac{E}{2(1+\nu)}$, $\lambda = \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)}$ – коэффициенты Ламе; E – модуль Юнга; ν – коэффициент Пуассона; $\gamma = (3\lambda + 2\mu)\alpha$; α – коэффициент линейного теплового расширения; $\theta = T - T_0$ – девиация температуры; χ – коэффициент температуропроводности; $\eta = \frac{\gamma T_0}{k}$; k – коэффициент теплопроводности; Q – интенсивность источников тепла. Уравнения (1) дополняются граничными условиями на поверхностях лопатки: в корневом сечении $\vec{u} = 0$; на поверхности $\sigma_{ij} n_j = p_i$, где σ_{ij} – тензор напряжений; n_j – вектор нормали к поверхности; p_i – вектор внешних сил; для θ задается значение на границах тела $\theta = \theta_w$, либо тепловой поток $\frac{\partial \theta}{\partial n} = \frac{\partial \theta}{\partial n} \Big|_w$. В случае взаимодействия с окружающей жидкостью вектор внешних сил определяется как $p_i = p n_i$, где p – давление жидкости. Также уравнения (1) дополняются начальными условиями: $\vec{u} = \vec{u}_0(x)$; $\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} = \vec{u}_1(x)$; $\theta = \theta_0(x)$.

3. Численный метод

Для численного интегрирования уравнений (1) используется комбинация ранее разработанных методов. Уравнения для температуры интегрируются методом конечных объемов второго порядка по пространственным координатам, описанным в работе [6]. Уравнения движения интегрируются методом конечных элементов, который получен модификацией метода, описанного в работе [7]. Модификация заключается в добавлении в выражение для вектора компонент тензора напряжений $\vec{\sigma}$ слагаемого, содержащего θ :

$$\vec{\sigma} = \begin{Bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{33} \\ \sigma_{12} \\ \sigma_{23} \\ \sigma_{13} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda + 2\mu & \lambda & \lambda & 0 & 0 & 0 \\ \lambda & \lambda + 2\mu & \lambda & 0 & 0 & 0 \\ \lambda & \lambda & \lambda + 2\mu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mu & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \mu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{33} \\ 2\varepsilon_{12} \\ 2\varepsilon_{23} \\ 2\varepsilon_{13} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} -\gamma\theta \\ -\gamma\theta \\ -\gamma\theta \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Здесь ε_{ij} – компоненты тензора деформации. Дальнейшая процедура интегрирования остается неизменной. Интегрирование уравнений (1) производится совместно, с использованием одинакового шага по времени.

4. Результаты

В качестве объекта моделирования было выбрано турбинную лопатку стандартной конфигурации №4 [8] с характерными размерами: хорда $c = 0,0744$ м; высота $h = 0,04$ м.

Лопатка являлась цилиндрической с постоянным профилем по всей высоте и была снабжена каналами охлаждения, профиль лопатки показан на рис. 1.



Рис. 1. Сечение лопатки с охлаждающими каналами

Моделирование колебаний было выполнено для следующих граничных условий: температура охлаждающих каналов $T_c = 800$ К; температура внешней поверхности $T_w = 1000$ К; в качестве начальных условий для температуры использовался результат расчета температурного поля при заданных граничных условиях; в качестве начальных условий деформации была выбрана линейная комбинация первых четырех собственных форм колебаний лопатки с амплитудой 0,1 мм (далее вариант №1). Количество шестигранных ячеек расчетной сетки составляло 4158. Для сравнения было выполнено моделирование упругих колебаний этой же лопатки при тех же начальных условиях и стационарном распределении температуры (путем принятия коэффициента линейного теплового расширения α равным 0, далее вариант №2). Материал лопатки предполагается изотропным, с переменным модулем Юнга E , соответствующим углеродистой стали; коэффициент Пуассона $\nu = 0,3$; плотность $\rho = 7,8 \cdot 10^3$ кг/м³. Зависимость модуля Юнга E от температуры представлена на табл. 1.

Таблица 1. Зависимость модуля Юнга E от температуры T .

T, K	300	350	425	475	525	575	650	700	750	800	850	925
E, M Па	206	203	200	197	193	190	183	177	169	161	145	108

Результаты моделирования представлены на табл. 2 в виде значений собственных частот колебаний по первым четырем собственным формам для двух вариантов моделирования. Собственные частоты колебаний определялись в результате частотного анализа сдвига узлов расчетной сетки.

Таблица 2. Собственные частоты колебаний лопатки, Гц.

форма №	1	2	3	4
вариант №1	4096,28	6360,32	10050,19	11301,54
вариант №2	4095,48	6453,50	10080,11	11418,03

Среднее относительное отличие представленных данных для вариантов 1 и 2 не превышает 0,7%, максимальное отличие составляет 1,4%, т.е. является несущественным. Амплитуды колебаний температуры в различных частях лопатки отличаются незначительно, максимальные значения наблюдались в слоях, прилегающих к внешней стенке лопатки, где наблюдались максимальные значения температуры. Частота колебаний с максимальной амплитудой составляла 1590757 Гц, однако такой же порядок амплитуды имели колебания с частотой 4097 и 34297 Гц, соответствующие 1-й и 12-й собственным частотам. Значения амплитуды колебаний температуры достигали 6°. Таким образом, основные частоты колебаний температуры значительно выше частот, на которых возможно возникновение автоколебаний лопатки, т.е. данное явление, с большой

долей вероятности, оказывает несущественное влияние на аэроупругое поведение лопатки турбомашин.

5. Заключение

Представленные результаты численного моделирования термоупругих колебаний турбинных лопаток с охлаждением демонстрируют достаточную адекватность выбранного численного метода интегрирования уравнений термоупругости. Данный метод позволяет моделировать колебания лопаток турбомашин с учетом важных тепловых явлений в турбомашине. В то же время полученные результаты ставят под сомнение необходимость использования уравнений термоупругости в лопатках при решении задач аэроупругости, при этом не умаляя важности термоупругих явлений для задач прочности и термодинамики турбомашин. Дальнейшее развитие метода заключается в использовании его для решения проблемы аэротермоупругости турбомашин.

Список литературы: 1. *Воробьев Ю.С.* Влияние температурной неоднородности на колебания охлаждаемых монокристаллических лопаток газовых турбин / Ю.С. Воробьев, К.Ю. Дьяконенко, С.Б. Кулишов, А.Н. Скрицкий // Вестник двигателестроения. – №3 – 2009. – С.140-143. 2. *Победра Б.Е.* Численные методы в теории упругости и пластичности. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 366 с. 3. *Купрадзе В.Д.* Трехмерные задачи математической теории упругости и термоупругости. – М.: Наука. – 1976. – 664 с. 4. *Коваленко А.Д.* Термоупругость. – К.: Вища школа. – 1975. – 216 с. 5. *Новацкий В.* Динамические задачи термоупругости. – М. Мир – 1970. – 256 с. 6. *Быков Ю.А.* Численное моделирование течения в решетке колеблющихся профилей с учетом теплообмена. / Пробл. машиностроения. – 2009. – Т.12, №5 – С. 36-41. 7. *Быков Ю.А.* Численное моделирование упругих колебаний лопаток турбомашин / Ю. А. Быков, В. И. Гнесин // Вост.-Европ. журн. передовых технологий. – №3/7. – 2011. – С.62-65. 8. *Bolcs A.* Aeroelasticity in Turbomachines. Comparison of Theoretical and Experimental Cascade Results / A. Bolcs, T.H. Fransson // Communication du Laboratoire de Thermique Appliquée et de Turbomachines, Lausanne, EPFL. – 1986. – №13. – 230 p.

Поступила в редколлегию 27.07.2011

УДК 621.9- 621.98

И.А. ДУДНИКОВ, канд. техн. наук, доц., декан, ПГАА, г. Полтава

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЁВ ДЕТАЛЕЙ

Даётся классификация технологических процессов улучшения качества материала поверхностных слоёв деталей сельскохозяйственных машин.

Ключевые слова: качество поверхности, износостойкость, упрочнение, надёжность.

Дається класифікація технологічних процесів покращення якості матеріалу поверхневих шарів деталей сільськогосподарських машин.

Ключові слова: якість поверхні, зносостійкість, зміцнення, надійність.

Classification of technological processes of improvement of quality of material of superficial layers of details of agricultural machines is given.

Keywords: quality of surface, wearproofness, work-hardening, reliability.

1. Введение

Для современных машин характерны такие направления повышения их надёжности: применение прогрессивных технологических процессов

восстановления деталей и сборочных единиц, позволяющих существенно улучшить их качественные показатели; применение более прочных материалов, обеспечивающих повышенную износостойкость; разработка упрочняющих технологий поверхности ответственных деталей [1].

Для повышения долговечности деталей применяются различные технологические процессы упрочнения: физико-химическая обработка рабочих поверхностей деталей, термическая, поверхностное пластическое деформирование, наплавка поверхностей, гальванические покрытия, электроэрозионное легирование (ЭЭЛ) и др.

Основной задачей перечисленных методов является повышение качественных параметров поверхностного слоя: повышение твердости и микротвёрдости обрабатываемого материала деталей, снижение шероховатости, повышение износостойкости и восстановление изношенных поверхностей и т.п.

2. Постановка проблемы

С целью увеличения надёжности и долговечности деталей машин, путем придания их поверхностному слою требуемых физико-механических свойств, в машиностроении широко используют различные методы поверхностного пластического деформирования, являющиеся одним из наиболее простых и эффективных методов упрочнения. При этом в поверхностном слое происходят структурные изменения, повышается его твердость и прочность, образуются благоприятные сжимающие напряжения, снижается шероховатость обрабатываемых поверхностей. Это способствует повышению надёжности и долговечности деталей, в особенности подвергаемых абразивному износу в процессе эксплуатации.

Несмотря на большое количество используемых методов, универсального, пригодного для всего многообразия изготавливаемых деталей не существует.

В связи с этим, в каждом отдельном случае для конкретных деталей подбирают тот или иной метод, в наибольшей мере удовлетворяющий требованию повышения их эксплуатационных характеристик, учитывая его экономическую целесообразность.

3. Анализ основных исследований и публикаций по данной проблеме

Для получения высокой твердости поверхностного слоя детали с сохранением вязкой сердцевины, что обеспечивает защитные свойства поверхности с механической прочностью основы, применяют поверхностную закалку или химико-термическую обработку. Среди ряда методов поверхностной закалки (в расплавленных металлах, электроток высокой частоты, пламенная закалка), в практике наиболее широкое применение нашел способ высокочастотной закалки при нагреве поверхностного слоя детали переменным током высокой частоты (ТВЧ).

К основным преимуществам данного метода можно отнести: возможность контролировать глубину закалённого слоя от долей миллиметра до 10мм, минимальное коробление. Закалка ТВЧ применяется только в массовом и крупносерийном производстве из-за высокой стоимости оборудования и самого технологического процесса [2].

Одним из направлений повышения износостойкости деталей является создание на их поверхностях слоев химических соединений, свойства которых отличаются от свойств основных металлов. К такой категории методов следует отнести: цементацию, азотирование, хромирование и ряд других, которые в основном находят применение в машиностроении преимущественно для улучшения противозадирных и антифрикционных качеств деталей машин, которые работают в тяжёлых условиях трения.

При цементации, в результате насыщения поверхностного слоя деталей углеродом, получается высокоуглеродистый поверхностный слой (0,5-2,5мм) и мягкая сердцевина [3].

Основной недостаток цементации – возникновение в поверхностном цементированном слое напряжений сжатия, а в сердцевине – напряжений растяжения, что приводит к значительной деформации детали.

Процесс азотирования (диффузионное насыщение азотом поверхностей стальных деталей) проводят при температуре 500-600°C в шахтной электрической печи. Продолжительность выдержки в зависимости от требуемой глубины слоя и температуры процесса задают из расчёта 15ч на 0,1мм азотированного слоя.

В результате наличия в азотированном слое остаточных напряжений сжатия предел выносливости деталей значительно повышается.

Азотированию подвергаются детали, от которых требуется высокая износостойкость и микротвёрдость поверхностного слоя и стойкость к коррозии.

В последнее время получил распространение в промышленности процесс азотирования ионизированным азотом в плазме тлеющего разряда – ионное азотирование (ИА).

Преимущества данного метода по сравнению с обычным жидкостным и газовым азотированием состоит в возможности целенаправленного контроля структуры получаемого поверхностного слоя, меньшее коробление, экологическая безопасность процесса, сокращение продолжительности обработки.

Борирование – процесс диффузионного насыщения поверхности детали соединениями бора в виде боридов железа, применяют для повышения износостойкости деталей в том числе работающих при знакопеременных и ударных нагрузках или в агрессивных и абразивных средах.

Технологический процесс хромирования обычно используют для повышения жаро-, износо-, кавитационной и коррозионной стойкости деталей машин в машиностроительной, химической, приборостроительной и других отраслях промышленности. Хромирование повышает окалиностойкость. Твёрдость хромированного слоя повышается с увеличением содержания углерода и может достигать HV1300 при глубине слоя до 0,3мм.

Недостатком метода являются: малая толщина слоя при большой продолжительности и сложности процесса, коробление деталей.

Металлизация напылением заключается в распылении расплавленного металла струёй сжатого воздуха и осаждении его на предварительно подготовленную поверхность детали.

Несмотря на достаточную простоту и производительность, метод имеет существенные недостатки: высокая пористость (до 10%), снижение сопротивления усталости, неудовлетворительная работа в условиях трения без смазки. Применяется, как правило, для восстановления шеек валов, коленвалов, вкладышей подшипников и т.п.

Для упрочнения и нанесения защитных покрытий в машиностроении применяют метод ЭЭЛ – перенесение легирующего материала анода на легируемую поверхность при искровом разряде в воздушной среде. Этим методом можно в широких пределах изменять механические, термическая, и другие свойства рабочих поверхностей деталей.

К основным особенностям ЭЭЛ следует отнести локальную обработку поверхности, высокую прочность сцепления нанесенного материала с основой, отсутствие необходимости специальной подготовки поверхности [4].

Недостатками метода являются: возникновение в поверхностном слое растягивающих остаточных напряжений, снижение усталостной прочности.

Метод лазерного термоупрочнения поверхности детали основан на использовании явления высокоскоростного разогрева металла под давлением лазерного луча до температур, превышающих температуру фазовых превращений и последующего высокоскоростного охлаждения за счёт отвода тепла с поверхности в основную массу металла [5].

При обработке лучом лазера, как и при обычной закалке, в поверхностном слое образуется мартенсит и остаточный аустенит. Микротвёрдость в зоне обработки повышается за счёт того, что в зоне быстрого нагрева и охлаждения образуется более мелкозернистый мартенсит. Глубина упрочненного слоя достигает 0,2мм.

К преимуществам можно отнести: возможность высокопроизводительного упрочнения локальных участков деталей в местах их интенсивного износа; отсутствие деформации детали и возможность обработки без увеличения шероховатости, что создает возможность исключить финишную обработку.

Недостатки метода: невозможность восстановления размеров изношенных участков, низкая производительность упрочнения больших площадей поверхности, необходимость в сложной оснастке.

4. Результаты исследований

Поверхностное пластическое деформирование, основанное на механическом методе холодного упрочнения, выполняется с целью повышения сопротивления усталости и твердости поверхностного слоя металла и формирования в нем направленных внутренних напряжений, преимущественно сжимающих напряжений, а также регламентированного рельефа микронеровностей на поверхности.

Наклёп (уплотнение) поверхностного слоя металла способствует повышению износостойкости деталей, уменьшает смятие и истирание поверхностей при наличии их контакта, и взаимное внедрение поверхностных слоев, возникающее при их механическом и молекулярном взаимодействии.

Имеются следующие способы поверхностного пластического деформирования: поверхностное обкатывание (раскатывание) роликом или

шариком, поверхностное дернование, дробеструйная обработка, чеканка, вибрационная обработка.

Сказанные способы обработки деталей имеют следующие преимущества перед другими: простота технологического процесса, небольшая трудоемкость, возможность упрочнения деталей любой формы и размеров, возможность изменения глубины упрочнения, высокая твердость упрочненных слоев.

Наиболее эффективными и перспективными, с точки зрения дальнейшего развития и использования, являются методы динамического упрочнения, базирующиеся на динамическом воздействии (ударе) инструментов или инструмента с обрабатываемой поверхностью деталей. Характерные представители этой группы методов – дробеструйная обработка и вибрационная упрочняющая обработка.

Сущность дробеструйной упрочняющей обработки состоит в том, что на подлежащую обработке поверхность детали направляется поток движущийся с большой скоростью дроби, которая при соударении пластически деформирует обрабатываемую поверхность детали. Основное преимущество дробеструйной обработки – сочетание высокой производительности процесса с обеспечением высокого уровня показателей качества упрочняющей обработки (толщина упрочнённого слоя при обработке деталей до 1мм, степень наклепа 35...40%, уровень остаточных напряжений сжатия в материале поверхностного слоя детали – до 750...800МПа).

Основой вибрационного упрочнения является динамический характер протекания процесса, сопровождающийся множеством микроударов частиц обрабатывающей среды по поверхности обрабатываемой детали и обеспечивающий пластическое деформирование поверхностного слоя.

Наиболее наглядны преимущества методов виброупрочнения при обработке деталей сложной конфигурации, упрочнении внутренних поверхностей деталей, обработке больших партий мелких деталей.

Методы ППД, принадлежащие к группе динамического упрочнения, благодаря наличию ударного взаимодействия инструмента с деталью, в сравнении с другими методами, обеспечивают более высокую степень упрочнения и уровень остаточных напряжений сжатия, что, в конечном итоге, способствует повышению усталостной прочности деталей, в особенности, подвергаемых в процессе эксплуатации знакопеременным циклическим нагружениям.

Высокая производительность методов упрочнения этой группы способствовала их распространению как в различных отраслях машиностроения, так и в ремонтном производстве при восстановлении деталей машин.

Вибрационная обработка деталей способствует повышению пластичности их материала. На пластичность оказывает влияние не только схема главных напряжений, но и абсолютная их величина, которая характеризуется средним давлением. Чем больше абсолютная величина, которая характеризуется средним давлением. Чем больше абсолютная величина среднего давления сжатия, тем выше пластичность. Это можно объяснить тем, что при высоком давлении металл уплотняется, всевозможные нарушения целостности ликвидируются,

межкристаллическая деформация затрудняется, а внутрикристаллическая облегчается, что увеличивает пластичность и сопротивление деформации [6].

Установлено, что чем меньшую роль в схеме главных напряжений играют растягивающие напряжения и чем большую – играют сжимающие, тем большую способность к пластической деформации проявляет металл.

Следует отменить, что в настоящее время существует большое количество различных методов повышения поверхностных слоев деталей, каждый из которых имеет свои достоинства и недостатки (таблица).

Таблица. Достоинства и недостатки технологических методов повышения качества поверхностных слоев.

Характеристика качества поверхностного слоя	Методы повышения качества поверхностного слоя
Достоинства	
1. Повышение твердости	Закалка ТВЧ, цементация, термодиффузионное хромирование, наплавка, вибрационная обработка
2. Повышение износостойкости	Вибрационная обработка, цементация, азотирование, термодиффузионное хромирование, гальванопокрытия, ЭЭЛ
3. Повышение коррозионной стойкости	Вибрационная обработка, ИА, азотирование, термодиффузионное хромирование, гальванопокрытия, ЭЭЛ
4. Возможность восстановления изношенных поверхностей	Вибрационная обработка, наплавка, гальванопокрытия, металлизация напылением, ЭЭЛ
5. Повышение усталостной прочности	Вибрационная обработка, закалка ТВЧ, цементация, ИА, термодиффузионное хромирование, ППД
6. Снижение шероховатости	Вибрационная обработка, ППД
7. Экологическая безопасность	Вибрационная обработка, ТВЧ, ИА, ППД, ЭЭЛ
Недостатки	
1. Коробление	Закалка ТВЧ, цементация, ИА, термодиффузионное хромирование, наплавка, гальванопокрытия, металлизация напылением
2. Увеличение шероховатости	Наплавка, гальванопокрытия, металлизация напылением, ЭЭЛ
3. Снижение усталостной прочности	Наплавка, гальванопокрытия, металлизация напылением, ЭЭЛ
4. Невозможность восстановления изношенных поверхностей	Закалка ТВЧ, цементация, азотирование, ИА, термодиффузионное хромирование
5. Повышенная экологическая безопасность	Цементация, азотирование, термодиффузионное хромирование, наплавка, гальванопокрытия, металлизация напылением

5. Выводы

Проведенные исследования, позволили, обоснованно, из всех рассмотренных методов повышения качества поверхностных слоев деталей выделить, как наиболее перспективный, метод вибрационного упрочнения, который обладает практически всеми достоинствами перечисленных выше методов, а во многих случаях превосходит их.

Список литературы: 1.Постанова Кабінету Міністрів України від 30 травня 2007 р. № 785 "Про затвердження Державної цільової програми реалізації технічної політики в агропромисловому комплексі на період до 2011 року". 2. *Гуляев А.П.* Металловедение / А.П. Гуляев. –М.: Металлургия, 1977. – 646 с. 3.*Полевой С.Н.* Упрочнение металлов/ С.Н. Полевой, В.Д. Евдокимов. –М.: Машинностроение, 1986. – 319 с. 4.*Верхутов А.Д.* Технология электроискрового легирования металлических покрытий/ А.Д. Верхутов, И.М. Муха. –К.: Техника, 1982. – 181 с. 5.*Коваленко А.Д.* Упрочнение деталей пучком лазера/ А.Д. Коваленко, Л.Ф. Головкин, Г.В. Меркулов, А.И. Стрижак. К.: Техника, 1981. – 131 с. 6.*Дудніков І.А.* Розрахунок напруженого стану відновлюваних циліндричних деталей / І.А. Дудніков, О.І. Біловод // Вібрації в техніці та технологіях. – Вінниця. - 2005. – №1.-35-37.

Поступила в редколлегию 27.08.2011

УДК 66.087.2 : 544. 567

І.А.КРАВЕЦЬ, докт.техн.наук, проф., голов. наук. співр., Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Київ

А.П. АНДРІЄВСЬКИЙ, канд. військ. наук, ст. наук. співр. науково-дослідного відділу, підполковник, Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, Київ

М.О. МИКОЛЕНКО, нач. управління, полковник, управління Північного територіального командування внутрішніх військ Міністерства внутрішніх справ України, Київ

І.П. МУСІЄНКО, інспектор Головної технічної інспекції Міністерства оборони України, підполковник, Головна технічна інспекція Міністерства оборони України, Київ

СПОСІБ ЗБІЛЬШЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО РЕСУРСУ АГРЕГАТІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

В статті обґрунтовано рекомендації щодо застосування електромагнітної й електрохімічної технології з метою збільшення терміну використання експлуатаційних матеріалів, покращення технічного стану та збільшення експлуатаційного ресурсу пар тертя агрегатів транспортних засобів військових формувань України.

Ключові слова: технічний стан, пара тертя, експлуатаційні матеріали

В статье обосновано рекомендации по применению электромагнитной и электрохимической технологии с целью увеличения срока использования эксплуатационных материалов, улучшения технического состояния и увеличения эксплуатационного ресурса пар трения агрегатов транспортных войсковых формирований Украины.

Ключевые слова: техническое состояние, пара трения, эксплуатационные материалы

In the article it is proved recommendations about application of electromagnetic and electrochemical technology for the purpose of increase the term of use of the operational materials, the improvements of a technical condition and increase in an operational resource of the pairs of friction of the transport units of the army formations of Ukraine.

Key words: technical condition, pairs of friction, operational materials

Постановка проблеми в загальному вигляді.

Військові формування України під час своєї службової діяльності застосовують транспортні засоби, двигуни внутрішнього згорання та інші агрегати з парами тертя яких працюють у важких умовах. Продовжують експлуатуватися транспортні засоби, агрегати яких відпрацювали більшу частину закладеного в них ресурсу, мають знос, який спричиняє погіршення характеристик експлуатаційних матеріалів і вимагає додаткового їх витрачання під час їх експлуатації.

Однак, вимогами [1; 2] встановлено періодичність та норму додаткових витрат експлуатаційних матеріалів для техніки військових формувань України.

Виникає певне неузгодження між необхідною частотністю доливання експлуатаційних матеріалів в агрегати транспортних засобів до технічних норм та вимогами керівних документів, які значно обмежують потреби діючих транспортних підрозділів.

Недотримання технічних норм експлуатації двигунів внутрішнього згорання та інших агрегатів з парами тертя може спричинити їх відмови.

Тому пошук нових технічних рішень, спрямованих на покращення технічного стану та збільшення експлуатаційного ресурсу двигунів внутрішнього згорання та інших агрегатів з парами тертя, що встановлені на військових транспортних засобах без припинення їх експлуатації, та обґрунтування необхідності їх застосування є економічно важливим й актуальним науковим завданням.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття.

Матеріали широкого кола публікацій містять рекомендації щодо відновлення ресурсу агрегатів транспортних засобів за рахунок проведення планових їх ремонтів [2-4], що спричиняє короткочасне припинення застосування транспортних засобів.

Значна кількість наукових праць присвячена обґрунтуванню ефективності застосування різних технологій, призначених для відновлення поверхонь тертя за рахунок нанесення металокерамічного шару [5-7].

У той же час у цих працях поза увагою залишилися результати досліджень питань щодо покращення технічного стану та збільшення експлуатаційного ресурсу поверхонь тертя агрегатів транспортних засобів за рахунок застосування електромагнітних й електрохімічних технологій.

Формулювання мети статті (постановка завдання).

Тому, метою статті є рекомендації щодо покращення технічного стану та збільшення експлуатаційного ресурсу агрегатів транспортних засобів за рахунок застосування на них додаткового електромагнітного й електрохімічного обладнання.

Виклад основного матеріалу дослідження з обґрунтуванням отриманих наукових результатів.

Як відомо, транспортні засоби військових формувань застосовуються для виконання спеціальних завдань, в тому числі, у несприятливих (агресивних) погодних умовах. Це спричиняє інтенсивне зношування поверхонь тертя, погіршення якості експлуатаційних масел та скорочення експлуатаційного ресурсу агрегатів.

Проведення планових ремонтів зношених агрегатів транспортних засобів вимагають витрачання часу, коштів, сил та засобів. Проведення ремонтно-відновлювальних заходів вимагатимуть корегування плану застосування транспортних засобів, що не завжди прийнятно у разі масового їх застосування [8-11].

З метою продовження експлуатаційного ресурсу агрегатів транспортних засобів застосовуються різні експлуатаційні матеріали та способи. Наприклад, застосування «хадотехнологій» для нанесення металокерамічного шару на поверхні тертя під час застосування транспортних засобів збільшує їх ресурс, покращує експлуатаційні показники агрегатів транспортних засобів. Однак, після застосування спеціальних хадоревіталізаторів та масел з розчиненими в них присадками механічне оброблення нарощених під час експлуатації металокерамічних поверхонь погіршується. Під час проведення ремонтів виникає необхідність застосування спеціального металооброблювального обладнання.

Протягом експлуатаційного терміну будь-які мастильні матеріали втрачають свої властивості.

З метою покращення властивостей масла та застосування його для відновлення поверхонь тертя у матеріалах статті пропонується спосіб електромагнітного очищення та електрохімічної регенерації моторного масла за рахунок застосування електромагнітного та електрохімічного обладнання [12; 13].

Складові елементи електрообладнання та конструкція агрегатів транспортних засобів (двигунів внутрішнього згорання, коробок передач, редукторів тощо) [14], систем змащування двигунів внутрішнього згорання, дозволяють встановити на них додаткове електромагнітне й електрохімічне обладнання і, тим самим, створити спеціальні технічні умови безпосередньо на транспортному засобі для електромагнітного очищення й електрохімічної регенерації масла, стабілізації та фінішного відновлення геометричних поверхонь пар тертя безпосередньо під час роботи транспортного засобу. Для реалізації способу [15] (рис. 1) у магістраль подавання моторного масла 7 до масляного фільтра 8 встановлюється електромагнітний фільтр – електрохімічний регенератор 1 [16].

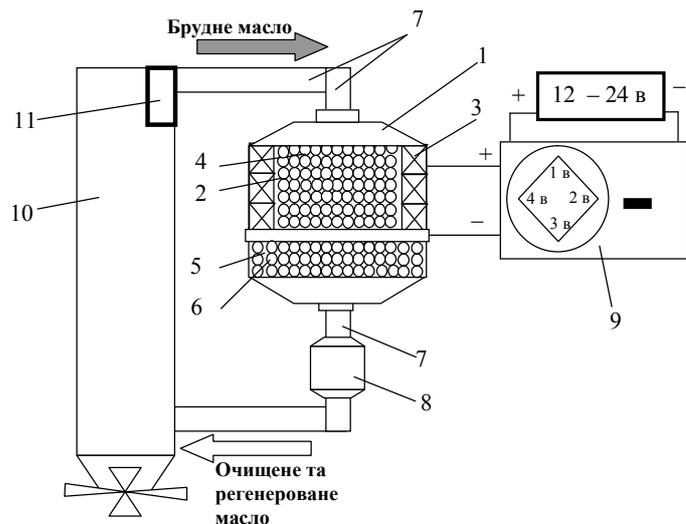


Рис. 1. Схема електромагнітного очищення й електрохімічної регенерації масла

. Виготовлений та встановлений на транспортний засіб електричний блок перетворення електричного струму 9 забезпечує перетворення та подавання в електромагнітний фільтр – електрохімічний регенератор 1 електричного струму напругою до 4 В.

Після запуску двигуна 10 транспортного засобу, моторне масло подається до електромагнітного фільтра – електрохімічного регенератора 1 під тиском за допомогою насоса 11. В електромагнітній камері 2 з соленоїдами 3 та сталевими кульками 4 виникає електромагнітне поле, яке притягає бруд до сталевих кульок з

силою

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{e^2}{4L^2} \quad (1)$$

де ϵ_0 – діелектрична проникність

e – електричний заряд електрона $e=1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл

L – розмір поверхні.

При цьому діє розривна сила F_0 між металевим брудом та маслом, яка дорівнює

$$F_0 = |e| \cdot 3E_0 \quad (2)$$

де E_0 – енергія розриву.

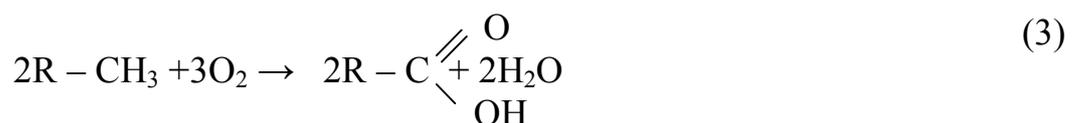
Одержимо, що $F_0 \leq F_e$.

Внаслідок цього до сталевих кульок 4 притягується бруд, який виникає внаслідок тертя, зношування, коливань температури тощо.

В електрохімічній камері 5 через розчинний метал 6 (анод), протікає струм і розчинений метал 5 потрапляє у масло та насичує моторне масло під час роботи двигуна транспортного засобу, що спричиняє регенерацію масла металевими присадками. Подальше очищення масла від залишків дрібного діамагнітного бруду очищують за допомогою масляного фільтра 8 під час роботи двигуна.

Такий спосіб забезпечує електромагнітне очищення від феромагнітних продуктів зношування поверхонь пар тертя та електрохімічну регенерацію моторного масла без припинення експлуатації транспортного засобу.

Однак, в процесі експлуатації двигунів відбувається окислення моторного масла, що значно погіршує експлуатаційні його властивості



Стабілізацію та відновлення геометричних розмірів поверхонь пар тертя без припинення експлуатації транспортних засобів можна забезпечити за рахунок трибоелектрохімічної регенерації поверхонь пар тертя, який проілюстровано на рис. 2.

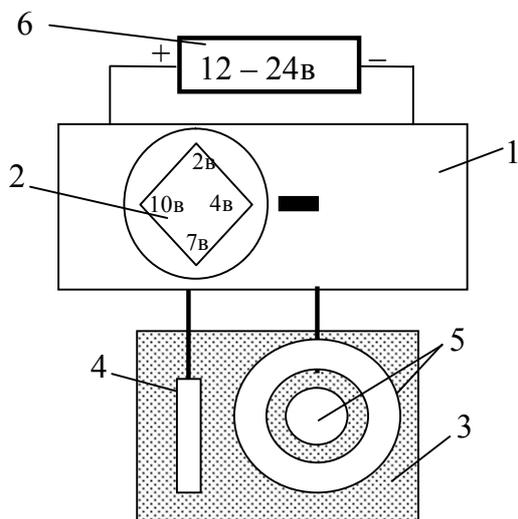


Рис. 2. Схема трибоелектрохімічної регенерації поверхонь пар тертя

Для реалізації способу [17] на транспортний засіб встановлюється блок перетворення електричного струму 1 з перемикачем 2. Поблизу поверхонь пар тертя (катода) 5 у моторному маслі 3 розміщують електрично ізольовану анодну вставку 4 із розчинного металу (цинк, мідь), тобто утворюють електричний ланцюг. Залежно від матеріалу встановленого аноду змінюють положення перемикача 2 блока перетворення електричного струму 1. У разі встановлення цинкового аноду з блока перетворення електричного струму 1 через зазначений

ланцюг подають електричний струм напругою до 4 В та щільністю 2-600 А/м².

У разі встановлення мідного аноду з блока перетворення електричного струму 1 через зазначений ланцюг подають електричний струм напругою 10 В та щільністю 50-1600 А/м².

Жирні кислоти і вода, що виникають в результаті окислення масла під дією електромагнітного поля в зоні тертя дисоціюють



На катодних поверхнях 5 та анодній вставці 4 протікають електрохімічні реакції:



На поверхні анодної вставки окислюються молекули масла атомарним або молекулярним киснем. Оскільки активна поверхня анода конструктивно менша ніж катодна поверхня тертя сполучених деталей і, тому, інтенсивність реакції окислення молекул масла киснем на поверхні аноду пропорційна інтенсивності відновлення молекул масла воднем на активних катодних поверхнях тертя.

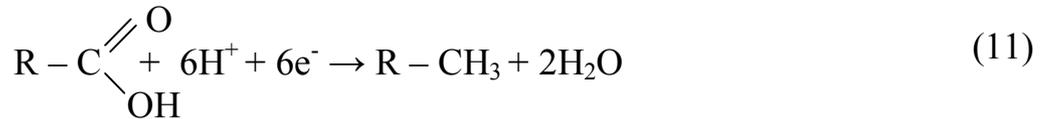
Кисень, який виникає на поверхні аноду не вступає у реакцію з маслом, а видаляється з масла (6). Молекули води, як і кисень видаляються із зони тертя або дисоціюють на іони гідроксила і водня.

Іони водня відновлюються на катодних поверхнях тертя до атомарного стану надлишковими електронами (7).

Атомарний водень Н, який не реагував, з'єднується між собою та виділяється у вигляді газу (8). Іони молекул масла, наприклад кислоти і води у момент виходу із зони тертя і дії електромагнітного поля рекомбінують до нейтральних молекул (9; 10).

На катодних поверхнях тертя сполучених деталей опори ковзання в процесі відновлення атомарний водень Н проявляє високу відновлювальну активність.

Електрохімічне відновлення кисневих форм масла в зоні тертя атомарним воднем та іонами металів – Me протікають за наступними реакціями



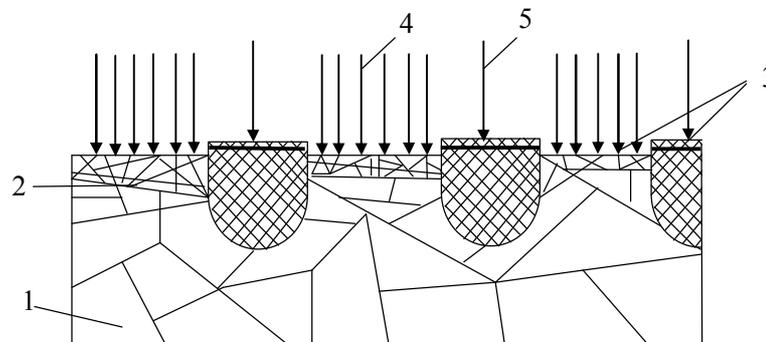
Метал, який накопичується в маслі за рахунок електрохімічного процесу (11; 12), покращує експлуатаційні властивості моторного масла. У разі тривалого зберігання (більше двох років) в осад не випадає, відповідно, перебуває у зв'язаному стані з молекулами масла, як і у відомих металомістких присадках, призначених для покращення функціональних властивостей масла.

Накопичення таким чином металу в маслі залежить від властивостей розчинних електрохімічним способом металів і щільності (густини) струму.

Наприклад, у разі щільності струму 100-1200 А·м⁻² в маслі розчинюється до 5-7 % цинку, і 0,1 – 3,0 % міді (по масі).

На рис. 3 показано схему електрохімічного осадження розчинних металів на поверхні тертя під дією електричного струму у разі окисленого зношування.

З метою попередження забруднення змащувального масла продуктами розчинення анода під час електрохімічного відновлення масла та окислів металів у якості нерозчинної анодної вставки застосовується нерозчинний електрод, виготовлений, наприклад, із графіта. У цьому разі метал електрохімічним способом не висаджується на поверхні тертя, а масло не забруднюється.



1 – матеріал деталі; 2 – окисли; 3 – електрохімічне покриття; 4 – щільність струму енергоремонтації без окислів; 5 – щільність струму енергоремонтації при наявності окислів.

Рис. 3. Схема електрохімічного осадження розчинних металів на поверхні тертя у разі окисленого зношування.

Пропоновані способи перевірені на парах тертя агрегатів під час випробувань на Вінницькому заводі тракторних агрегатів, Кіровоградському заводі «Гідросила», одеському філіалі НАПІ та інших установах.

Висновки та перспективи подальших досліджень.

Результати випробувань показали, що застосування зазначених технологій забезпечить стабілізацію та фінішне відновлення геометричних розмірів поверхонь та експлуатаційних властивостей пар тертя, збільшення ресурсу експлуатації агрегатів транспортних засобів з 1000 мотогодин до 20000 мотогодин, а також електромагнітне очищення моторного масла від феромагнітних продуктів зношування поверхонь пар тертя та електрохімічну регенерацію моторного масла безпосередньо під час виконання транспортних завдань без припинення застосування транспортних засобів. Відновлення поверхні пар тертя забезпечує покращення експлуатаційних характеристик агрегатів та забезпечує економію паливно-мастильних матеріалів щомісяця до 3 % від місячної норми.

Напрямом подальших досліджень може бути розроблення рекомендацій щодо покращення інших експлуатаційних показників техніки та озброєння військових формувань України.

Список літератури: 1. Норми витрат пального, масел, мастил, спеціальних рідин при експлуатації, ремонті та консервації військової техніки та озброєння Збройних сил України, встановлені наказом Міністра оборони України від 06.01. 1999 р. К.: Варта. – 1999. – 271 с. – С. 12 – 14. 2. «Настанова з автомобільної служби внутрішніх військ МВС України» затверджена наказом Міністра Внутрішніх Справ України від 21.11.2003 р. № 1402 додаток 1.7 та додаток 13. – 150 с. 3. Настава з автомобільної служби введена в дію наказом Міністра оборони СРСР від 01.09.1977 р. № 225. 4. Наказ МО України від 16.03.1994 р. № 70 «Про введення в дію Керівництва по визначенню норм напрацювання (строків служби) до ремонту та списання автомобільної техніки Збройних Сил України». 5. Патент Российской Федерации 2002133583. Способ повышения износостойкости пар трения и улучшения эксплуатационных свойств смазочного материала [Текст]. Заявка № 2002133583/04. Опубликовано 10.07.2004 р. 6. Патент Российской Федерации № 2111477. Способ возрождения машин [Текст]. Винахідники: Кравець І.А.; Кравець С.І. Заявка № 93041279/93. Зарегистрирован 20.05.1998 р. 7. Авторское свидетельство № 687374. SU 1826728/ Способ повышения ресурса пар трения [Текст]. Винахідник: Кравець І.А. Кл. G01N 3/5, 1978 р. Заявка № 4674811/27. Опубликовано 08.02.1989 р. 8. Положення про річні норми витрат моторесурсів і порядок експлуатації автомобільної техніки, силових агрегатів у внутрішніх військах МВС України затверджене наказом Міністра Внутрішніх Справ України від 03.12.2004 р. №1479. – 7 с. 9. «Настанова з автомобільної служби внутрішніх військ МВС України» затверджена наказом Міністра Внутрішніх Справ України від 21.11.2003 р. № 1402 Розділ 3. С.17-34. – 150 с. 10. Наказ Міністра оборони України від 10.01.1995 р. № 10 «Про порядок використання автомобільної техніки у Збройних Силах України». 11. Наказ Міністра оборони України від 05.12.2006 р. № 714 «Про затвердження Змін до Керівництва з експлуатації техніки в Збройних Силах України». 12. *Кравець І.А.* Безсервісні трибо системи / А.І. Кравець // Зб. наук. праць наук. центру ВПС України. К.: НЦ ВПС України. – 2002. – № 5. – С. 25-32. 13. *Александров Е.Е.* Повышение ресурса технических систем путем использования электрических и магнитных полей: Монография / Е.Е. Александров, І.А. Кравець, Е.Н. Лысиков и др. // – Харьков.: НТУ «ХПИ». – 2006. – 544 с. 14. *Кленников В.М.* Автомобиль. Учебник водителя «В» / В.М. Кленников, Н.М. Ильин, Ю.В. Буралев. // Рис. 21 С. 32-39. – Система смазки двигателя. – М.: Транспорт, 1981. – 256 с. 15. Патент № 57209 «Спосіб електромагнітного очищення й електрохімічної регенерації масла» [Текст]. МПК (2006) C25F 7/00 / Винахідники:

Кравець І.А.; Андрієвський А.П.; Борейко Л.Б., Миколенко М.О. Кравчук С.М., Плахтій В.М.// Оpubлік. 10.02.2011 р. бюл. Деп. Інтелектуальної власності № 3/2011. 16. Патент України № 58541 “Електромагнітний фільтр – електрохімічний регенератор” [Текст]. МПК (2011. 01) С25F 7/00./ Винахідники: Кравець І.А., Андрієвський А.П.; Борейко Л.Б., Нечосов В.В. Мусієнко І.П. Кудрицький М.О.// Оpubлік. 11.04.2011. бюл. Держ. деп. інтел. власн. № 7/2011. 17. Патент № 57210 “Спосіб трибоелектрохімічної регенерації поверхонь пар тертя”. МПК (2006) С25D 5/24/ Винахідники: Кравець І.А., Борейко Л.Б., Андрієвський А.П., Миколенко М.О., Степурко В.В., Мусієнко І.П., Кудрицький М.О.// Оpubлік. 10.02.2011, бюл. № 3/2011.

Поступила в редколлегию 27.07.2011

УДК 621.182.95

М.В.ПИЛАВОВ, ст. преп., Восточноукраинский университет
им. В. Даля, Луганск

А.А.КОВАЛЕНКО, канд. техн. наук, доц., Восточноукраинский
университет им. В. Даля, Луганск

Д.А.КАПУСТИН, асп., Восточноукраинский университет
им. В. Даля, Луганск

К.Н.АНДРИЙЧУК, канд. техн. наук, доц., Восточноукраинский университет
им. В. Даля, Луганск

ТЕЧЕНИЕ ВЯЗКОПЛАСТИЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ В ТРУБОПРОВОДАХ СИСТЕМ ГИДРОТРАНСПОРТА

В статье производится обобщение зависимостей, определяющих переход вязкопластических гидросмесей от ламинарного режима течения к турбулентному. С учетом чего представлены зависимости для определения коэффициента потерь на трение для таких сред.

Ключевые слова: гидросмесь, вязкопластичный, зависимость, ламинарный, турбулентный.

У статті призводиться узагальнення залежностей, визначаючих перехід в'язкопластичних гідросумішей від ламінарного режиму плинну до турбулентного. З обліком чого представлені залежності для визначення коефіцієнта втрат на тертя для таких середовищ.

Ключові слова: гідросуміш, в'язкопластичний, залежність, ламінарний, турбулентний.

The paper is a generalization of the dependency determines the transition of viscous-plastic slurries from laminar to turbulent flow. Given what plots to determine the coefficient of friction losses for such media.

Key words: slurry, viscous-plastic, dependence, laminar, turbulent.

Развитие гидротранспорта в нашей стране требует дальнейшего исследования течения неньютоновской жидкости в трубопроводах.

Гидросмеси проявляют неньютоновские свойства, если концентрация твердых частиц достигает 60% - 70%, и в общем случае их течение описывается уравнением Балкли-Гершеля

$$\tau = \tau_0 + K \left(\frac{du}{dr} \right)^{n-1} \frac{du}{dr}, \quad (1)$$

где τ_0 - начальное напряжение сдвига; K – коэффициент консистенции жидкости; n - параметр нелинейности.

Методы расчета, приведенные в литературе [1-3] позволяют анализировать различные случаи ламинарного течения в цилиндрических трубах. В то же время, вопросы перехода ламинарного режима течения в турбулентный изучены в меньшей степени [4]. Известные методы основываются на использовании экспериментальных данных и не имеют общности, что характерно для полуэмпирических теорий турбулентности ньютоновской жидкости.

Целью является обобщение полуэмпирических теорий для расчета параметров перехода течения вязкопластичных жидкостей в турбулентный режим и расчетов путевых потерь на трение.

Материалы и результаты исследования

Условием полного гидродинамического подобия потоков является равенство отношений всех сил (тяжести, давления, инерции, вязкости) для двух потоков. Вследствие физических особенностей полное подобие всех сил осуществить невозможно. Поэтому усчитываются критерии подобия для частных случаев, когда в качестве преобладающей принимается какая-нибудь одна. В рассматриваемом случае такой силой является сила вязкости и для подобия потоков должно выполняться равенство критерия Рейнольдса. Используем модифицированное представление числа Рейнольдса как отношения энергии сил вязкости осредненной по потоку и кинетической энергии потока [5].

Кинетическая энергия потока E

$$E = \frac{\rho}{u_m} \int_0^1 u^3 s ds, \quad (2)$$

где $s = r / R$ - безразмерный радиус; u_m - средняя скорость; u - скорость; ρ - плотность;

энергия сил трения осредненная по потоку

$$T = \frac{2}{u_m} \int_0^1 u^3 |\tau| s ds \quad (3)$$

где τ - касательные напряжения.

Равенство критериев Рейнольдса для ньютоновской и неньютоновской жидкостей предполагает равенство отношения (T / E)

$$\frac{T}{E} = \left(\frac{T}{E} \right)^* \quad (4)$$

В случае ньютоновской жидкости, ламинарный поток переходит в турбулентный режим, когда число Рейнольдса около 2000. Подставляя в выражение Пуайзеля для профиля скорости, получим

$$\left(\frac{T}{E} \right)^* = \frac{4}{1875} \quad (5)$$

Таким образом, число Рейнольдса для неньютоновской жидкости с учетом (2, 3, и 4)

$$Re_{HH} = \frac{64E}{15T} \quad (6)$$

На рис.1. представлены экспериментальные данные для критического числа Рейнольдса псевдопластика и дилатантной жидкости от параметра нелинейности n . Отметим, что критическое число Re_{HH} практически не зависит от параметра нелинейности. Среднее значение критического числа Рейнольдса составляет примерно $2 \cdot 10^3$. Учитывая это, коэффициент гидравлического трения

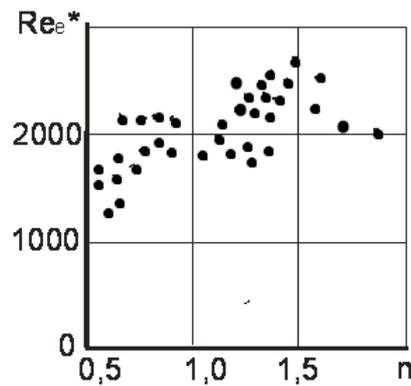


Рис.1. Зависимость критического числа Рейнольдса для псевдопластика и дилатантной жидкости R_c от параметра нелинейности

$$\lambda = 64 / Re_{HH} \quad (7)$$

Для анализа турбулентного потока необходимо использовать одну из теорий турбулентности [6, 7]. Наиболее удобна для данного случая является двухзонная модель, в соответствии с которой вязкий подслой существует вблизи стенки трубы и на некотором расстоянии от стенки переходит в полностью развитой турбулентный поток.

При использовании двухзонной модели турбулентности, главный вопрос заключается в определении положения линии сочленения между ламинарным и турбулентным профилями скорости.

Толщина вязкого подслоя может быть определена с помощью формулы (2)-(3), где интегрирование проводится в пределах от вязкой зоны потока $1 - (1 - \bar{\delta})$ при условии, что $\bar{\delta} \ll 1$ и используется следующая формула, которая была экспериментально определена для ньютоновских жидкостей

$$\nu_\tau \delta / \nu = \alpha \quad (8)$$

где $\nu_\tau = (\tau_w / \rho)^{1/2}$ - динамическая скорость, определяемая из пристенного трения; δ - толщина вязкого подслоя; $\alpha = 10,5 - 13,5$ - эмпирический коэффициент.

Безразмерная толщина вязкого подслоя для нелинейно-вязкопластической жидкости

$$\bar{\delta} = \alpha Re_\tau^{-1/n} (1 - s_p)^{-1/n} \quad (9)$$

где $Re_\tau = R^n \nu_\tau^{2-n} \rho K^{-1}$ - динамическое число Рейнольдса.

Используя формулу Прандтля, представим распределение касательных напряжений внутри вихревой зоны потока в виде

$$\tau = \tau_w s = \rho l^2 \left| \frac{du}{dr} \right| \frac{du}{dr} = \rho \varepsilon_t \frac{du}{dr} \quad (10)$$

где длина пути смещения l взята из формулы Никурадзе

$$\bar{l} = l / R = 0,2(1 - s^2) [1 - 0,3(1 - s^2)] \quad (11)$$

После преобразований и учитывая, что концентрированные (золотые в том числе) гидросмеси проявляют свойства вязкопластичных сред ($\tau_0 \neq 0; n = 1$), получим зависимость расчета коэффициента гидравлического трения

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = \frac{1}{\sqrt{\delta}} \left\{ \frac{1}{2} \text{Re}_m \left(\frac{\lambda}{\delta} \right)^{\frac{1}{2}} (1-s_p)^2 \cdot \{ [1 - (1-\bar{\delta}/(1-s_p))^2 \cdot (1-\bar{\delta})^2] + \frac{1}{2} (1-s_p^2) [(1-\bar{\delta}/(1-s_p))^4 - 1] + \right. \quad (12)$$

$$\left. + \frac{2}{3} s_p \left(\frac{8}{\lambda} \right)^{1/2} \left(\frac{He}{\text{Re}_m^2} \right) \times [(1-\bar{\delta}/(1-s_p))^3 - 1] \right\} + \varphi(\bar{\delta});$$

где $\text{Re}_m = Ru_m \rho K^{-1}$ - число Рейнольдса определяемое по средней скорости потока; функция $\varphi(\bar{\delta})$ представленная на рис. 2.

Расчет также можно производить несколько по упрощенной формуле

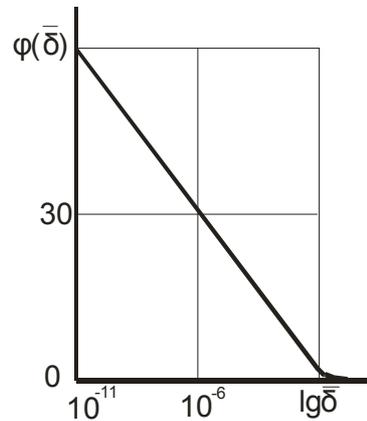


Рис.2. Зависимость функции φ от $\bar{\delta}$

$$\lambda = \frac{1}{(2 \lg \text{Re}_\tau + 2 \lg [(1-s_p)(3+s_p^4-4s_p)] + 0,251)^2} \quad (13)$$

Выводы

Течения вязкопластический гидросмесей подчиняется обобщенным зависимостям течения нелинейно-вязкопластичных сред, что позволило определить параметры перехода ламинарного режима течения в турбулентный и коэффициент гидравлического трения в зависимости гидравлических числа Рейнольдса и реологии жидкости.

Список литературы: 1. *Wilkinson W.L.* Non-Newtonian Fluids.-London, Pergamon Press, 1960. 2. *Сорока С.И.* Реология жидкости/ С.И. Сорока. – Луганск: Изд-во ВНУ им. В Даля, 2001. - 48 с. 3. *Недопекин Ф.В.* Основы механики сплошных сред/ Недопекин Ф.В., Коваленко А.А., Соколов В.И., Андрийчук Н.Д., Гусенцова Я.А. - Луганск, Изд-во ВНУ им. Даля, 2010. – 277 с. 4. *Hanks R.W.* Low Reynolds number turbulent pipeline flow of pseudohomogeneous slurries.-In: Fifth Intern.Conf. Hydraulic Transp. Solid in Pipes, 1978, Hanover, Granfield, p. 23-34. 5. *Кондратьев А. С.* К гидродинамическому расчету контейнерных трубопроводных систем в не ньютоновских жидкостях. - Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1979, № 4, с. 66-72. 6. *Соколов В.И.* Аэродинамика газовых потоков в каналах сложных вентиляционных систем/ В.И. Соколов. - Изд-во ВНУ им. В Даля, 1999. – 200 с. 7. *Г. Шлихтинг.* Теория пограничного слоя/ Шлихтинг Г. - М.: Наука, 1974. - 712 с.

Поступила в редколлегию 27.08.2011

УДК 621.396.6

В. И. МЕЩЕРЯКОВ, докт.техн.наук, проф, зав. каф., Одесский
государственный экологический университет

В. П. ЗАЙКОВ, канд.техн.наук, с.н.с, нач. сектора ГП
«НИИ «Шторм», Одесса

А.А.ГНАТОВСКАЯ, ст.преп., Одесский государственный экологический
университет

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕПЛОАГРУЖЕННЫХ СИСТЕМ С ВОССТАНОВЛЕНИЕМ

Проведен анализ надежности работы системы с теплонагруженными сенсорными элементами и предложен путь ускорения восстановления рабочего состояния системы.

Ключевые слова: надежность, система, проектирование.

Наведено аналіз надійності роботи системи з теплонавантаженими сенсорними елементами і запропоновано шлях прискорення встановлення робочого стану системи.

Ключові слова: надійність, система, проектування.

There is an analysis of the system's working reliability with heat-loaded sensory elements and the way of acceleration of establishment of working state of a system is proposed.

Key words: reliability, system, designing.

При проектировании информационных систем, сенсорные элементы которых работают в области тепловых нагрузок, сопоставимых с физическими возможностями материалов элементов, задача обеспечения заданного уровня надежности становится особенно актуальной. Задача относится к фундаментальной проблеме построения надежной системы состоящей из ненадежных элементов.

Актуальность задачи обусловлена необходимостью повышения эффективности системы, под которой понимается отношение времени работоспособности системы к суммарному времени работоспособности и восстановления после выхода ее из строя, что возможно только путем снижения временных затрат на восстановление. Целью работы является создание условий снижения затрат времени на восстановление системы уже на стадии проектирования.

Предположим, что система обработки вторичной информации находится в существенно лучших условиях, чем первичные теплонагруженные элементы. Это условие обычно выполняется, т.к. взаимодействию с внешней высокоэнергетической нагрузкой подвержены обычно только сенсорные элементы совместно с системой обеспечения тепловых режимов.

Представим информационную систему с независимыми охлаждаемыми приемниками матричного типа, работающую в двух основных режимах: длительном *дежурном*, когда тепловые нагрузки незначительны и надежность

системы в основном определяется параметрической надежностью составляющих элементов; и кратковременном теплонагруженном *рабочем*, когда вероятность выхода их из строя теплонагруженных элементов высока. Такой эксплуатационный режим является типовым, например, для информационной системы следящего и управляющего типа, предназначенной для восприятия интенсивного инфракрасного излучения и формирования ответной реакции по результатам обработки принятого сигнала.

Длительный дежурный режим в нормальных условиях эксплуатации предполагает основной акцент проектирования на параметрической модели надежности составляющих элементов, которая усилена структурной моделью резервирования [1]. В данной модели для дежурного режима приемлемой является структура обслуживаемой системы с заменой вышедших из строя элементов, а основным критическим моментом становится скорость обнаружения и смены отказавшего узла, поскольку переход в рабочий режим системы из дежурного случаен, и система должна быть к нему постоянно готова.

Рассмотрим исходные условия дежурного режима с точки зрения надежности:

1. система в начальный момент времени находится в работоспособном состоянии и все элементы исправны;
2. параметрическое проектирование уровня надежности системы выполнено таким образом, что выход из строя элементов маловероятен;
3. обеспечена возможность перевода системы в критический температурный режим работы, замены вышедших из строя элементов из существующего резерва и последующего тестирования системы, т.е. система является обслуживаемой.

Под ремонтпригодностью понимается свойство системы, предусматривающее возможность выявления и устранения причин выхода ее из строя, обнаружение отказавших элементов, восстановление работоспособного состояния путем проведения ремонтных работ и регламентного обслуживания. Это свойство полностью определяется на стадиях: проектирования, конструирования, условиями эксплуатации системы, временными параметрами и стоимостью ремонтных работ.

Очевидно, что в дежурном режиме критичным (в это время система является неработоспособной и не выполняет свои задачи) является время поиска неисправности и замены вышедших из строя элементов. Резервирование позволяет функционировать зарезервированным элементам при выходе из строя одного из каналов, что, соответственно, повышает временной отрезок работоспособности системы и сокращает промежуток времени между ремонтами.

Для рабочего режима исходные условия будут несколько иными:

1. параметрическое проектирование не обеспечивает достаточной надежности критичных теплонагруженных элементов, и вероятность выхода их из строя составляет значимую величину;
2. рабочий режим кратковременен и нет возможности в это время проводить регламентные работы, т.е. систему можно рассматривать как необслуживаемую.

В рабочем режиме резко возрастает тепловая нагрузка на теплонагруженные элементы, что можно учесть введением коэффициента нагрузки k_n , под которым

будем понимать отношение рабочего значения нагрузки к ее номинальному значению. Значения номинальной нагрузки приведены в справочной литературе [2], для которых интенсивность отказов $l=l_0$ и $K_H=1$. Качественный анализ показывает, что с ростом коэффициента тепловой нагрузки увеличивается интенсивность отказов.

При многократном последовательном воздействии интенсивного входного потока излучения на теплонагруженные элементы тепловой поток не может быть снят системой охлаждения за время этого воздействия в силу кратковременности прохождения тепловой волны, поэтому тепловая нагрузка на элементы растет и процесс становится нестационарным. Это можно учесть аддитивной моделью $l=l_{деж}+l_{раб}$, при этом $l_{деж} \ll l_{раб}$, где $l_{деж}$ – интенсивность отказов в дежурном режиме, $l_{раб}$ – интенсивность отказов в рабочем режиме.

Функционирование системы может быть разбито на два последовательных повторяющихся состояния: работоспособное, когда она выполняет прямые или вспомогательные задачи; и неработоспособное, наступающее непосредственно вслед за выходом ее из строя, включающее обнаружение неисправности, восстановление и тестирование системы, т.е. приведение ее в работоспособное состояние (рис. 1).

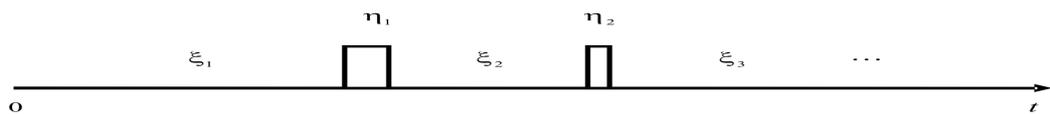


Рис. 1. Процесс функционирования теплонагруженного элемента в дежурном режиме

Работоспособность системы во времени представим моделью, которая предполагает, что система может находиться либо в состоянии работоспособности Z , либо отказа \bar{Z} . Временная последовательность функционирования системы в таком случае описывается случайной последовательностью событий $x_1, h_1, x_2, h_2, \dots, x_n, h_n$, где x_i – длительность i -го периода работоспособности, h_i – периода отказа, а состояние системы может быть представлено в виде

$$Z(t) = \begin{cases} Z, & \text{при } t \in \xi_i; \\ \bar{Z}, & \text{при } t \in \eta_i. \end{cases} \quad (1)$$

Из приведенных требований вытекает, что при проектировании системы необходима модель обнаружения и замены вышедших из строя элементов, определяющая затраты времени на поиск и устранение неисправностей, позволяющая контролировать и сокращать время восстановления работоспособности системы. Вторым важным моментом является факт относительности отнесения системы к обслуживаемой или необслуживаемой. Длительный период эксплуатации системы в дежурном режиме делает обслуживание обязательным условием, поскольку не существует компонентов, которые бы безотказно работали в течение нескольких лет. Рабочий режим (ради которого и создается система) настолько кратковременен (секунды либо минуты), что в течение этого периода говорить об обслуживании системы не приходится.

Для этого режима необходимы иные методы повышения жизнеспособности системы.

Момент появления отказа, как и момент восстановления работоспособности системы, являются случайными событиями. Примем гипотезу, что интервал времени от отказа до восстановления работоспособности может быть сокращен за счет корректного проектирования системы. Данный интервал времени нуждается в более детальном анализе, поскольку в этот промежуток времени система не выполняет целевой функции, что может иметь серьезные последствия.

Если обозначить функцию распределения этой случайной величины через q , то ее интегральная функция или вероятность того, что время восстановления работоспособности системы не превышает заданного, может быть представлена в виде [3]:

$$P_B(t) = P\{\theta < t\}, \quad \theta \leq t \quad (2)$$

Вероятность того, что система за указанное время $q > t$ восстанавливается работоспособное состояние, представляется как:

$$Q_B(t) = P\{t \leq \theta\} = 1 - P_B(t) \quad (3)$$

Отсюда можно определить плотность вероятности времени восстановления работоспособности

$$f_B(t) = \frac{dP_B(t)}{dt}, \quad t \geq 0, \quad (4)$$

и среднее время восстановления

$$T_B = \int_0^{\infty} Q_B(t) dt = \int_0^{\infty} [1 - P_B(t)] dt \quad (5)$$

Поскольку вероятность восстановления работоспособности является некой усредненной величиной, представляет интерес также и условная вероятность $P_B(t/t)$ того, что восстановление произойдет на интервале времени, следующим за интервалом t после отказа, если еще не удалось восстановить систему после потери работоспособности.

$$P_B(t/t) = \frac{P_B(t+t) - P_B(t)}{1 - P_B(t)} \quad (6)$$

При $t \rightarrow 0$ получаем дифференциальную плотность вероятности

$$n(t) = \lim_{t \rightarrow 0} \frac{P_B(t/t)}{t} = \frac{P_B'(t)}{1 - P_B(t)} = \frac{f_B(t)}{1 - P_B(t)}, \quad t > 0, \quad (7)$$

и после преобразования

$$n(t) = - \frac{d}{dt} \ln[1 - P_B(t)],$$

с учетом того, что $P_B(0) = 0$, получаем классическое экспоненциальное распределение [4]:

$$P_B(t) = 1 - \exp\left\{-\int_0^t \mu(\tau) d\tau\right\} \quad (8)$$

Если известны интенсивности отказов каждого элемента системы, то среднее время восстановления при экспоненциальном законе распределения равно [5]:

$$T_B = \frac{1}{m} = \frac{N_1 l_1 + N_2 l_2 + \dots + N_k l_k}{e^{\sum_{i=1}^k N_i l_i}}, \quad (9)$$

где $m = \frac{1}{T_{B_{i_0}} + T_{B_{i_1}}}$ – интенсивность восстановления i -го элемента;

$T_{B_{i_0}}$ – среднее время обнаружения места отказа;

$T_{B_{i_1}}$ – среднее время устранения отказа;

N_i – число объектов в начале испытаний;

$T_0 \gg \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_{cp_i}$ – средняя наработка на отказ;

t_{cp_i} – среднее время непрерывной работы между интервалами $(i-1)$ -м и i -м отказами;

n – число отказов;

l – интенсивность отказов.

Представленные рассуждения справедливы для стационарных процессов, что выполняется после периода приработки системы на большом временном интервале эксплуатации. Понятно, что говорить о стационарности интенсивности отказов в рабочем режиме не приходится. Стационарность позволяет оперировать основными моментами, в частности, математическим ожиданием выходов из строя элементов и, соответственно, требуемыми номенклатурой и числом запасных частей для обслуживания системы, а интенсивность восстановлений – численностью и квалификацией персонала.

Современный подход к проектированию сложных систем с приоритетом по надежности предполагает обслуживание по фактическому состоянию [6]. Полагая, что контроль мест отказа в системе осуществляется по стандартной методике с использованием встроенной аппаратуры контроля, измерительного оборудования и программных продуктов, ограничим задачу рассмотрения теплонагруженными элементами системы. Считаем при этом поток отказов простейшим, а время восстановления описывается экспоненциальной зависимостью (8). Вероятность работоспособного состояния системы:

$$W(t) = -l P_1(t) + m P_2(t) \quad (10)$$

Или с учетом того, что $P_1(t) + P_2(t) = 1$ это выражение примет вид

$$W(t) + (m+l)P_1(t) = m \quad (11)$$

Если предположить, что в момент времени перехода системы из дежурного состояния в рабочее состояние она с вероятностью V будет находиться в работоспособном состоянии, т.е. $P_1(0) = V$, где $0 \leq V \leq 1$, то

$$P_1(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} - \left[\frac{\mu}{\lambda + \mu} - V \right] \exp\{-(\lambda + \mu)t\} \quad (12)$$

Если в системе заложен принцип обслуживания по фактическому состоянию и осуществляется контроль элементов, и система на момент перехода оказывается работоспособной, т.е. $V = 1$, выражение (12) принимает вид

$$P_1(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \left[1 + \frac{\lambda}{\mu} \exp\{-(\mu + \lambda)t\} \right] \quad (13)$$

Второе крайнее состояние, когда система неработоспособна, т.е. $V=0$, выражение (12) принимает вид

$$P_1(t) = \frac{m}{l+m} [1 - \exp\{-(m+l)t\}] \quad (14)$$

Выражения (12 – 14) характеризуют вероятность работоспособного состояния системы в произвольный момент времени t и определяют функцию готовности системы. Если отношение дифференциальных плотностей обозначить $G=l/m$, то (14) принимает вид

$$P_1(t) = \frac{1}{1+G} \left[1 + G \exp\left\{-\frac{1+G}{G} \lambda t\right\} \right] \quad (15)$$

Аналогично вероятность наступления неработоспособного состояния

$$P_2(t) = \frac{G}{1+G} \left[1 - \exp\left\{-\frac{1+G}{G} \lambda t\right\} \right] \quad (16)$$

При длительном нахождении системы в работоспособном состоянии ($t \gg T$) получаем стационарное решение или коэффициент готовности [5]:

$$P_1 = \frac{1}{1+G} = \frac{T_0}{T_0 + T_B} = K_T, \quad (17)$$

показывающего вероятность того, что изделие окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени. Тогда выражение для функции готовности может быть представлено в виде

$$P_1(t) = K_T + (1-K_T) \exp\left\{-\frac{1}{K_T T_B} t\right\}, \quad (18)$$

а при малых значениях t

$$P_1(t) \approx K_T + (1-K_T) \left(1 - \frac{1}{K_T T_B} t\right) \approx 1 - \frac{1}{T_B} t \quad (19)$$

Приведенные зависимости позволяют сделать выводы по проектированию систем с теплонагруженными элементами. Из выражения (9) следует, что время восстановления работоспособности системы можно разбить на два этапа. Промежуток времени с момента появления отказа до момента его обнаружения и идентификации системой t_o , отработку функций которого можно передать компьютеру; и времени замены отказавшего элемента и тестирования работоспособности системы t_y , требующее действий оператора, по крайней мере, в первой фазе. В соответствии с [3, 5], основное время затрачивается на поиск отказавшего элемента, поэтому и время восстановления в основном определяется этой величиной. Выражения (17–19) также показывают, что эффективность функционирования системы напрямую связана со временем восстановления. Поскольку интенсивность отказов существенно зависит от коэффициента нагрузки, появляется насущная необходимость контроля работоспособности в первую очередь теплонагруженных элементов и сокращения времени обнаружения и идентификации t_o . Это возможно только при обеспечении критичных теплонагруженных элементов системой самоконтроля как минимум работоспособности, а желательно и определения передаточных характеристик с возможностью предсказания момента отказа.

Список литературы: 1. Жаднов, В. В. Управление качеством при проектировании теплонагруженных радиоэлектронных средств [Текст] / В. В. Жаднов, А. В. Сарафанов. — М. : Солон-Пресс, 2004. — 464 с. — ISBN 5-98003-145-6. 2. Надежность технических систем

[Текст] : справочник / Ю. К. Беляев, В. А. Богатырев, В. В. Болотин и др. ; под общ. ред. И. А. Ушакова. — М. : Радио и связь, 1985.— 608 с. 3. Фролов, А. Д. Теоретические основы конструирования и надежности радиоэлектронной аппаратуры [Текст] / А. Д. Фролов. — М. : Высшая школа, 1970. — 488 с. 4. Костерев, В. В. Надежность технических систем и управление риском [Текст] / В. В. Костерев. — М. : МИФИ, 2008. — 280 с. 5. Острейковский, В. А. Теория надежности [Текст] / В. А. Острейковский. — М. : Высшая школа, 2003. — 463 с. 6. Александровская, Л. Н. Современные методы обеспечения безотказности сложных технических систем [Текст] : учеб, пособие / Л. Н. Александровская, А. П. Афанасьев, А. А. Лисов. — М. : Логос, 2001. — 208 с. — морф. — ISBN 5-940100-42-2.

Поступила в редколлегию 27.06.2011

УДК 656.022.1(100)

В.В. КОЗАК, Голова Державної адміністрації залізничного транспорту України «Укрзалізниця», Київ

М.І. ДАНЬКО, докт.техн.наук, проф., ректор, УкрДАЗТ, Харків

Є.С. АЛЬОШИНСЬКИЙ, докт.техн.наук, проф., зав. каф., УкрДАЗТ, Харків

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ПРИНЦИПІВ ІНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТІ ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОГРАМИ ПЕРЕРОЗПОДІЛУ ВАНТАЖНИХ ПОЇЗДОПОТОКІВ У МЕЖАХ МІЖНАРОДНИХ ТРАНСПОРТНИХ КОРИДОРІВ УКРАЇНИ

Розроблено імітаційну модель, що відображає процес обробки поїздів на напрямках міжнародних вантажних перевезень при використанні різних технологічних та технічних рішень. Запропоновано нову схему перерозподілу міжнародних поїздопотоків на мережі залізниць України.

Ключові слова: міжнародні транспортні коридори, моделювання, перерозподіл поїздопотоків.

Разработана имитационная модель, отображающая процесс обработки поездов на маршрутах международных грузовых перевозок при использовании различных технологических и технических решений. Предложена новая схема перераспределения международных поездопотоков на сети железных дорог Украины.

Ключевые слова: международные транспортные коридоры, моделирование, перераспределение поездопотоков.

Developed a simulation model that shows the processing of trains on the routes of international freight traffic by using different technological and technical solutions. A new scheme of international trains redistribution in the railway network in Ukraine.

Keywords: international transport track, modeling, trains redistribution.

Вступ

Однією з базових галузей економіки є залізничний транспорт, стабільне та ефективно функціонування якого являє необхідну умову для забезпечення обороноздатності, національної безпеки і цілісності держави, підвищення рівня життя населення. Але, на жаль, стан виробничо-технічної бази залізниць і технологічний рівень перевезень за багатьма параметрами не відповідає європейським стандартам якості надання транспортних послуг, що найближчим часом може стати перешкодою для подальшого соціально-економічного розвитку держави [1].

В зв'язку із цим потребує вирішення питання щодо подолання відставання у розвитку мережі українських залізниць від залізниць країн ЄС. В цих умовах для Укрзалізниці одним із основних напрямів досліджень стає вибір сучасних концепцій, заснованих на принципах інтегрованості залізничних систем, для реалізації системного підходу удосконалення технології функціонування мережі вантажних перевезень в межах міжнародних транспортних коридорів (МТК).

Аналіз стану питання

Через територію України проходить значна частка міжнародних залізничних напрямків, що умовно розділяють на Європейські (Критські) міжнародні транспортні коридори та коридори Організації співробітництва залізниць, які є продовженням перших на територію Росії й далі на Азіатський континент (таблиця) [2, 3].

Таблиця. Основні напрямки МТК України

Назва МТК	Напрямок МТК	Загальна довжина МТК в межах України, км
МТК №3	Берлін/Дрезден (Німеччина) – Катовіце (Польща) – Львів – Красне – Тернопіль – Жмеринка – Козятин – Фастів – Київ (всі Україна)	708
ОСЗ №3	Київ - Ніжин – Бахмач – Конотоп – Хутір-Михайлівський – Зернове (всі Україна) – Брянськ (Росія) – Москва	353
МТК №5	Трієст (Італія) – Любляна (Словенія) – Загреб (Хорватія) – Будапешт (Угорщина) – Чоп – Львів	266
ОСЗ №5	Чоп - Львів – Жмеринка – Козятин – Фастів – Київ – Дарниця – Полтава – Харків – Куп'янськ - Тополі (всі Україна) – Валуйки - Пенза – Челябінськ – Курган (всі Росія) і далі на Казахстан та Китай	1546
МТК №9	Александрополіс (Греція) – Пловдив (Болгарія) – Бухарест (Румунія) – Кишинів (Молдова) – Кучурган – Роздільна – Жмеринка - Козятин – Фастів – Київ – Ніжин – Чернігів – Горностаївка (всі Україна) – Жлобін (Білорусь) – Вітебськ (Білорусь) Санкт-Петербург (Росія) – Гельсінкі (Фінляндія)	871
МТК №9с	Ніжин – Бахмач – Конотоп – Хутір-Михайлівський – Зернове (всі Україна) – Брянськ (Росія) – Москва	227
МТК №10 (умовно)	Гданськ – Варшава – Люблін (всі Польща) – Ягодин – Ковель – Здолбунів – Шепетівка – Козятин – Жмеринка – Роздільна – Одеса (всі Україна)	917
ОСЗ №8 «Європа-Азія»	Фастів – Знам'янка – Нижньодніпровськ-Вузол – Дебальцево – Красна Могила (всі Україна) – Лиха – Волгоград – Макат Бейнеу (Узбекистан) – Навої – Чарджоу (Туркменістан) і далі на Іран	991
ОСЗ «М-С»	Москва – Тула – Орел – Курськ – Белгород (всі Росія) – Козача Лопань – Харків – Лозова – Синельникове – Запоріжжя – Джанкой – Сімферополь (всі Україна)	728

Побудова моделі мережі МТК України

Для більш чіткого уявлення функціонування системи транспортного комплексу міжнародних транспортних перевезень на рис. 1 запропонована структурно-логічна схема матричного типу мережі МТК України, де Критські МТК зображено синім кольором та позначено літерою «М», а МТК ОСЗ – червоні та позначені літерою «О» [3].

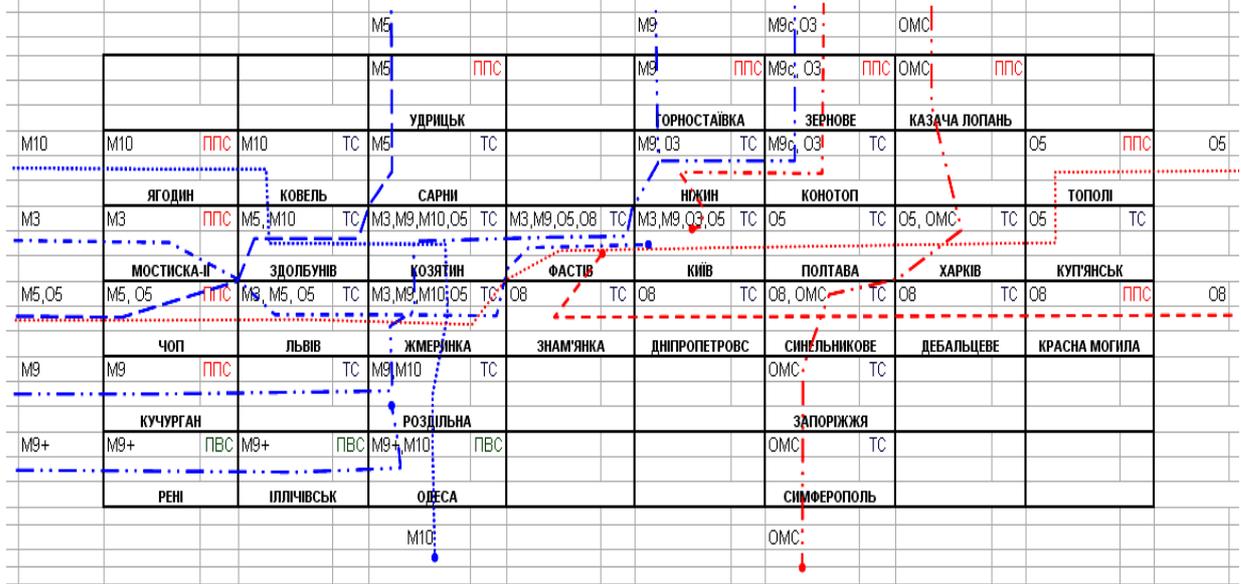


Рис. 1. Макорівнева структурно-логічна схема мережі МТК.

В математичному вигляді, виходячи з рисунка, територію України умовно можна уявити у вигляді асоціативного кільця $(m \times n)$ -матриць $M_{M3} = \|M3_{ij}\|$, $M_{M5} = \|M5_{ij}\|$, $M_{M9} = \|M9_{ij}\|$, $M_{M10} = \|M10_{ij}\|$, $M_{O8} = \|O8_{ij}\|$, $M_{OMC} = \|OMC_{ij}\| \in M_{m,n}(K)$. Для спрощення сприйняття, при формалізації деякі МТК об'єднано з іншими. Таким чином, 9 напрямів МТК представлено шістьма адитивними матрицями інцидентності, що при об'єднанні описують модель оперативного управління вагонопотоками у межах МТК України.

$$\begin{aligned}
 M = & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & N_{O3} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & N_{O3} & N_{O3} & 0 & 0 \\ N_{M3} & 0 & N_{M3} & N_{M3} & N_{M3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & N_{M3} & N_{M3} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 & N_{M5+} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & N_{M5+} & 0 & 0 & 0 & 0 & N_{O5} \\ 0 & N_{M5+} & 0 & N_{O5} & N_{O5} & N_{O5} & N_{O5} & N_{O5} \\ N_{M5} & N_{M5} & N_{O5} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} + \\
 & + \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & N_{M9} & N_{M9c} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & N_{M9} & N_{M9c} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & N_{M9} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & N_{M9} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ N_{M9} & N_{M9} & N_{M9} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ N_{M9+} & N_{M9+} & N_{M9+} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ N_{M10} & N_{M10} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & N_{M10} & N_{M10} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & N_{M10} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & N_{M10} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & N_{M10} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} + \\
 & + \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & N_{O8} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & N_{O8} & N_{O8} & N_{O8} & N_{O8} & N_{O8} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & N_{OMC} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & N_{OMC} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & N_{OMC} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & N_{OMC} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & N_{OMC} & 0 \end{pmatrix} \quad (1)
 \end{aligned}$$

де N_{ij} - міжнародний поїздопоток, що проходить переробку на відповідній залізничній станції.

На підставі матриць інцидентності проведено формування моделей просування вагонопотоків на окремих напрямках міжнародних вантажних перевезень України на основі мережі Петрі (програмний інтерфейс моделі наведено на рис. 2), що ув'язує в єдину мережу всі залізничні (прикордонні передавальні, припортові та сортувальні) станції та перегони між ними

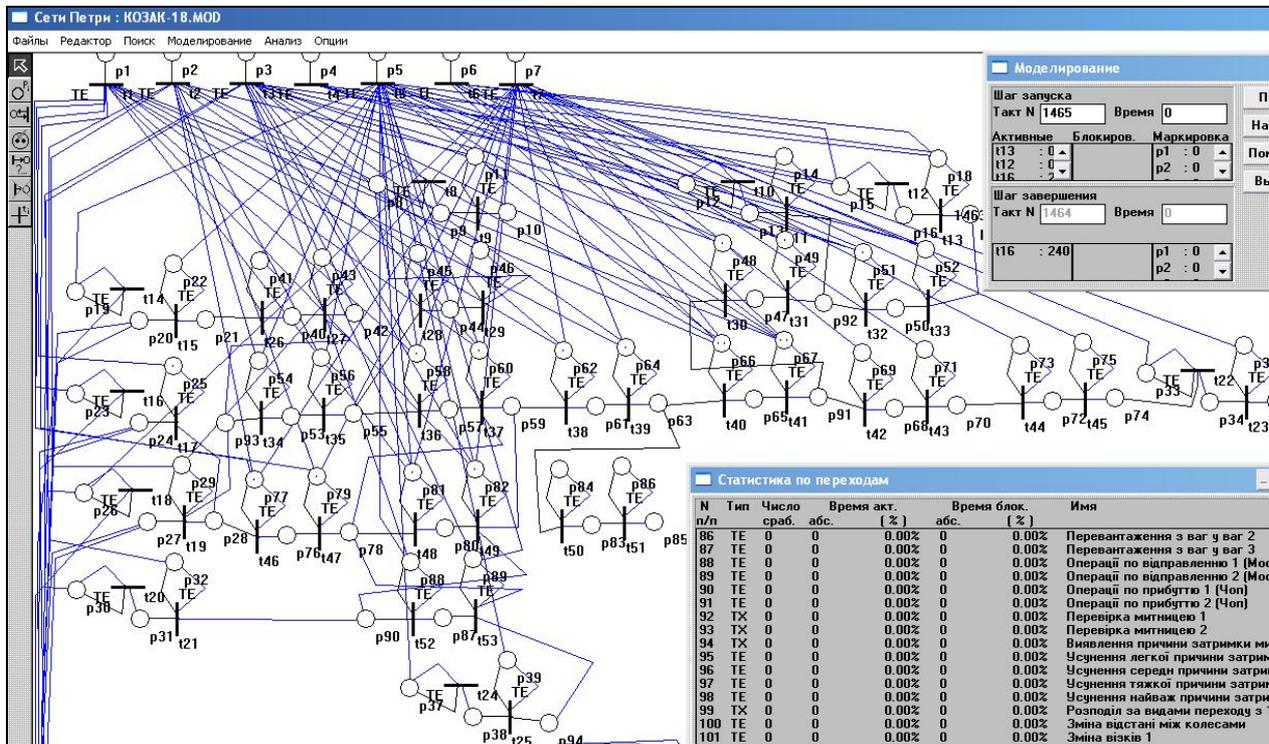


Рис.2 Фрагмент віконного інтерфейсу моделі дослідження пропускної спроможності мережі МТК для оперативного перерозподілу поїздопотоків.

Розроблена модель є універсальною, в якій існує можливість оперативно змінювати не лише обсяги та інтенсивність руху міжнародного поїздопоту, але й, при необхідності, перенаправляти рух транзитного вантажного вагонопоту з найбільш завантажених напрямків на інші.

Моделювання технології оперативного управління поїздопотоків на мережі МТК

Моделюванням досягається мета по визначенню переробної спроможності комплексу МТК України за різних умов функціонування, заснованих на принципах інтероперабельності. Крім того, з'являється можливість знаходження критичної точки насичення системи. При моделюванні враховується й умова завантаженості станцій та перегонів постійними операціями по переробці місцевих вантажних та пасажирських поїздів.

Результати моделювання обробляються в редакторі MathLab та переносяться в розроблений програмний продукт в середовищі Excel. Графічну інтерпретацію результатів моделювання в межах Критського МТК №3 та МТК ОСЗ №3 при існуючих обсягах перевезень наведено на рис. 3, в лівій частині якого приведені запропоновані принципи інтероперабельності, а в правій – вплив на динаміку

зміни сумарного часу руху в МТК (у тому числі окремо час знаходження на прикордонних передавальних станціях на вході та виході з МТК (ППС-1 та ППС-2), всіх технічних станціях (ТС) та перегонах)

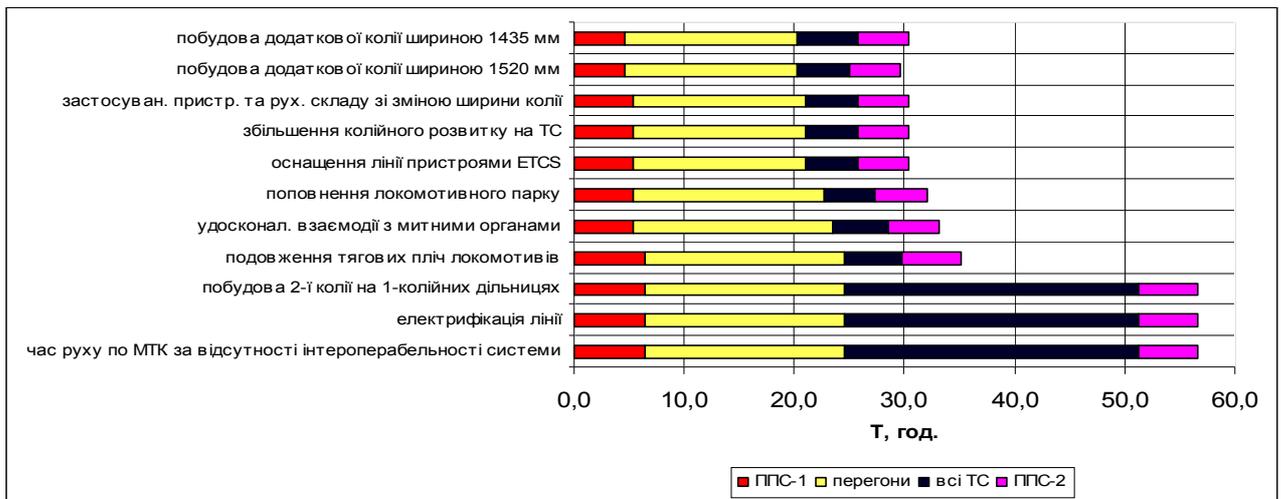


Рис.3. Дослідження впливу принципів інтероперабельності на час знаходження вантажних поїздів в межах Критського МТК №3 та МТК ОС3 №3.

Аналогічно проводиться моделювання виробничої ситуації в межах МТК при збільшенні обсягів перевезень. Поетапність процесу зростання об'ємів вантажних перевезень на 50% протягом визначеного терміну дозволяє визначити не тільки вплив інтероперабельності на стан МТК, а й точку насичення ситеми. Результати поетапного моделювання (із кроком прогнозного зростання обсягів міжнародного поїздопотоку (N_i) на 10%), для всіх МТК наведено на рис. 4.

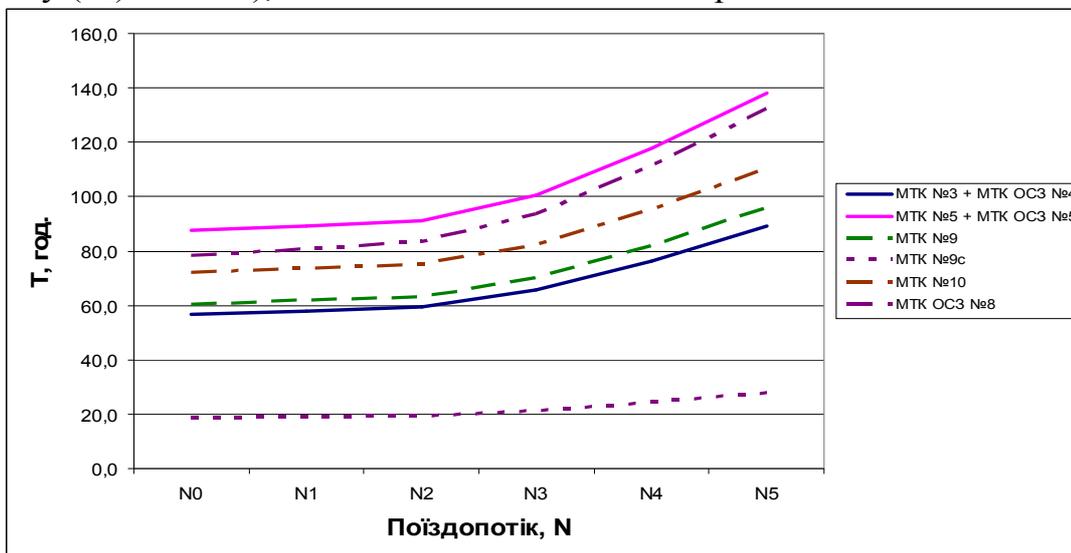


Рис. 4. Дослідження впливу динаміки зміни обсягів перевезень на час знаходження вантажних поїздів в межах МТК України.

Дослідження всіх напрямків вантажних перевезень довели, що найбільший ефект з запропонованих принципів раціоналізації функціонування МТК (див. рис. 5) проявили технологічні пропозиції по скороченню простоїв на залізничних станціях за рахунок удосконалення взаємодії з митними органами та подовження тягових пліч локомотивів (відповідно, 9,5% та 55,4% від сумарного ефекту).

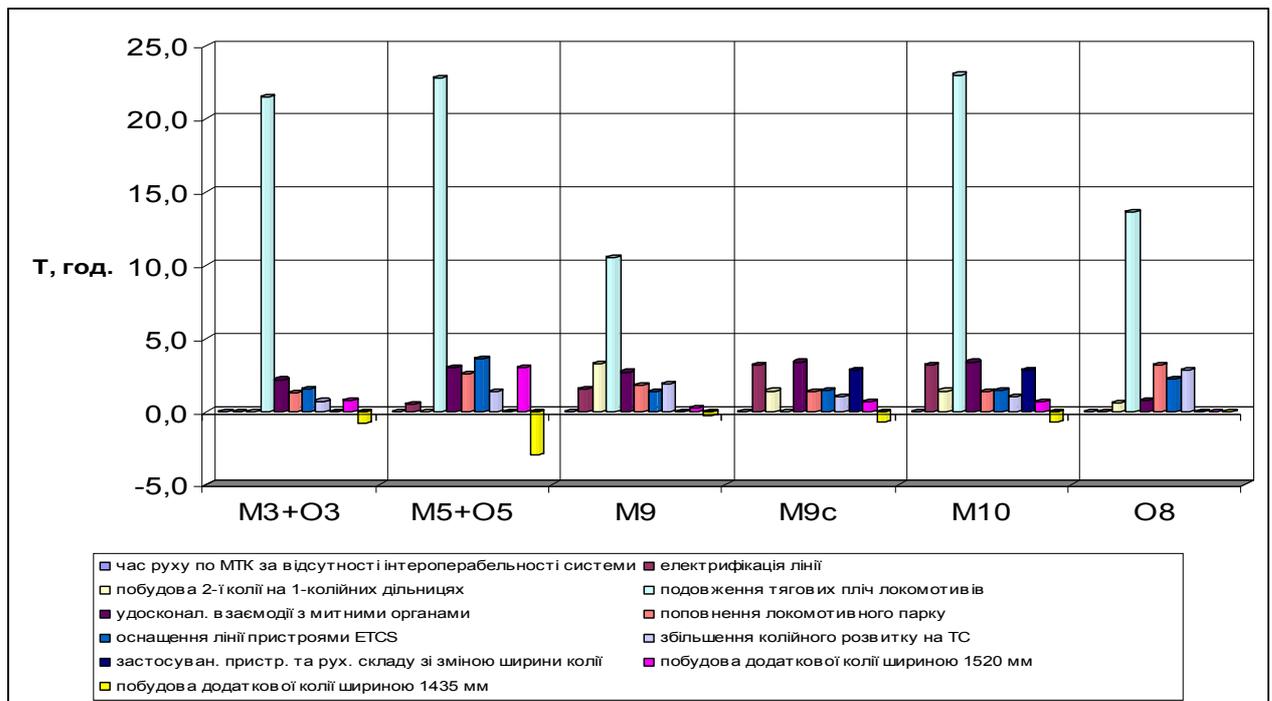


Рис. 5. Ефект від застосування принципів інтероперабельності для системи МТК України

При моделюванні виробничої ситуації в мережі МТК виявлено, що за умови незмінності напрямів міжнародних вантажних перевезень, можливість поетапного збільшення об'ємів транспортування в Україні обмежується точкою насичення системи, яка знаходиться на рівні 120% від існуючого розміру міжнародного поїздопотоків. В той же час, зростання поїздопотоків в порівнянні з існуючим на 30% для всіх транспортних коридорів стає критичним. Це в першу чергу пов'язано із тим, що значно збільшуються простой на технічних станціях, що не в змозі переробляти значні вагонопотоки. В першу чергу це стосується великих технічних станцій на напрямку Жмеринка – Козятин – Фастів – Київ (Дарниця). Також значний вплив на час руху поїздів справляє завантаженість дільниць між цими станціями.

Перерозподіл поїздопотоків на мережі МТК

Для удосконалення організації функціонування транспортної системи України та впровадження можливості перспективного 30%-го збільшення об'ємів міжнародних вантажних перевезень, запропоновано модель перерозподілу поїздопотоків на мережі МТК, що враховує можливість розвантаження технічних станцій на найбільш напружених напрямках.

В зв'язку з цим, пропонується нова схема перерозподілу поїздопотоків МТК №9: з напрямку **Одеса – Роздільна - Жмеринка – Козятин – Фастів – Дарниця – Ніжин** (довжиною 837 км) на напрям **Одеса – Знамянка – Полтава – Бахмач** (810 км) з перспективою електрофікації необхідних дільниць. Крім того, поїздопоток на Мінськ (Білорусь) та С-Петербург (Росія) з неелектрофікованого 1-колісного напрямку **Ніжин – Чернігів – Горностаївка** (149 км) – перерозподілити на 2-колісний напрям **Бахмач – Хоробичи** (157 км).

Як показали дослідження, при перерозподілі поїздопотоків не лише зменшується час руху в межах МТК №9, але й точка насичення системи МТК

України була зсунута в напрямку *N3*, що дозволяє функціонувати системі в стаціонарному режимі навіть при 30%-му збільшенні обсягів перевезень. Аналогічний ефект виявлено й для інших міжнародних транспортних коридорів України (крім МТК ОСЗ №8 із-за завантаженості ТС Знамянка) (рис. 6).

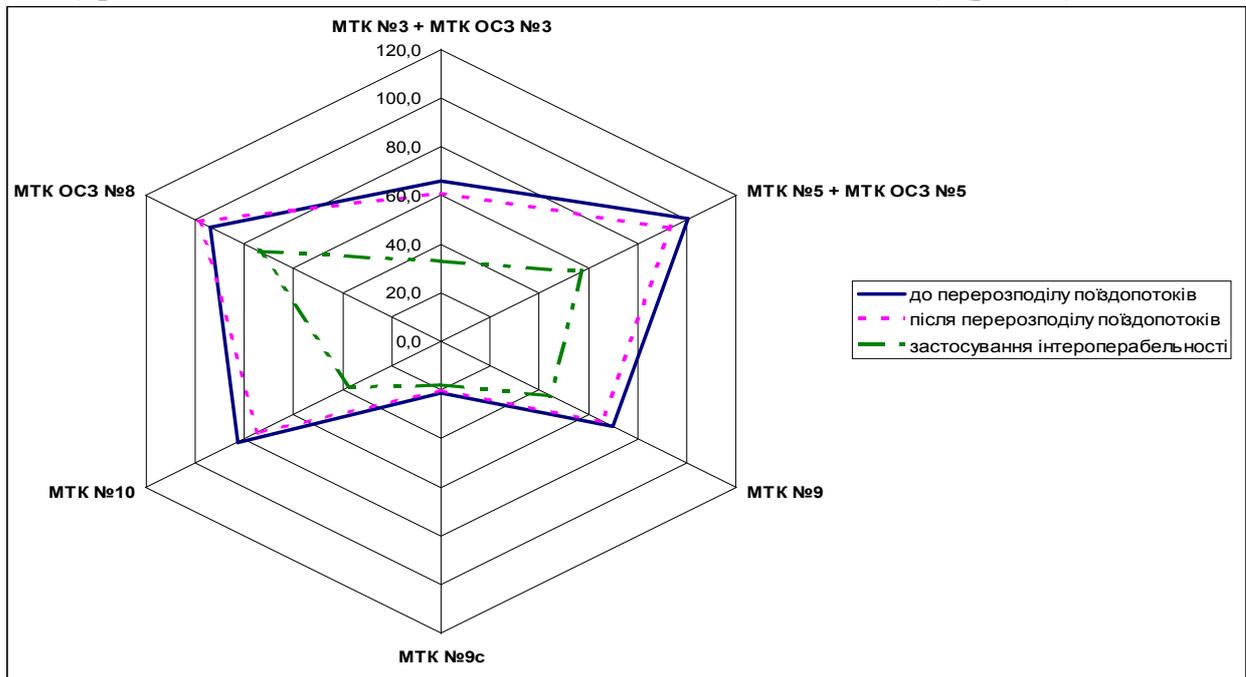


Рис. 6. Результати дослідження економії часу просування поїздопотоків на мережі МТК України.

Як видно з результатів досліджень, при застосуванні запропонованих принципів інтерооперабельності транспортної системи МТК України, в умовах можливості збільшення міжнародного поїздопотоку на 30%, економія часу руху одного поїзда в межах МТК №3 та ОСЗ №3 складає 32,7 год/поїзд, МТК №5 та ОСЗ №5– 43,8 год/поїзд, МТК №9 - 25,7 год/поїзд, МТК №9с - 3,7 год/поїзд, МТК №10 – 45,3 год/поїзд, МТК ОСЗ №8 – 19,5 год/поїзд. Сумарна економія часу для всіх транспортних коридорів складатиме 170,6 год/поїзд, що показує можливий ефект від застосування запропонованих пропозицій на рівні 39,4%.

Висновки

Таким чином, доведено можливість вирішення проблеми актуалізації схеми залізничних повідомлень за рахунок підвищення ефективності застосування принципів інтерооперабельності при реалізації програми перерозподілу вантажних поїздопотоків у межах міжнародних транспортних коридорів України. В свою чергу, проведення технологічних та технічних перетворень на залізничному транспорті сприятиме прискоренню темпів європейської інтеграції, налагодженню більш тісного міжнародного економічного співробітництва, а також надасть можливість ефективно використовувати вигідне геополітичне розташування України.

Список літератури: 1. Концепція Державної програми реформування залізничного транспорту. – Київ: Кабінет Міністрів України, 2006. 2. Козак В.В., Данько М.І., Ломотько Д.В., Альошинський Є.С. Розширення перспектив євроінтеграції системи міжнародних залізничних перевезень України// Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. - № 4. - 2010. - С. 111-115. 3. Козак В.В. Формування моделі оперативного управління

вагонопотоками у межах МТК за умови інтероперабельності транспортної системи// Збірник наукових праць ДонІЗТ – Донецьк: ДонІЗТ, 2011.4.Козак В.В., Данько М.І., Альошинський Є.С., Шварьов Д.А. Практичні рекомендації з оптимізації функціонування транспортного комплексу міжнародних вантажних залізничних перевезень// Вагонный парк. № 2. – Харьков, 2011.– С.4-7.

Поступила в редколлегию 27.06 .2011

УДК 519.876.5.:621.391; 621.391:519.72

О.О. СКОПА, канд.техн.наук, доц.Одеського державного економічного університету

ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ЗАСОБИ СТАТИСТИЧНОГО ТЕСТУВАННЯ КРИПТОГРАФІЧНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ

Проведений аналіз стану розвитку інструментальних засобів для тестування псевдовипадкових послідовностей, вживаних в криптографії та особливості застосування критерію згоди χ^2 .

Ключові слова: псевдовипадкова послідовність, криптографічне перетворення, криптографія, генератор псевдовипадкової послідовності, кофіденційність, цілісність, достовірність, критерій згоди

Проведен анализ состояния развития инструментальных средств для тестирования псевдослучайных последовательностей, применяемых в криптографии и особенности применения критерия согласия χ^2 .

Ключевые слова: псевдослучайная последовательность, криптографическое превращение, криптография, генератор псевдослучайной последовательности, конфиденциальность, целостность, достоверность, критерий согласия

The analysis of development of tools status is conducted for testing of pseudocausal sequences, applied in cryptography and feature of application the criterion of consent χ^2 .

Keywords: pseudo-random sequence, kriptografiches-something conversion, cryptography, pseudorandom generator of the sequence, confidentiality, integrity, reliability, criterion of consent

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з науковими і практичними завданнями

В даний час, в області захисту кофіденційності інформації, яка передається в інформаційно-телекомунікаційних системах, спостерігається тенденція заківленості до проблеми розробки поточкових шифрів. Такі шифри, на відміну від блокових шифрів, хоча й поступаються в криптографічній стійкості, володіють вищою продуктивністю, що дозволяє використовувати їх в реальному масштабі часу. Саме через ці причини, європейським криптологіческим співтовариством ECRYPT був оголошений відкритий конкурс (2004...2008 р.) на розробку нових поточкових шифрів – eSTREAM (*ECRYPT STREAM Cipher Project*) [1] з метою виявлення найбільш гідного претендента на використання в якості стандарту для країн європейського співтовариства. Розробка подібних шифрів зводиться до побудови генераторів шифруючих гам, які по своїх статистичних властивостях максимально наближаються до випадкових послідовностей з рівномірним законом розподілу вірогідності формованих символів. Алгоритми формування псевдовипадкових послідовностей (ПВП) з високим ступенем «випадковості»

знаходять широке застосування і при створенні захищених криптографічних протоколів як формувачі ключової інформації. Хоча завдання побудови рівномірно розподілених псевдовипадкових послідовностей в своїй постановці просте, насправді його рішення пов'язане з цілим рядом проблем, які вимагають проведення серйозних наукових досліджень і глибокого володіння математичним апаратом в області статистики. І те й інше не може не викликати серйозних труднощів у інженерів, що займаються практичною реалізацією функцій захисту інформаційних процесів.

Аналіз наукової та технічної літератури (наприклад [2...4]) показує, що до теперішнього часу розроблена достатньо велика кількість інструментальних засобів, що дозволяють здійснювати попередній аналіз придатності криптографічних перетворень, які породжуються генераторами ПВП, для потреб криптографії. Ці пакети прикладних програм реалізують набори тестів, покликані дати відповідь на питання, чи можливо, знаючи деяку ділянку формованої гамми, передбачити подальший (або попередній) її символ з вірогідністю, відмінною від 0,5? При негативній відповіді формована гамма визнається дійсно випадковою. Програмне забезпечення і опис наборів цих тестів є загальнодоступним і може бути отримане через інтернет-сайти їх розробників.

Проблема, проте, полягає в тому, що використання пропонованого програмного забезпечення припускає глибокий комплексний аналіз готового продукту. Описи цих тестів, що додаються, містять комплексні програми випробувань датчиків ПВП і процедури обчислення узагальненого показника якості, які враховують результати від усіх тестів, що входять до складу пакету. Ці тести дозволяють виявляти різні види аномалій в псевдовипадковій послідовності, які, в принципі, можуть бути використані як уразливості криптоалгоритму для організації на їх основі атаки з боку зловмисників.

В той же час, інженерам-розробникам необхідні інструментальні засоби, що реалізують прості й надійні процедури тестування на початкових і проміжних етапах створення генераторів, які дозволяють переконається в правильності вибраного шляху. З цієї причини розробники алгоритмів формування ПВП, як правило, часто пропонують власні засоби випробування, що підтверджують якість створеного програмного продукту і далеко не завжди використовують комплекти тестів, рекомендовані NIST [2] або іншими авторитетними організаціями. Частково це пояснюється ще й тим, що розробнику важливий не стільки узагальнений показник «випадковості» сформованої датчиком гамми, скільки вид окремої аномалії в її складі, який приводить до погіршення цієї самої «випадковості». З цієї причини у кожному конкретному випадку доводиться шукати свій відповідний спосіб тестування, і саме ця обставина пояснює підвищену увагу багатьох дослідників у цій області до побудови нових тестів. Підтвердженням цього є той факт, що наприклад, для шифру RC4, створеного в 1987 році, і в якому в подальшому, були виявлені деякі відхилення від випадковості, ніхто не міг запропонувати відповідного тесту, що практично реалізовувався, протягом багатьох років, не дивлячись на велике число робіт, присвячених цьому питанню. Все це говорить про те, пошук нових ефективних тестів, придатних для використання в якості інструментальних засобів в процесі

проектування, залишається поки *актуальним і не вирішеним до кінця завданням*.

Вперше практичне вирішення проблеми тестування датчиків випадкових чисел було запропоноване Д.Кнотом в його класичній роботі «Мистецтво програмування для ЕОМ» [5]. У ній розглядається декілька тестів, що дозволяють визначити, наскільки відповідає розподіл вірогідності деякої випадкової величини в спостережуваному процесі, очікуваному виду розподілу.

Серед розроблених тестів Д. Кнотом, найбільш відповідним для потреб криптографії представляється тест, заснований на критерії згоди χ^2 Пірсона. В даний час він застосовується для обчислення значення показника якості в переважній більшості тестів, що входять до складу криптографічних пакетів. Цінність цього критерію визначається тим, що з його допомогою можна безпосередньо оцінити ступінь рівномірності розподілу вірогідності чисел, що отримуються на виході генератора ПВП, і це робить його придатним для попередньої оцінки не тільки самого генератора, але й вхідних в його склад окремих компонентів. Згадана робота Д. Кнута була написана за часів становлення обчислювальної техніки і не орієнтована на потреби криптографії. Основний упор автор робив на економії обмежених, на ті часи, обчислювальних ресурсів і не ставилося питання про точність методу, що так важливо в області криптоаналізу.

Метою статті є акцентування уваги на особливостях застосування критерію згоди χ^2 для підтвердження відповідності розподілу вірогідності символів сформованої псевдовипадкової послідовності рівномірному закону.

Про застосування χ^2 -критерію написано багато і він, без сумніву, є одним з найчастіше вживаних. Проте, в більшості літературних джерел з області статистики, процедура його застосування розглядається в загальній постановці. Тим часом зацікавленість до нього зростає, і не тільки у зв'язку з вирішенням криптографічних завдань. У Росії, наприклад, навіть був випущений в 2001 році стандарт, що визначає порядок його використання [7].

Розглянемо суть і особливості вирішуваного завдання. Припустимо, деякий генератор породжує букви алфавіту $A = \{a_1, a_2, \dots, a_S\}$, $S > 1$. Причому ці букви представлені в обчислювальній системі двійковими кодовими комбінаціями фіксованої довжини m . Тоді загальне число символів на виході джерела буде рівне 2^m . За умови рівномірності розподілу їх вірогідності виконуватиметься проста гіпотеза H_0 , відповідно до якої всі символи рівноімовірні:

$$H_0 : p(a_1) = p(a_2) = \dots = p(a_S) = 1/S.$$

Відповідно, передбачається, що альтернативна гіпотеза H_1 полягає в запереченні цього твердження.

Для підтвердження справедливості гіпотези формується вибірка x_1, x_2, \dots, x_n по якій визначаються оцінки вірогідності символів на виході генератора. Величина n , як показано в роботі [5], повинна бути такою, щоб кожен символ мав можливість бути сформованим хоча б п'ять разів. Іншими словами, повинна виконуватися умова $np_i \geq 5$. Зазвичай цю величину n_i вибирають рівною 5...10 і

підраховують оцінки вірогідності як $p_i^* = \frac{n_i}{n}$. Звідси величина n повинна задовольняти умові $n \geq 5 \cdot 2^m$. Так, наприклад, якщо генератор формує на виході восьмибітові символи, то їх загальне число буде рівне 256 (від 0 до 255). Підрахувавши величину n_i для кожного з них, можна визначити показник

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{2^m} \frac{\left(p_i^* - \frac{n}{S}\right)^2}{\frac{n}{S}},$$

який характеризує ступінь наближення реального розподілу чисел на виході генератора до рівномірного закону.

Даний критерій заснований на тому, що зі зростанням величини n , показник χ^2 сходиться до розподілу χ^2 з $(S-1)$ ступенями свободи. Тут S можна розглядати як число інтервалів на яких спостерігається досліджувана величина, а одиниця визначає число параметрів, які обчислюються на основі спостережуваної статистики [7].

Для ухвалення рішення щодо справедливості нульової гіпотези H_0 , слід визначити рівень значущості $(1-\alpha)$. Тут α – вірогідність помилки першого роду, що означає вірогідність відхилення гіпотези H_0 , коли вона насправді справедлива.

З урахуванням характеру розподілу величини χ^2 , її порогове значення, відповідне прийнятому рівню значущості $\chi_{(1-\alpha),(S-1)}^2$ може бути визначено за допомогою функції **chi2inv** $((1-\alpha), (S-1))$ пакету MATLAB. Наприклад, для розглянутого вище випадку, величина $\chi_{0,99,255}^2 = 311,5603$. Якщо цей поріг величиною χ^2 перевищений, то нульова гіпотеза відкидається. Наприклад, при рівні $\alpha = 0,01$, у разі тестування ста послідовностей, отриманих від генератора випадкових чисел з різними значеннями ключа, не більше ніж для однієї з них показник χ^2 може перевищити значення $\chi_{(1-\alpha),(S-1)}^2$.

У роботі Дж.Тейлора [7] показано, що якщо розрахункове значення показника усереднювати по великому числу випробовуваних послідовностей, то розрахункова величина $\bar{\chi}^2$, задовольнятиме умові

$$\bar{\chi}^2 \leq (S-1). \quad (1)$$

Таким чином, якщо частка тестованих послідовностей, які успішно проходять цей тест не менше величини рівня значущості $(1-\alpha)$ і виконується умова (1), можна вважати, що випробовуваний генератор пройшов попередню перевірку і може бути випробовуваний за допомогою одного з прикладних тестових пакетів [2...4]. Якщо ж тест на основі критерію не дав позитивних результатів, подальші перевірки безглузді.

Одним з «вузьких» місць цього тесту є вибір кількості символів вихідного алфавіту S або, інакше кажучи, вибір числа інтервалів на яких спостерігаються символи вихідної послідовності тестованого генератора. У роботі [8], стверджується, що число інтервалів повинне вибиратися так, щоб на кожен символ вихідного алфавіту був свій інтервал. Тобто, якщо, наприклад, генератор оперує 32-х бітовими числами, то і число інтервалів повинне бути рівним 2^{32} . Це твердження робиться на тій підставі, що інакше виявляється «лукавість процесу». Сенс цього негативного явища полягає в тому, що якщо тестувати деяку регулярну (або близьку до регулярної) послідовність, то вона ідентифікуватиметься як абсолютно «випадкова» з рівномірним законом розподілу вірогідності і, чим довшим є розмір слова в алфавіті, тим меншою є ступінь небезпеки. Далі автори цієї роботи розумно ставлять питання про те, що при такому розмірі алфавіту буде потрібно неймовірно великий розмір пам'яті і часових ресурсів для реалізації тесту. З метою подолання цієї проблеми пропонується тест на основі так званого алгоритму «Стопка книг». Його суть зводиться до того, що символи алфавіту нумеруються в послідовному порядку і при формуванні датчиком випадкового числа, символ з відповідним номером переміщується на перше місце в алфавіті. При цьому всі символи, що займають попередні позиції (зліва), переміщуються управо на один крок. Це відбувається аналогічно тому, як книга, що витягується навмання з вертикальної стопки, кладеться на верхнє місце, а всі вищестоячі опускаються вниз на одну позицію. Потім весь діапазон чисел розбивається на відносно невелику кількість інтервалів і далі застосовується критерій χ^2 . Описаний алгоритм можна проілюструвати рис.1.

Справедливо робиться твердження, що при рівноімовірних символах вірогідності попадання сформованого датчиком числа в будь-який з інтервалів будуть рівні, а інакше символи, що частіше зустрічаються, частіше опиняться у верхній частині «стопки». На цій підставі робиться висновок про більшу чутливість тесту до нерівномірності тестованої послідовності, що доводиться на високому математичному рівні в цілому ряду опублікованих авторами цього тесту статей.

Не оспороюючи в принципі тверджень, зроблених авторами цієї роботи, слід відмітити, що кількість інтервалів розбиття (або розмір символу m в алфавіті) можна вибрати невеликим також у розглянутому вище χ^2 -тесті. При цьому можлива недостатня «випадковість» послідовності буде виявлена при кінцевих випробуваннях генератора іншими додатковими тестами, що не вимагають значних обчислювальних ресурсів.

Друге зауваження є серйознішим і неприємнішим. Програмна реалізація тесту «Стопка книг» зажадає моделювання процедури переміщення чисел в алфавіті («у стопці»), а це, у свою чергу, вимагає великих обчислювальних ресурсів, зводячи декларовані переваги методу до мінімуму.

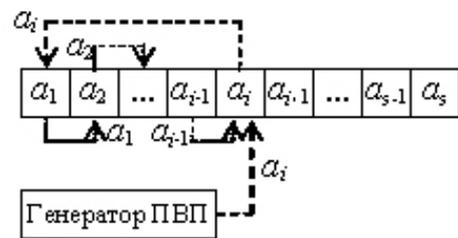


Рис. 1. Принцип перестановки символів алфавіту по методу «Стопка книг»

З врахуванням зазначеного зауваження, для обох методів були проведені порівняльні випробування звичайного методу χ^2 і методу «Стопка книг» при рівній кількості інтервалів. Як генератор ПВП використовувався алгоритм RC4 з довжиною блоку в один байт ($m=8$). На рис. 2 представлений графік, який відображає результати тестування 100 послідовностей, довжина кожної з яких складала 8192 байт. На рисунку крива 1 відображає величину показника для звичайного χ^2 -тесту, а крива 2 відображає усереднювання цієї величини зі зміною числа тестів від 1 до 100. Відповідно, крива 3 відображає величину показника для тесту «Стопка книг», а крива 4 відображає усереднювання цієї величини зі зростанням числа тестів від 1 до 100.

Порівняння характеристик показує близькість результатів, які дають обидва тести за рівних умов для випробовуваних послідовностей і придатних для попереднього аналізу генераторів, що розробляються для криптографічних потреб.

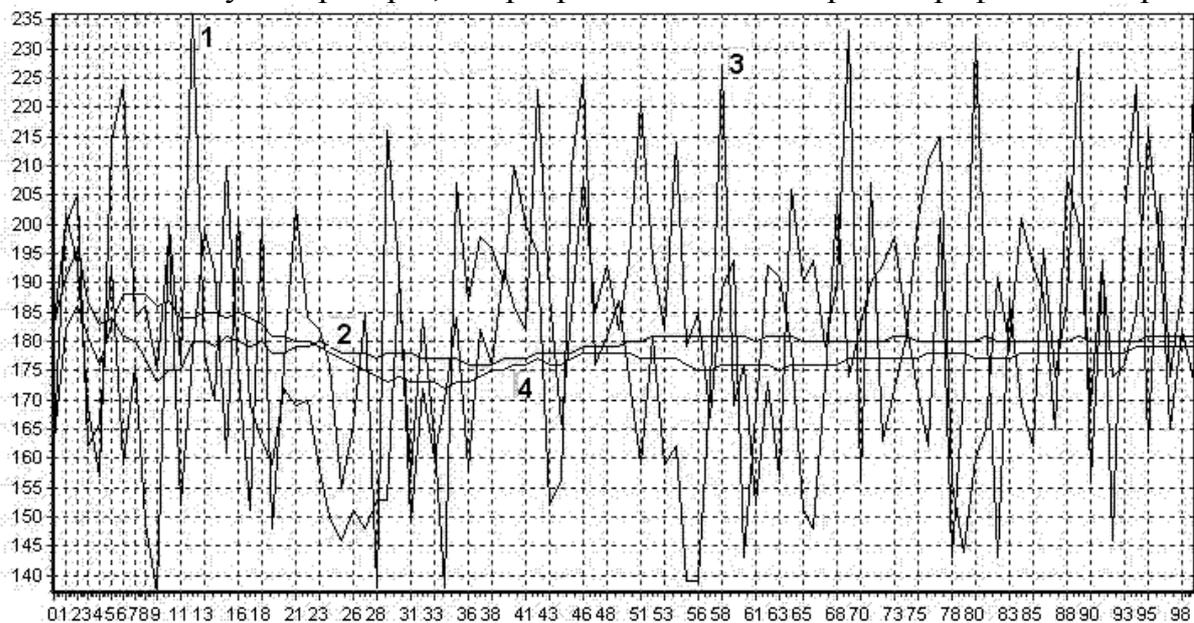


Рис. 2. Зміна показників результатів тестування

На закінчення слід відзначити, що, як вказано в керівництві до пакету тестів, розроблених NIST [2], тестування, не залежно від того, чи проводиться воно окремими тестами, чи пакетами тестів, не є частиною криптоаналізу. По його результатах робиться попередній аналіз стійкості криптографічного перетворення. Інша справа, що загальновідомі пакети, які пройшли випробування часом, дозволяють провести комплексну перевірку генератора для виявлення тих аномальних місць в рівномірно розподіленій послідовності, яку не виявляють традиційні статистичні методи.

Враховуючи, що нові шифри розробляються з урахуванням уразливостей, які стали причиною вдалих криптографічних атак на вже відомі алгоритми, є підстави вважати, що пошук нових методів тестування буде продовжений.

Список літератури: 1.eSTREAM, the ECRYPT Stream Cipher Project // [Электронный ресурс]: <http://www.ecrypt.eu.org/stream/index.html>. 2. A Statistical Test Suite for the Validation of Random Number Generators and Pseudo Random Number Generators for Cryptographic Applications. NIST Special Publication 800-22. May 15, 2001.3.The Marsaglia Random Number CDROM including the

Diehard Battery of Tests of Randomness // [Электронный ресурс]: <http://www.stat.fsu.edu/pub/diehard> 4.Statistical test suite Crypt-X // [Электронный ресурс]: <http://www.isi.qut.edu.au/resources/cryptx/> 5.Кнут Д. Искусство программирования для ЭВМ. Т.2. – М.: Мир, 1977. – 727 с. 6.Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим. Часть I. Критерии типа хи-квадрат 14.12.2001 // [Электронный ресурс]: <http://www.tcinti.ru/shop/catalog/index.php?docum=25096/> 7.Тейлор Дж. Введение в теорию ошибок. Пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 272 с. 8. Дорошенко С.А., Лубкин А.М., Рябко Б.Я., Фионов А.Н. Экспериментальный анализ шифра RC4 и потоковых шифров, выдвинутых на конкурс ESTREAM. – Новосибирск: Сибирский гос. ун-т телекоммуникаций и информатики // [Электронный ресурс]: <http://www.contrterror.tsure.ru/site/magazine8/05-14-Doroshenko.htm>
Поступила в редколлегию 31.07.2011

УДК 681.3:378.146

Н.О.РИЗУН, канд. техн. наук, доц., Днепропетровский университет экономики и права им. А. Нобеля

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ НАУЧНО-ИННОВАЦИОННОГО МНОГОУРОВНЕВОГО КОМПЛЕКСА ИНТЕНСИФИКАЦИИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА В ВУЗЕ (АСПЕКТ ФОРМАЛИЗАЦИИ ПОДСИСТЕМ)

Розроблено теоретичні основи математичної формалізації та синтезу часткових критеріїв підсистем науково-інноваційного багаторівневого комплексу інтенсифікації навчального процесу з використанням інформаційних технологій.

Ключові слова: інтенсифікація, навчальний процес, інформаційні технології.

Разработаны теоретические основы применения кибернетического подхода к математической формализации и синтеза частных критериев подсистем научно-инновационного многоуровневого комплекса интенсификации учебного процесса с использованием информационных технологий.

Ключевые слова: интенсификация, учебный процесс, информационные технологии.

Theoretical bases of the mathematical formalization and of synthesis of particular criteria subsystems of scientific and innovative multilevel complex of study process intensification with the use of information techniques are developed.

Key words: intensification, study process, information technique.

Введение

Всеобщая технологизация производства, бурный рост информационных и коммуникационных технологий, автоматизация интеллектуальных процедур – с одной стороны; динамичное развитие экономики и рост конкуренции, определяющие постоянную потребность в повышении профессиональной квалификации и переподготовке работников, росте их профессиональной мобильности – с другой, предъявляют новые требования к системе образования.

В этой связи одной из ключевых проблем совершенствования системы образования высшей школы в Украине продолжает оставаться интенсификация учебного процесса с использованием кибернетического подхода, позволяющего обобщить опыт автоматизации отдельных элементов учебного процесса с использованием средств моделирования, обратной связи, формализации и фиксации сигналов учебной информации, интегрируя их в разработку и

внедрение современных технологичных методологий обучения [1].

Постановка проблемы

Для обеспечения качества обучения и интенсификации учебного процесса в образовательном учреждении необходимо создать стабильный, надежно функционирующий научно-методический комплекс обучения, предполагающий совершенствование [2]:

1. *Содержательной части учебного процесса*, включающей: рациональный отбор и структуризацию учебного материала (УМ) с четким выделением иерархии основной базовой части, дополнительной, второстепенной информации; перераспределение учебного времени между самостоятельной и групповой работой студентов; возможность формирования индивидуальных траекторий обучения студентов.

2. *Методов и методологий обучения*, включающих: управляемый мониторинг (контроль, коррекцию результатов учебной деятельности, компьютерное тестирование); инструменты организации и управления коллективной и индивидуальной учебной деятельностью студентов; методики обеспечения высокой результативности обучения и равномерного продвижения всех обучаемых независимо от исходного уровня их знаний, индивидуальных способностей и формы обучения (дневной, заочной, вечерней).

3. *Технологий обучения* путем использования современных информационно-коммуникационных технологий и средств обучения, обеспечивающих автоматизированную организацию управляемого мониторинга (контроль, коррекция результатов учебной деятельности, компьютерное тестирование) и процессов информационно-методического обеспечения.

Анализ последних публикаций

В настоящее время существует множество разработок в области систем интенсификации учебного процесса (СИУП) с использованием кибернетического подхода:

1. СИУП поддержки лекционного курса: реализованные функции – гипертекстовое и гипермедиа системы организации лекционного сопровождения; необходимые функции – поддержка лекционного курса, обеспечивающего обратную связь (ОС) с обучаемыми в контексте методологии проведения адаптивных и индивидуализированных учебного процесса.

2. Тестовые и контролирующие СИУП: реализованные функции – реализация функции контроля усвоения знаний на различных этапах обучения (от текущего контроля до итоговой оценки готовности обучаемого); необходимые функции – использование тестового контроля как инструмента обратной связи, способствующего адаптации и индивидуализации УП.

3. Класс электронных учебников для самостоятельного изучения, справочные системы: реализованные функции – использование текстовых материалов, статических и динамических изображений, аудио- и видео фрагментов, контрольных заданий; необходимые функции – обеспечение формирования индивидуальных траекторий (индивидуализации) УП.

4. Интегрированные СИУП: научно-методологический комплекс системного использования всех видов СИУП.

Нерешенные части общей проблемы

Анализ существующих разработок позволил выявить следующие особенности:

1. Большинство разработок не имеет комплексного (интегрированного) характера и в основном направлено создание локальных систем интенсификации УП с использованием частных инструментов СИУП определенного типа.

2. Ряд существующих интегрированных СИУП не отвечают главным принципам классической технологии образования, а именно наличием следующих признаков: *научной концептуальности и системности целей* и содержания, инновационности процесса обучения – основной целью большинства систем является автоматизация существующих образовательных процессов, а не разработка научной концепции совершенствования УП; *оптимальной реализации человеческих и технических возможностей* – оптимизация достигается в основном опять же за счет автоматизации рутинных операций, а не за счет разработке и реализации интенсификационных методов обучения; *корректируемости* за счет наличия *оперативной и качественной ОС*, последовательно ориентированной на четко определенные цели – тестовый контроль знаний как инструмент ОС, во-первых, не всегда снабжен технологией контроля и анализа его качества, во-вторых, чаще всего используется только для фиксации и накопления информации об уровне знаний и умений обучаемых; *гарантированности результатов* – разрабатываемые системы не всегда способны гарантировать планируемый уровень знаний для студентов различных уровня подготовки и форм обучения.

3. Практически отсутствует обоснование состава и математическая формализация комплекса подсистем, включенных в СИУП, а также методология синтеза частных критериев подсистем.

Целью статьи является разработка теоретических основ применения кибернетического подхода к математической формализации и синтезу частных критериев подсистем научно-инновационного многоуровневого комплекса интенсификации учебного процесса (НИМК ИУП) с использованием информационных технологий (ИТ), обеспечивающих системное использование и интеграцию: 1) методов оптимизации, структуризации и взаимной скоррелированности содержательной части УП; 2) технологий качественного использования тестового контроля как механизма интенсификации УП; 3) современных адаптивных образовательных методологий индивидуализации процесса обучения; 4) унифицированных информационных образовательных систем, максимально адаптированных к существующей программно-технологической платформе ВУЗов Украины.

Постановка проблемы

С целью реализации системного подхода к разработке системы управления сложным объектом авторами был предложен интегральный алгоритм, в результате выполнения четырех этапов которого [3] обоснован состав и сформирована декомпозиционная иерархическая структура информационного взаимодействия и координации подсистем НИМК ИУП (рис. 1).

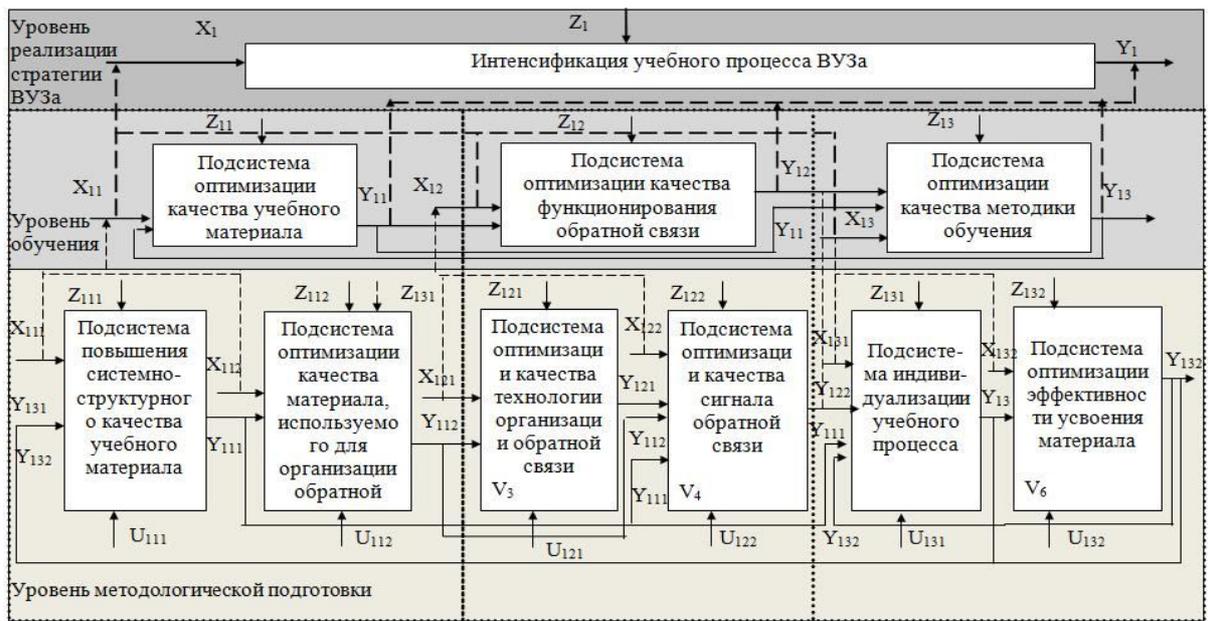


Рис. 1. Иерархическая структура информационного взаимодействия и координации подсистемы НИМК ИУП с использованием ИТ

С целью совершенствования *содержательной части учебного процесса* на уровне методологической подготовки выделена подсистема V_1 "Повышения системно-структурного качества УМ", общая математическая формализация которой может быть записана в следующем виде:

$$f_{111} (X_{111}, Y_{111}, Z_{111}, U_{111}) \rightarrow extr \quad (1)$$

где $X_{111} = \{X_{111}^1, X_{111}^2, X_{111}^3\}$ – множество элементов вектора входной информации подсистемы V_1 ; $Y_{111} = \{Y_{111}^1, Y_{111}^2, Y_{111}^3\}$ – множество элементов вектора выходной информации подсистемы V_1 ; Z_{111} – множество элементов вектора критериев оптимальности подсистемы V_1 ; U_{111} – алгоритм управления подсистемой V_1 (таблица 1).

Таблица 1. Параметры системы управления подсистемой повышения системно-структурного качества УМ

Параметры	Обозначение	Название параметра системы управления
Входная информация X_{111}	X_{111}^1	Материал для самостоятельной работы
	X_{111}^2	Материал для лекционных занятий
	X_{111}^3	Тестовый материал
Выходная информация Y_{111}	Y_{111}^1	Конспект лекций для самостоятельной работы студентов
	Y_{111}^2	Слайд-конспект для лекционных занятий
	Y_{111}^3	Тестовый материал
Критерий оптимизации Z_{111}	K_{k1}^u	Структурированность
	K_{k2}^u	Полнота
	K_{k5}^u	Многовариантность
	K_{k6}^u	Коррелированность вариантов форм УМ
Алгоритм U_{111}	U_{111}	Эвристический алгоритм повышения системно-структурного качества УМ

Управление процессом функционирования данной подсистемы осуществляется с помощью разработанного эвристического алгоритма U_{111} повышения системно-структурного качества УМ, обеспечивающего максимизацию суммы взвешенных составляющих показателя качества формируемого УМ на этапе методологической подготовки УП:

$$Z_{111} = w_1 \cdot K_{k1}^u + w_2 \cdot K_{k2}^u + w_3 \cdot K_{k5}^u + w_4 \cdot K_{k6}^u \rightarrow \max \quad (2)$$

где w_1, w_2, w_3, w_4 – весовые коэффициенты значимости соответственно показателей:

а) *структурированности* (K_{k1}^u), предполагающей выполнение декомпозиции $\square_i(X_s)$ глубины s всех трех форм УМ – для самостоятельной и лекционной работы, а также тестового материала (ТМ):

$$\Phi_1(X_{111}^1) = F\{M_s^u(X_{111(1)}^1), M_s^u(X_{111(2)}^1), \dots, M_s^u(X_{111(m)}^1)\} = Y_{111}^1 \quad (3)$$

$$\Phi_2(X_{111}^2) = F\{M_L^u(X_{111(1)}^2), M_L^u(X_{111(2)}^2), \dots, M_L^u(X_{111(m)}^2)\} = Y_{111}^2 \quad (4)$$

$$\Phi_3(X_{111}^3) = F\{M_T^u(X_{111(1)}^3), M_T^u(X_{111(2)}^3), \dots, M_T^u(X_{111(m)}^3)\} = Y_{111}^3 \quad (5)$$

$$\text{причем, } \Phi_1(X_{111}^1) \sim \Phi_2(X_{111}^2) \sim \Phi_3(X_{111}^3). \quad (6)$$

б) *полноты* (K_{k2}^u), предполагающей максимальное отображение во всех трех формах УМ полного множества $|M|$ необходимых для изучения дисциплины структурных учебных элементов:

$$\begin{aligned} M_s^u(X_{111(1)}^1) \cup M_s^u(X_{111(2)}^1) \cup \dots \cup M_s^u(X_{111(m)}^1) &= M_L^u(X_{111(1)}^2) \cup M_L^u(X_{111(2)}^2) \cup \dots \cup M_L^u(X_{111(m)}^2) = \\ &= M_T^u(X_{111(1)}^3) \cup M_T^u(X_{111(2)}^3) \cup \dots \cup M_T^u(X_{111(m)}^3) = |M| \end{aligned} \quad (7)$$

в) *многовариантности* (K_{k5}^u), предполагающей подготовку УМ в нескольких формах – конспекта лекций для самостоятельного изучения Y_{111}^1 , слайд-конспекта лекций Y_{111}^2 и тестового материала Y_{111}^3 ;

г) *коррелированности* (ρ – корреляционный коэффициент) вариантов форм УМ и ТМ (K_{k6}^u):

$$\langle Y_{111}^1, Y_{111}^2, Y_{111}^3 \rangle = \rho. \quad (8)$$

Полученная в результате функционирования подсистемы V_1 совокупность тестовых заданий (ТЗ) Y_{111}^3 согласно классической теории тестирования должна подвергнуться процедуре оптимизации показателей качества (подсистема V_2):

$$f_{112}(X_{112}, Y_{112}, Z_{112}, U_{112}) \rightarrow \text{extr} \quad (9)$$

где $X_{112} = \{Y_{111}^3, X_{112}^1, X_{112}^2\}$ – множество элементов вектора входной информации подсистемы V_2 ; $Y_{112} = \{Y_{112}^1, Y_{112}^2, Y_{112}^3, Y_{112}^4\}$ – множество элементов вектора выходной информации подсистемы V_2 ; $Z_{112} = \{Z_{112}^1, Z_{112}^2\}$ – множество элементов вектора критериев оптимальности подсистемы V_2 ; U_{112} – алгоритм управления подсистемой V_2 (таблица 2).

Таблица 2. Параметры системы управления подсистемой оптимизации качества материала, используемого для организации обратной связи

Параметры	Обозначение	Название параметра системы управления
1	2	3
Входная информация	Y_{111}^3	Тестовый материал
	X_{112}^1	Уровень сложности ТЗ

X_{112}	X_{112}^2	Эталонное время выполнения ТЗ различной сложности
-----------	-------------	---

Продолжение таблицы 2

1	2	3
Выходная информация Y_{112}	Y_{112}^1	Переработанные вопросы ТЗ
	Y_{112}^2	Переработанные уровни сложности ТЗ
	Y_{112}^3	Переработанное эталонное время выполнения ТЗ различной сложности
	Y_{112}^4	Фактическое время выполнения ТЗ различной сложности
Критерий оптимизации Z_{112}	K_{k1}^o	Надежность
	K_{k2}^o	Валидность
	K_{k3}^o	Дифференцирующая способность
	E_{k8}^l	Экономия времени
Алгоритм U_{112}	U_{112}^1	Алгоритм экспресс-анализа качества ТМ
	U_{112}^2	Эвристический алгоритм расширенного анализа качества ТМ

Управление процессом функционирования данной подсистемы осуществляется с помощью разработанных авторами алгоритмов $U_{112} = \{U_{112}^1, U_{112}^2\}$ совершенствования организации обратной связи на этапе методологической подготовки УП:

1. Алгоритма *экспресс-анализа* качества тестового материала U_{112}^1 , применяемого на начальных этапах использования тестового материала (ТМ), характеризующегося недостатком статистического материала и обеспечивающего оптимизацию суммы взвешенных составляющих показателя качества УМ,

$$Z_{112}^1 = w_5 \cdot K_{k1}^o + w_6 \cdot K_{k2}^o + w_7 \cdot K_{k3}^o + w_8 \cdot E_{k8}^l \rightarrow \text{extr}, \quad (10)$$

путем:

а. Снижения *трудоемкости* E_{k8}^l *процесса* формирования полной корреляционной матрицы результатов тестирования по указанному УМ путем формализации методологии ее поэтапного гарантированного ($p=1$) получение из двух неполных матриц – результатов предварительного и контрольного тестирования в рамках одного учебного занятия (методы обработки – $M_{s1}^o \square M_{s2}^o$):

$$MATR = MATR_p \cup MATR_K, \quad (11)$$

причем:

– общее суммарное количество тестовых заданий K , полученных каждым лицом на этапах предварительного (KOL_p) и контрольного (KOL_K) тестирования, равно сумме элементов ТМ, который отобран для рассмотрения на запланированном учебном занятии Y_{111}^3 :

$$KOL_p + KOL_K = K \quad (12)$$

– каждый обучающийся в процессе прохождения этапов предварительного и контрольного тестирования получает в случайном порядке все вопросы ТМ без повторов Y_{111}^3 :

$$Y_{111_p}^3 \subset Y_{111}^3, Y_{111_K}^3 \subset Y_{111}^3 \quad (13)$$

$$Y_{111_P}^3 \cup Y_{111_K}^3 \cup Y_{111}^3 \quad (14)$$

$$Y_{111_P}^3 \cap Y_{111_K}^3 = \emptyset \quad (15)$$

б. Повышения *качества* K_{k1}^o , K_{k2}^o , K_{k3}^o ТМ путем обоснования целесообразности применения методики экспертной оценки M_{s4}^o качества ТМ с учетом дополнительных динамических показателей R_{s4}^o контроля изменение знаний в реальном масштабе времени, состоящей в:

– сравнении показателей полной корреляционной экспресс-матрицы KOR и динамических корреляционных экспресс-матриц-столбцов результатов предыдущего KOR_p и контрольного тестирования KOR_K ;

– формировании по результатам сравнения экспертной оценки списка тестовых заданий (ТЗ), вызывающих сомнение с точки зрения их качества:

$$EO_1 = \langle EO_GR_1, EO_EZ_1 \rangle, \quad (16)$$

где EO_GR_1 – лингвистическая переменная, принимающая одно из следующих значений: $EO_GR_1 = \{\text{Нет роста знаний, Снижение знаний, Резкий "всплеск" знаний}\}$; EO_EZ_2 – экспертное заключение о принятии последующих решений по корректировке ТЗ.

2. Эвристического алгоритма анализа качества ТМ U_{112}^2 [4, 5] на основании показателя *фактической скорости* выполнения ТЗ различной сложности, применяемого на этапе полноценного расширенного анализа и обеспечивающего максимизацию суммы взвешенных составляющих показателя качества ТМ,

$$Z_{112}^2 = w_9 \cdot K_{k1}^o + w_{10} \cdot K_{k2}^o + w_{11} \cdot K_{k3}^o \rightarrow \max, \quad (17)$$

путем повышения:

а) *дифференцирующей* способности теста K_{k3}^o за счет разработки и реализации алгоритма M_{s4}^o , M_{s3}^o идентификации уровня сложности Ψ ТЗ:

$$\Psi(Y_{111}^3) = \Psi\{M_T^u(Y_{111(1)}^3), M_T^u(Y_{111(2)}^3), \dots, M_T^u(Y_{111(m)}^3)\} \quad (18)$$

б) *качества* ТМ K_{k1}^o , K_{k2}^o , K_{k3}^o за счет разработки и формализации:

– эвристического алгоритма M_{s2}^o , M_{s3}^o расширенного анализа качества ТМ на основании показателя *фактической скорости* Y_{112}^4 выполнения ТЗ различного уровня сложности:

if $Low_F(\%) \leq Low_N(\%)$ and $High_F(\%) \geq High_N(\%)$, then $PROBLEM_v = -1$,

if $High_F(\%) \leq Low_N(\%)$ and $Low_F(\%) \geq High_N(\%)$, then $PROBLEM_v = +1$, (19)

else $PROBLEM_v = 0$

где $Low_F(\%)$ и $High_F(\%)$ – соответственно процент тестируемых, скорость выполнения которыми *i-го* ТЗ соответственно ниже (или превышает) нормативную Y_{112}^3 ; $Low_N(\%)$ и $High_N(\%)$ – экспертно установленная соответственно верхняя и нижняя нормы значений $Low_F(\%)$ и $High_F(\%)$.

–статистической M_{s1}^o , эвристической M_{s2}^o и экспертной M_{s4}^o процедуры переработки ТМ, позволяющей установить причины и пути устранения "проблемности" вопросов EO_2 :

$$- \quad EO_2 = \langle EO_GR_2, EO_EZ_2 \rangle, \quad (20)$$

где EO_GR_2 – лингвистическая переменная, принимающая одно из следующих значений: $EO_GR_2 = \{\text{Завышенная сложность вопроса, Заниженная сложность вопроса}\}$; EO_EZ_2 – экспертное заключение о принятии последующих решений по корректировке ТЗ.

Наличие качественного ТМ $Y_{112}^1, Y_{112}^2, Y_{112}^3$ служит исходным материалом для разработки элементов *управляемого мониторинга* – подсистемы "Оптимизации качества технологии организации ОС (методики тестового контроля)" V_3 , которая в математической форме может быть записана в следующем виде:

$$f_{121}(X_{121}, Y_{121}, Z_{121}, U_{121}) \rightarrow \text{extr} \quad (21)$$

где $X_{121} = \{Y_{112}^1, Y_{112}^2, X_{121}^1, X_{121}^2\}$ – множество элементов вектора входной информации подсистемы V_3 ; $Y_{121} = \{Y_{121}^1, Y_{121}^2, Y_{121}^3, Y_{121}^4\}$ – множество элементов вектора выходной информации подсистемы V_3 ; Z_{121} – множество элементов вектора критериев оптимальности подсистемы V_3 ; U_{121} – алгоритм управления подсистемой V_3 (таблица 3).

Таблица 3. Параметры системы управления подсистемой оптимизации качества технологии организации ОС (методики тестового контроля)

Параметры	Обозначение	Название параметра системы управления
Входная информация X_{121}	Y_{112}^1	Вопросы ТЗ
	Y_{112}^2	Уровни сложности ТЗ
	X_{121}^1	Степень сложности различных типов ТЗ
	X_{121}^2	Граничный процент правильных ответов на ТЗ в зависимости от степени сложности
Выходная информация Y_{121}	Y_{121}^1	Информация о правильных (неправильных) ответах студента
	Y_{121}^2	Информация о фактическом времени, потраченном на правильные ответы
	Y_{121}^3	Фактический процент правильных ответов на ТЗ в зависимости от степени сложности
	Y_{121}^4	Количество пройденных уровней сложности ТЗ
Критерий оптимизации Z_{121}	K_{k3}^T	Адаптивность
	K_{k4}^T	Эффективность использования ресурсов
	K_{k5}^T	Многовариантность
	K_{k6}^T	Демократичность
	E_{k7}^I	Экономия времени
Алгоритм U_{121}	U_{121}	Адаптивная методика проведения тестового контроля знаний студентов

Управление процессом решения данной подсистемы осуществляется с помощью разработанной адаптивной методики проведения тестового контроля знаний студентов U_{121} [6], обеспечивающей максимизацию суммы взвешенных составляющих показателя качества технологии организации методики промежуточного I_{z2}^o и итогового I_{z1}^o тестового контроля на этапе

методологической подготовки УП:

$$Z_{121} = w_{11} \cdot K_{k3}^T + w_{12} \cdot K_{k4}^T + w_{13} \cdot K_{k5}^T + w_{14} \cdot K_{k6}^T + w_{15} \cdot E_{k8}^I \rightarrow \text{extr} \quad (22)$$

а) Оптимизации показателя *демократичности* K_{k6}^T и *многовариантности* K_{k5}^T организации тестового сеанса за счет разработки и реализации принципов: определения степени сложности $X_{122}^1(t)$ в зависимости от значения вероятности угадывания P_i^u для ТЗ разных типов (t); последовательной подачи ТЗ разных типов в порядке уменьшения уровня сложности;

б) Оптимизации показателя *адаптивности* K_{k3}^T , *эффективности* использования ресурсов K_{k4}^T и *экономии* времени E_{k8}^I за счет разработки и реализации:

– алгоритма определения последовательности подачи ТЗ, состоящего в определении необходимости перехода на следующий уровень тестирования при условии превышения значения показателя граничного процента $X_{122}^2(t)$ для заданий определенного уровня над значением показателя фактического процента $Y_{122}^3(t)$ правильных ответов на ТЗ текущего уровня, а в противоположном случае – прерывания тестового сеанса;

$$\lambda = \begin{cases} 0, \text{ if } Y_{122}^3(t) < X_{122}^2(t) \Rightarrow S_i \xrightarrow{\text{переход}} X_{122}^1(t) = X_{122}^1(t-1) \\ 1, \text{ if } Y_{122}^3(t) \geq X_{122}^2(t) \Rightarrow \begin{cases} S_i \xrightarrow{\text{прекращение т тестов о сеанса}} \\ R_{s8}^o = 5 - X_{122}^1(t) \end{cases} \end{cases} \quad (23)$$

– правила достаточности χ прохождения студентом в процессе компьютерного тестирования определенного количества типов ТЗ, которое зависит от фактически установленного в процессе тестирования уровня знаний и умений каждого отдельного студента:

$$UR = \langle R_{s8}^o, EO_U \rangle, \quad (24)$$

где R_{s8}^o – количество пройденных уровней сложности типов ТЗ; EO_U – экспертное заключение (рейтинг, статус) об уровне устойчивости знаний студента; EO_EZ_2 – экспертное заключение о принятии последующих решений по корректировке ТЗ.

Качественный ТМ $Y_{112}^1, Y_{112}^2, Y_{112}^3$ и оптимально организованная процедура проведения тестового сеанса U_{121} служит основой для разработки и формализации подсистемы "Оптимизации качества сигнала ОС (идентификации результатов контроля знаний)", которая в математической форме может быть записана в следующем виде:

$$f_{122}(X_{122}, Y_{122}, Z_{122}, U_{122}) \rightarrow \text{extr} \quad (25)$$

где $X_{122} = \{Y_{121}^1, Y_{121}^2, Y_{112}^2, X_{122}^1, Y_{112}^3\}$ – множество элементов вектора входной информации подсистемы V_4 ; $Y_{122} = \{Y_{121}^1, Y_{121}^2, Y_{112}^2, X_{122}^1, Y_{112}^3\}$ – множество элементов вектора выходной информации подсистемы V_4 ; Z_{122} – множество элементов вектора критериев оптимальности подсистемы V_4 ; U_{122} – алгоритм управления подсистемой V_4 (таблица 5).

Таблица 5. Параметры системы управления подсистемой оптимизации качества сигнала ОС (идентификации результатов контроля знаний)

Параметры	Обозначение	Название параметра системы управления
Входная информация X_{122}	Y_{121}^1	Информация о правильных (неправильных) ответах студента
	Y_{121}^2	Информация о фактическом времени, потраченном на правильный ответ
	Y_{112}^2	Уровни сложности ТЗ
	X_{122}^1	Степень сложности различных типов ТЗ
	Y_{112}^3	Эталонное время выполнения ТЗ различной сложности
Выходная информация Y_{122}	Y_{122}^1	Информация о правильных (неправильных) ответах студента
	Y_{122}^2	Информация о фактическом времени, потраченном на правильные ответы
	Y_{122}^3	Фактический процент правильных ответов на тестовые задания в зависимости от степени сложности
	Y_{122}^4	Результирующее количество баллов $Y_{122}^4 = \{Y_{122R}^4, Y_{122F}^4\}$
	R_{s11}^o	Уровень устойчивости знаний
	R_{s10}^o	Коэффициент корреляции между рядами фактического и нормативного времени, потраченного на правильный ответ
Критерий оптимизации и Z_{122}	K_{k1}^T	Объективность
	K_{k2}^T	Адекватность
Алгоритм U_{122}	U_{122}	Алгоритм адаптивной идентификации результатов тестирования

Управление процессом решения данной подсистемы осуществляется с помощью разработанного алгоритма адаптивной идентификации результатов тестирования с учетом динамического коэффициента U_{122} [7], обеспечивающей максимизацию суммы взвешенных составляющих показателя качества технологии организации методики тестового контроля на этапе методологической подготовки УП:

$$Z_{122} = w_{16} \cdot K_{k1}^T + w_{17} \cdot K_{k2}^T \rightarrow \max, \quad (26)$$

путем:

а) Оптимизации показателя *объективности* K_{k1}^T процесса идентификации результатов тестового контроля Y_{122R}^4 за счет обоснования в качестве инструмента оценки степени устойчивости R_{s11}^o знаний коэффициента корреляции R_{s10}^o между рядами фактического Y_{122}^2 и нормативного времени X_{122}^2 , потраченного на правильный ответ;

б) Оптимизации показателя *адекватности* K_{k2}^T процесса идентификации результатов тестового контроля за счет разработки и реализации механизма защиты от "угадывания" EO_UG правильных ответов – использования динамического коэффициента для реализации алгоритма корректировки фактического набранного количества баллов Y_{122F}^4 в зависимости от: величины коэффициента корреляции R_{s10}^o между фактическим Y_{122}^2 и нормативным временем Y_{112}^3 ; уровня сложности вопроса Y_{121}^2 ; степени несоответствия эталону фактического времени, потраченного на правильный ответ:

$$EO_UG = \langle EO_R_{s10}^o, EO_PR, EO_ID \rangle, \quad (27)$$

где $EO_R_{s10}^o$ – лингвистическая переменная, принимающая одно из следующих значений: $EO_R_{s10}^o = \{\text{Противоположная или слабая, Умеренная Средняя и сильная}\}$; EO_PR – эвристическое правило о принятии последующих решений по корректировке тестовых заданий; EO_ID – алгоритм идентификации результатов тестирования (таблица 4).

Таблица 4. Алгоритм адаптивной идентификации результатов тестирования с учетом динамического коэффициента

R_{s10}^o	$EO_R_{s10}^o$	EO_PR	EO_ID	№
$R_{s10}^o < 0,29$	Противоположная или слабая	Малые затраты времени на сложные вопросы и длительные ответы на простые вопросы	$Y_{122R}^4 = \sum_{i=1}^n \left(Y_{122F}^4 * \frac{Y_{122i}^2}{Y_{112i}^3} \right)$	28
$0,3 < R_{s10}^o < 0,49$	Умеренная	«Штрафуются» только слишком быстрые ответы	$Y_{122R}^4 = \sum_{i=1}^n Y_{122F}^4 * \frac{\sum_{i=1}^n Y_{122i}^2}{\sum_{i=1}^m Y_{112i}^2}$	29
$R_{s10}^o > 0,5$	Средняя и сильная	Осмысленное распределение времени на ответы между сложными и простыми вопросами	$Y_{122R}^4 = \sum_{i=1}^n Y_{122F}^4$	30

Поскольку, согласно перечисленным выше требованиям к совершенствованию и интенсификации УП одним из основных является разработка *методов и методологий обучения*, математическая формализация подсистемы V_5 "Индивидуализации УП" может быть записана в следующем виде:

$$f_{131}(X_{131}, Y_{131}, Z_{131}, U_{131}) \rightarrow extr \quad (31)$$

где $X_{131} = \{Y_{111}^1, Y_{111}^2, Y_{112}^1, X_{131}^1\}$ – множество элементов вектора входной

информация подсистемы V_5 ; $Y_{131} = \{Y_{131}^1, Y_{131}^2, Y_{131}^3\}$ – множество элементов вектора выходной информации V_5 ; Z_{131} – множество элементов вектора критериев оптимальности подсистемы V_5 ; U_{131} – алгоритм управления подсистемой V_5 (таблица 5).

Таблица 5. Параметры системы управления подсистемой индивидуализации УП

Параметры	Обозначение	Название параметра системы управления
Входная информация X_{131}	Y_{111}^1	Конспект лекций для самостоятельной работы студентов
	Y_{111}^2	Слайд-конспект для лекционных занятий
	Y_{112}^1	Переработанные вопросы ТЗ
	X_{131}^1	Совокупность учебных элементов, определенных для рассмотрения на текущем занятии
Выходная информация Y_{131}	Y_{131}^1	Результаты предварительного тестирования
	Y_{131}^2	Степень самостоятельного усвоения предварительно полученного УМ
	Y_{131}^3	Скорректированный состав и структуры УМ Y_{111}^2
Критерий оптимизации Z_{131}	K_{k1}^m	Доступность подачи УМ
	K_{k2}^m	Адаптируемость УМ
	K_{k3}^m	Индивидуализация УМ
	K_{k5}^m	Наличие обратной связи УМ
	K_{k3}^u	Адаптируемость ТМ
	K_{k4}^u	Индивидуализация ТМ
	K_{k6}^u	Коррелированность вариантов форм и ТМ
Алгоритм U_{131}	U_{131}	Алгоритм индивидуализации УП

Управление процессом решения данной подсистемы осуществляется с помощью разработанной адаптивной методики индивидуализации УП U_{131} , обеспечивающей максимизацию суммы взвешенных составляющих показателя уровня индивидуализации УП на этапе его методологической подготовки:

$$Z_{131} = w_{18} \cdot K_{k1}^m + w_{19} \cdot K_{k2}^m + w_{29} \cdot K_{k3}^m + w_{20} \cdot K_{k5}^m + w_{21} \cdot K_{k3}^u + w_{22} \cdot K_{k4}^u + w_{23} \cdot K_{k6}^u \rightarrow \max, (32)$$

путем:

а) Оптимизации показателя *доступность* подачи УП K_{k1}^m , а также *коррелированности* вариантов форм и ТМ K_{k6}^u за счет разработки и реализации методики организации процесса предварительного получения структурированного УМ Y_{111}^1 для самостоятельного освоения, который планируется X_{131}^1 рассмотреть на следующем занятии.

в) Оптимизации показателей *адаптируемости* и *индивидуализации* процесса

обучения K_{k2}^m, K_{k3}^m и УМ K_{k3}^u, K_{k4}^u , а также наличия *обратной* K_{k5}^m связи в УП за счет разработки и формализации:

– методики M_{s2}^o, M_{s3}^o проведения в начале текущего учебного занятия предварительного тестирования знаний Y_{131}^1 (алгоритмы U_{122} и U_{123}) с целью определения степени усвоения предварительно полученного УМ $Y_{131}^1 = R_{s9}^o - P$:

$$R_{s9}^o - P = \langle EO_SU, EO_AL, EO_SU \rangle, \quad (33)$$

где EO_SU – лингвистическая переменная, принимающая одно из следующих значений: $EO_SU = \{\text{Достаточный уровень усвоения, Удовлетворительный уровень усвоения, Неудовлетворительный уровень усвоения}\}$; EO_AL – продукционное правило определения уровня усвоения:

$$\begin{aligned} &\text{If if } Y_{122}^3 \geq EO_GR(1), \text{ then } EO_SU(1); \\ &\quad \text{If if } EO_GR(1) < Y_{122}^3 \leq EO_GR(2), \text{ then } EO_SU(2); \\ &\quad \text{else } EO_GR(3) \end{aligned} \quad (34)$$

где $EO_GR(1), EO_GR(2), EO_GR(3)$ – граничные значения нормативных процентов правильных ответов на ТЗ, соответствующие значениям лингвистической переменной EO_SU ; EO_SU – экспертное заключение о принятии последующих решений по корректировке состава и структуры УМ.

– методики корректировки состава и структуры УМ Y_{111}^2 для группового обсуждения или дополнительной индивидуальной проработки, в зависимости от установленного уровня усвоения УМ $Y_{131}^1 = R_{s9}^o - P$ студентами текущей группы:

$$Y_{131}^3 = \Psi(Y_{111}^2, R_{s9}^o - P); \quad (35)$$

Результаты реализации *методов и методологий обучения*, включающих инструменты организации и управления коллективной и индивидуальной учебной деятельностью студентов и использующих инструменты *управляемого мониторинга* позволяют формализовать подсистему V_6 "Оптимизации эффективности усвоения УМ", которая может быть записана в следующем виде:

$$f_{132}(X_{132}, Y_{132}, Z_{132}, U_{132}) \rightarrow extr \quad (36)$$

где $X_{132} = \{Y_{131}^1, Y_{131}^3, Y_{112}^1, X_{131}^1\}$ – множество элементов вектора входной информации подсистемы V_6 ; $Y_{132} = \{Y_{131}^2, R_{s4}^o, R_{s9}^o, R_{s11}^o\}$ – множество элементов вектора выходной информации подсистемы V_6 ; Z_{132} – множество элементов вектора критериев оптимальности V_6 ; U_{132} – алгоритм управления подсистемой V_6 (таблица 6).

Таблица 6. Параметры системы управления подсистемой оптимизации эффективности усвоения УМ

Параметры	Обозначение	Название параметра системы управления
1	2	3
Входная информация X_{132}	Y_{131}^1	Результаты предварительного тестирования
	Y_{131}^3	Скорректированный состав и структуры УМ
	Y_{112}^1	Переработанные вопросы ТЗ

	X_{131}^1	Совокупность учебных элементов, определенных для рассмотрения на текущем занятии
--	-------------	--

Продолжение таблицы 6

1	2	3
Выходная информация Y_{132}	Y_{132}^1	Результаты контрольного тестирования
	R_{s4}^o	Динамика роста знаний
	Y_{132}^2	Степень усвоения УМ
	R_{s11}^o	Степень доступности УМ
Критерий оптимизации Z_{132}	K_{k1}^m	Доступность подачи УМ
	K_{k2}^m	Адаптируемость УМ
	K_{k4}^m	Уровень усвоения УМ
	K_{k5}^m	Наличие обратной связи
Алгоритм U_{132}	U_{132}	Алгоритм оптимизации эффективности УМ

Управление процессом решения данной подсистемы осуществляется с помощью разработанного алгоритма оптимизации эффективности учебного материала U_{132} , обеспечивающей максимизацию суммы взвешенных составляющих показателя уровня эффективности усвоения материала на этапе методологической подготовки УП:

$$Z_{132}^1 = w_{18} \cdot K_{k1}^m + w_{19} \cdot K_{k2}^m + w_{20} \cdot K_{k4}^m + w_{21} \cdot K_{k5}^m \rightarrow \max \rightarrow \max, \quad (37)$$

путем:

а) Оптимизации показателей *адаптируемости* K_{k2}^m , уровня усвоения учебного материала K_{k4}^m и наличия *обратной* K_{k5}^m связи в УП за счет разработки и реализации:

– методики повторного тестирования Y_{132}^1 в конце текущего занятия с целью повышения уровня объективности оценки степени усвоения УМ $Y_{132}^2 = R_{s9}^o \cdot K$ и получения информации о динамике изменения качества и количества знаний R_{s4}^o во времени: $R_{s4}^o = \langle Y_{131}^1, Y_{132}^1, EO_SU, EO_AL \rangle$. (38)

– алгоритма определения уровня доступности R_{s11}^o подачи материала и понятности для студентов определенной для текущего занятия совокупности элементов УМ:

$$EO_DOST = \langle R_{s4}^o, GR_PR_{s11}^o, EO_PR_{s11}^o, EO_AL, EO_PR \rangle, \quad (39)$$

где $GR_PR_{s11}^o = \{GR_PR_{s11}^o(1), GR_PR_{s11}^o(2), GR_PR_{s11}^o(3)\}$ – установленные по результатам экспертных оценок предельные уровни понимания и доступности представления УМ для каждого значения переменной $EO_PR_{s11}^o$; $EO_PR_{s11}^o$ – лингвистическая переменная, принимающая одно из следующих значений уровня понятности УМ: $EO_PR_{s11}^o = \{\text{Стабильное понимание, Стабильное непонимание, Стабильный рост понимания, Спад понимания}\}$; EO_PR – эвристическое правило о принятии последующих решений по корректировке формы подачи или содержания УМ (таблица 7).

Таблица 7. Эвристическое правило о принятии решений по корректировке ТЗ

	$EO_PR_{s11}^o(1)$	$EO_PR_{s11}^o(2)$	$EO_PR_{s11}^o(3)$	$EO_PR_{s11}^o(4)$
$EO_PR(1)$	–	$KOL_STN_{bjz} \leq GR_PR_{s11}^o(12)$	$KOL_VOZ_{bjz} \geq GR_PR_{s11}^o(13)$	$KOL_UB_{bjz} < GR_PR_{s11}^o(14)$
$EO_PR(2)$	–	$GR_PR_{s11}^o(12) < KO$ $L_STN_{bjz} \leq GR_PR_{s11}^o(22)$	$GR_PR_{s11}^o(13) < KOL_VOZ_{bjz} < GR_PR_{s11}^o(23)$	$GR_PR_{s11}^o(14) \leq KOL_UB_{bjz} \leq GR_PR_{s11}^o(24)$
$EO_PR(3)$	–	$KOL_STN_{bjz} > GR_PR_{s11}^o(32)$	$KOL_VOZ_{bjz} \leq GR_PR_{s11}^o(33)$	$KOL_UB_{bjz} > GR_PR_{s11}^o(34)$

Таким образом, формализация математических моделей и структуры информационного взаимодействия и координации подсистем $V^1 = \{V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6\}$ – результатов синтеза 1-го уровня – позволяют реализовать основные задачи и оптимизировать локальные критерии совершенствования управляющих параметров интенсификации УП на уровне его методологической подготовки.

Процедура синтеза 2-го уровня позволила авторам [3] выделить три основные подсистемы $V^2 = \{V_7, V_8, V_9\}$, реализующие основные задачи НИМК ИУП на этапе принятия решений в процессе непосредственно процесса обучения.

На данном этапе предусматривается разработка и формализация авторских технологий обучения путем использования современных информационно-коммуникационных технологий и средств обучения, обеспечивающих автоматизированную организацию адаптивного управления УП с использованием идентифицированных на уровне его методологической подготовки математических моделей, алгоритмов управления и информационных связей между подсистемами (1-39).

Математическая формализация данных подсистем V^2 в общем виде может быть представлена следующим образом:

$$f_p^2(X_p^2, Y_p^2, Z_p^2, U_p^2, I_p^2) \rightarrow extr, \quad (40)$$

где X_p^2 – входная информация p -й подсистемы иерархической структуры; Y_p^2 – выходная информация p -й подсистемы; Z_p^2 – локальный критерий оптимальности p -й подсистемы; U_p^2 – алгоритмы решения p -й подсистемы, I_p^2 – информационные технологии, используемые для реализации p -й подсистемы.

При чем, входящие X_p^2 и выходящие Y_p^2 информационные потоки являются результатом синтеза частных информационных потоков подсистем более низкого уровня декомпозиции – 1-го уровня реализации задачи синтеза:

$$X_{11}^2 = X_{111} \wedge X_{112}, Y_{11}^2 = Y_{111} \wedge Y_{112}, \quad (41)$$

$$X_{12}^2 = X_{121} \wedge X_{122}, Y_{12}^2 = Y_{121} \wedge Y_{122}, \quad (42)$$

$$X_3^2 = X_{131} \wedge X_{132}, Y_3^2 = Y_{131} \wedge Y_{132}. \quad (43)$$

Локальные критерии Z_p^2 полученных подсистем 2-го уровня синтеза формируются путем выполнения операций объединения элементов множеств

частных критериев подсистем 1-го уровня, а также множества критериев оптимизации используемых ИТ:

1) Целью функционирования V_7 – "Подсистемы оптимизации качества УМ" является достижение экстремума значений показателей:

$$Z_{11}^2 = (w_1^2 \cdot K_{k1}^u + w_2^2 \cdot K_{k2}^u + w_3^2 \cdot K_{k5}^u + w_4^2 \cdot K_{k6}^u) + (w_5^2 \cdot K_{k1}^o + w_6^2 \cdot K_{k2}^o + w_7^2 \cdot K_{k3}^o + w_8^2 \cdot E_{k8}^l) + (w_9^2 \cdot K_{k4}^u + w_{10}^2 \cdot K_{k3}^u) + (w_{11}^2 \cdot E_{k2}^l + w_{12}^2 \cdot (E_{k3}^l + E_{k7}^l) + w_{13}^2 \cdot E_{k5}^l + w_{14}^2 \cdot E_{k6}^l) \rightarrow \text{extr} \quad (54)$$

а) *Качества* УМ Z_{111} , реализуемого на уровне его подготовки E_{r1}^u (1-8).

б) *Качества* ТМ Z_{121}^1 и Z_{121}^{12} , реализуемого на уровне его подготовки E_{r1}^u (9-20).

в) *Адаптируемости* K_{k3}^u и *индивидуализации* K_{k4}^u УМ, реализуемых на этапе индивидуализации УП U_{131} (33-35).

г) *Эффективности* использования ИТ I_{11}^2 , а именно:

–максимально эффективной *интеграции* в существующую учебную информационную среду E_{k6}^l , выражающейся в целесообразности разработки и использования программных продуктов на базе универсальных офисных технологий *MS Office* и встроенного языка программирования *VBА*;

–*защищенности* УМ E_{k5}^l с помощью средств шифрования и дешифрования базы ТЗ;

–*минимизации* ресурсов памяти E_{k2}^l путем размещения базы УМ на сервере;

–*сетевой* организации и использования Интернет-технологий E_{k3}^l , выражающейся в использовании технологии *мобильной* E_{k7}^l обучающей системы, реализующей технологию хранения и использования кратковременного сеанса передачи базы тестовых заданий с сервера, который размещен в *Internet*-сети, средствами беспроводной связи.

2) Целью функционирования V_8 – "Подсистемы оптимизации качества функционирования ОС" – является достижение экстремума значений показателей:

$$Z_{12}^2 = (w_{15}^2 \cdot K_{k1}^T + w_{16}^2 \cdot K_{k2}^T + w_{17}^2 \cdot K_{k3}^T + w_{18}^2 \cdot K_{k4}^T + w_{19}^2 \cdot K_{k5}^T + w_{20}^2 \cdot K_{k6}^T) + (w_{21}^2 \cdot E_{k1}^l + w_{22}^2 \cdot E_{k2}^l + w_{23}^2 \cdot E_{k3}^l + w_{24}^2 \cdot E_{k5}^l + w_{25}^2 \cdot E_{k6}^l + w_{25}^2 \cdot E_{k7}^l + w_{25}^2 \cdot E_{k8}^l) \rightarrow \max, \quad (55)$$

а) *Качества* технологии тестового контроля, а именно организации тестового сеанса Z_{121} (22-24) и идентификации результатов тестирования Z_{122} (25-30);

б) *Эффективности* использования ИТ I_{12}^2 , а именно:

– *модульности* E_{k1}^l , реализующейся в разработке как минимум двух модулей систем тестирования: "*Модуль-Преподаватель*" и "*Модуль-Студент*" для разграничения функций пользователей и целевого назначения программной оболочки;

– *многовариантности* E_{k4}^l , выражающейся в возможности использования системы тестирования для проведения:

Вариант 1. Итогового I_{z1}^o или *промежуточного* I_{z2}^o контроля знаний (в составе адаптивной методики проведения тестового контроля знаний студентов U_{121}) (23-24).

Вариант 2. Измерение качества ТМ I_{z4}^o , как элемента обучения I_{z3}^o и адаптации I_{z5}^o УП, а также измерение уровня эффективности обучения I_{z6}^o (в составе адаптивной методики индивидуализации УП U_{131} и оптимизации эффективности УМ U_{132}) (31-39).

Вариант 3. Адаптации I_{z5}^o УП путем реализации индивидуальной конфигурации для организации мобильного тестирования даже при отсутствии студента (по уважительной причине). В данном случае передача базы данных и тестовой оболочки будет производиться путем организации кратковременной связи через радио-модем или *Internet-сеть* E_{k7}^I . С целью предотвращения возможности подсказок в процессе тестирования, сеанс может сопровождаться видеозаписью (например, с помощью программного компонента *MS Office* – программы *MS OneNote*) с дальнейшим возвращением данной видеозаписи вместе с базой данных и оболочкой тестирования.

– защищенности E_{k5}^I и минимизации ресурсов памяти E_{k2}^I , состоящих в использовании изолированной базы данных УМ и, в частности, базы ТЗ, хранящейся с максимальной степенью конфиденциальности на удаленном сервере E_{k3}^I в сети *Internet* E_{k7}^I , с последующей идентификацией закодированных персональных результатов тестирования непосредственно на удаленном сервере без вмешательства лиц, принимающих экзамен;

– максимально эффективной интеграции в существующую учебную информационную среду E_{k6}^I путем разработки унифицированной системы компьютерного тестирования средствами программирования *VBA MS Access*, причем файлы базы данных ТЗ и программной оболочки тестирования имеют одинаковый тип файла *. *accdb*.

3) Целью функционирования V_8 – "Подсистемы оптимизации качества методики обучения" является достижение экстремума значений показателей:

$$Z_{13}^2 = (w_{27}^2 \cdot K_{k1}^m + w_{28}^2 \cdot K_{k2}^m + w_{29}^2 \cdot K_{k3}^m + w_{30}^2 \cdot K_{k4}^m) + (w_{31}^2 \cdot K_{k5}^m + w_{32}^2 \cdot K_{k2}^m) + (w_{33}^2 \cdot K_{k3}^u + w_{34}^2 \cdot K_{k4}^u + w_{35}^2 \cdot K_{k6}^u) + (w_{36}^2 \cdot E_{k1}^I + w_{37}^2 \cdot E_{k2}^I + w_{38}^2 \cdot E_{k3}^I + w_{39}^2 \cdot E_{k4}^I + w_{40}^2 \cdot E_{k5}^I + w_{41}^2 \cdot E_{k6}^I) \rightarrow extr \quad (56)$$

а) Качества методики преподавания Z_{131}^1 и Z_{132}^1 , реализуемого на уровне ее разработки и подготовки E_{r1}^u (31-39).

б) Универсальности и эффективности процесса обучения K_{k2}^m , предполагающих предоставление системой в возможности корректировки состава и структуры УМ с учетом индивидуального уровня знаний студентов и специфики форм обучения K_{k5}^m – дневной, вечерней, заочной (с помощью адаптивной методики индивидуализации УП U_{131} и минимизации времени оптимизации эффективности усвоения УМ U_{132}) (31-39).

в) Адаптируемости и индивидуализации УМ K_{k3}^u, K_{k4}^u , а также коррелированности вариантов форм и ТМ K_{k6}^u (в составе адаптивной методики индивидуализации УП U_{131} и оптимизации эффективности усвоения УМ U_{132}) (31-39).

г) Эффективности использования ИТ I_{13}^2 :

– модульности E_{k1}^I , реализующейся в разработке отдельных обучающих

модулей: "Модуль-Преподаватель" и "Модуль-Студент" для разграничения функций пользователей и целевого назначения обучающей оболочки;

– *многовариантности* E_{k4}^1 , выражающейся в возможности настройки режимов адаптации обучающей системы с учетом группового или индивидуального уровня знаний и умений студентов;

– *защищенности* E_{k5}^1 и *минимизации* ресурсов памяти E_{k2}^1 , состоящих в использовании изолированной базы данных УМ и, в частности, базы ТЗ, хранящейся с максимальной степенью конфиденциальности на удаленном сервере E_{k3}^1 в сети *Internet* E_{k7}^1 , с последующей идентификацией закодированных персональных результатов тестирования непосредственно на удаленном сервере без вмешательства лиц, принимающих экзамен;

– максимально эффективной *интеграции* в существующую учебную информационную среду E_{k6}^1 путем разработки унифицированной системы обучения средствами программирования *VBA MS Word* и *MS PowerPoint* (конспекты лекций), а также *MS Access* (оболочка тестового контроля и база ТЗ).

Системная разработка и функционирования локальных подсистем оптимизации качества основных элементов совершенствования и интенсификации УП – *технологий обучения* V_7, V_8, V_9 путем использования современных информационно-коммуникационных технологий и средств обучения, обеспечивающих автоматизированную организацию *содержательной части учебного процесса* V_1, V_2 , *управляемого мониторинга качества знаний* V_3, V_4 и *методов и методологий обучения* V_5, V_6 гарантирует достижение экстремума главного критерия поставленной задачи – реализации стратегии интенсификации и совершенствования качества УП в ВУЗе посредством внедрения в него современных кибернетических подходов и ИТ:

$$Z^3 = Z_{11}^2 \wedge Z_{12}^2 \wedge Z_{13}^2 = w_1^3 \cdot K_k^u + w_2^3 \cdot K_k^m + w_3^3 \cdot K_k^o + w_4^3 \cdot K_k^T + w_5^3 \cdot E_k^1 \rightarrow extr. \quad (57)$$

Выводы

Авторами статьи предложена методика разработки теоретических основ применения кибернетического подхода к математической формализации и синтезу частных критериев подсистем НИМК ИУП с использованием ИТ [3], которая характеризуется:

– наличием научной концепции и системного обоснования достижения цели интенсификации УП путем оптимизации интегрированной целевой функции;

– повышением эффективности УП за счет разработки инновационных методологий рационализации использования человеческих и технических возможностей;

– оперативной и качественной системой управляемого мониторинга уровня и качества знаний обучаемых, обеспечивающей достоверность и адекватность функционирования ОС и выработки эффективных корректирующих управленческих решений;

– адаптивной методологией обучающего процесса, позволяющей гарантировать планируемый уровень знаний для студентов различного уровня подготовки и форм обучения.

Список литературы: 1. Технологии интенсификации учебного процесса в образовательном учреждении: диссертация ... кандидата педагогических наук: 13.00.01 / Безбородова Светлана Валентиновна; [Место защиты: Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т] - Нижний Новгород, 2008 - 206 с. 2. *Безбородова С.В., Котляр Л.М.* Технология интенсификации учебного процесса в средней профессиональной школе в условиях модернизации образования // *Фундаментальные исследования.* – 2007. – № 12 – С. 352-354. 3. *Ризун Н.О.* Кибернетический поход к построению научно-инновационного многоуровневого комплекса интенсификации учебного процесса в вузе (Аспект структуризации системы) / Н.О. Ризун // "Східно-Європейський журнал передових технологій", № 4/9 (52), 2011 р. – С.65-69. 4. *Ризун Н.О.* Эвристический алгоритм совершенствования технологии оценки качества тестовых заданий. "Східно-Європейський журнал передових технологій", №3/11 (45), 2010 р. – с.40-49. 5. *Ризун Н.О.* Концепция построения экспертной системы поддержки принятия решений по управлению учебным процессом в ВУЗе. / Ризун Н.О // Вісник НТУ "ХПИ". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2011. – № 17. – С. 135 – 142. 6. *Тараненко Ю.К., Ризун Н.О.* Спосіб проведення комп'ютерного тестування знань студентів. [Текст]: патент на корисну модель 58657 Україна: МПК G06F 7/00; Замовник та патентовласник: Тараненко Ю.К., Ризун Н.О. □ № u 2010 09376, заявл. 26.07.2010, опубл. 26.04.2011, Бюл. № 8, 2011 р. – 14 с. 7. *Тараненко Ю.К., Ризун Н.О.* Спосіб виміру рівня знань учнів при комп'ютерному тестуванні [Текст]: патент на корисну модель № 51559 Україна: МПК G06F 7/00; Замовник та патентовласник: Тараненко Ю.К., Ризун Н.О. □ № u 200913726, заявл. 28.12.2009, опубл. 26.07.2010, Бюл. № 14, 2010 р.

Поступила в редколлегию 21.07.2011

УДК 621.391

А. В. ПЕРСИКОВ, доц., ХНУРЭ, Харьков

А. С. ЕРЕМЕНКО, с.н.с, канд. техн. наук, ХНУРЭ, Харьков

СИСТЕМА ОЦЕНИВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КРИПТОГРАФИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ТРАФИКА NGN

В статті аналізуються недоліки сучасних систем криптографічного захисту трафіку. Розглядаються питання розробки системи оцінювання ефективності впровадження нових алгоритмів та модифікації мережевих протоколів із урахуванням параметрів, які задаються в згоді про якість обслуговування.

Ключові слова: криптографія, керування, алгоритм, трафік

В статье анализируются недостатки современных систем криптографической защиты трафика. Рассматриваются вопросы разработки системы оценивания эффективности внедрения новых алгоритмов и модификации сетевых протоколов с учетом параметров, задаваемых в соглашении о качестве обслуживания.

Ключевые слова: криптография, управление, алгоритм, трафик

In the article the shortcomings of modern cryptographic systems for the traffic security are analyzed. The issues of development assessment system efficiency of the implementation of new algorithms and modifying network protocols within the parameters defined in the agreement about the quality of service are considered.

Key words: cryptography, control, algorithm, traffic

Введение

Современные телекоммуникационные сети (ТС), такие как NGN (сеть следующего поколения, next generation network) являются распределенными системами, обеспечивающими взаимодействие множества слабосвязанных объектов, с помощью универсальной транспортной сети, способной передавать разнотипные данные с определенными параметрами качества обслуживания (КО) в соответствии с соглашением о качестве обслуживания (service level agreement, SLA) [4, 5]. Одной из базовых задач, регламентируемой стандартами построения NGN [5,6], является задача реализации функций информационной безопасности (ИБ), а, конкретно, обеспечение доверия (путем реализации взаимной сильной аутентификации [15]) и защищенного обмена данными (путем реализации конфиденциальности и целостности). Эти задачи решаются в основном криптографическими методами [6] – реализацией определенных алгоритмов преобразования данных (шифрование / расшифрование / хэширование) и процедур управления ключами (генерация, хранение, передача, согласование, депонирование, уничтожение).

Стойкость системы обеспечения ИБ эквивалентна минимальной стойкости алгоритмов, входящих в протокол защищенного обмена данными и выражается в количестве ресурсов, необходимых для подбора ключа преобразования данных. На сегодняшний день стойкость набора алгоритмов, используемых в NGN и других публичных сетях (например, набор Suite B [8]), достаточна для противодействия экстенсивному криптоанализу [14], однако, отмечая устойчивый рост вычислительной мощности компьютерных систем, вызванный улучшением технологии производства процессоров общего назначения и криптографических процессоров, а также увеличение числа элементарных вычислителей (ядер), способных к синхронной обработке данных [1], можно поставить под сомнение временные рамки использования рекомендуемых наборов алгоритмов [1] (пессимистические прогнозы – до 2015 года, оптимистические – до 2025 года). Вследствие постоянного улучшения методов криптоанализа [15], разумным является ориентация на даты, определяемые pessimistic прогнозами.

Поскольку сети NGN являются молодым развивающимся типом сетей, использование которого прогнозируется до 2040 года [13], видится, актуальным рассмотрение проблемы замены алгоритмов криптографической защиты. Данная проблема, однако, не решается лишь разработкой алгоритмов с улучшенными характеристиками: внутренней конструкцией, распараллеливаемостью операций, увеличенной разрядностью ключа; необходимо также рассмотрение вопросов улучшения протоколов защищенного обмена данными в сети для их адаптации к передаче разнотипного трафика, характерного для NGN. Рассмотрению схемы оценивания соответствия систем криптографической защиты и посвящена данная работа.

2. Анализ особенностей современных стеков протоколов криптографической защиты в открытых сетях

Наиболее популярными стеками протоколов, обеспечивающими защищенный обмен данными в открытых сетях, таких как Интернет или другие сети на основе технологии коммутации пакетов (основа транспортной сети NGN),

являются IPsec, TLS, L2TP и PPTP (таблица 1). Реализуя функции, определенные в стеке, становится возможным формирование криптографически защищенного канала (согласования параметров и выделение ресурсов для соединения типа «точка-точка»), реализации взаимной аутентификации объектов, а также конфиденциальности и целостности данных. Процесс аутентификации для вышеобозначенных стеков протоколов строго не определяется в каждом из стеков и существует возможность свободного выбора способа, шаблона или протокола аутентификации (таблица 2).

Таблица 1. Стандарты сообщества Интернет, описывающие стеки протоколов защищенной передачи данных

Технология криптографически защищенного канала	Нормативный документ, описывающий реализацию технологии
TLS (прикладной уровень)	RFC 2716, RFC 3546, RFC 4347, RFC 5246, RFC 5878, RFC 6042, RFC 6066
IPsec (сетевой уровень)	RFC 4301-4312, RFC 4894, RFC 5386, RFC 5660, RFC 5856
PPTP (транспортный уровень)	RFC 2637
L2TP (канальный уровень, использование функций IPsec)	RFC 2661, RFC 3193, RFC 3931, RFC 5641

Все криптографические преобразования необходимо проводить в границах криптографического модуля (КМ), который должен реализовываться в соответствии со стандартом FIPS 140-2 (3) [2]. Способность КМ обрабатывать потоки данных, характерные для сети NGN [9] будет обусловлена средней скоростью выполнения преобразований на всем множестве ключей и процедурой управления ключами в распределенной системе, где присутствуют значительные временные задержки обмена данными [16].

Таблица 2. Стандарты сообщества Интернет, описывающие технологии аутентификации и контроля доступа к объектам

Технология	Нормативный документ, описывающий реализацию технологии
Аутентификация S/KEY	RFC 1760
Аутентификация в рамках протокола «точка-точка»	RFC 1334, RFC 1994, RFC 2484
Аутентификация/контроль доступа RADIUS	RFC 2138, RFC 2139, RFC 2865, RFC 2866, RFC 5090, RFC 5607
Масштабируемый контроль доступа Diameter	RFC 3588, RFC 4005, RFC 4006, RFC 4072, RFC 5224, RFC 5624
Аутентификация EAP	RFC 1748, RFC 2716, RFC 2284, RFC 3748, RFC 5247
Аутентификация и механизм мандатного доступа Kerberos	RFC 4120, RFC 4430, RFC 4537
Контроль доступа SOCKS	RFC 1928, RFC 1929, RFC 1961, RFC 3089
Аутентификация X.509	RFC 2459, RFC 2528, RFC 3647, RFC 4210,

Эффективным с точки зрения распараллеливания алгоритмов обеспечения конфиденциальности и целостности будет использование шифрования в режиме счетчика и выработки кода аутентичности путем выполнения хэш-функции в специальном режиме (с введением в расчеты зависимости от секретной компоненты и обрезки цифрового отпечатка) [15]. Это позволит уменьшить задержку преобразования данных на сетевых элементах (в основном, пограничных маршрутизаторах [12]) за счет использования современных многоядерных и многопроцессорных систем.

Таблица 3. Основные особенности протоколов организации криптографически защищенных каналов

Протокол/характеристика	TLS	IPsec	PPTP	L2TP
Аутентификация	обязательна для реализации, но есть вариант NULL		не обязательна для реализации	
Выделенный транспортный протокол передачи управляющей информации	нет	нет	TCP	нет
Транспортный протокол	любой	любой	TCP	UDP, ATM, FR
Криптографические примитивы (управления ключами / шифрование)	асимм. / симм.	асимм. / любой	не определены	
Алгоритм шифрования	да	да	сквозная передача зашифрованного трафика	
Тэг целостности	ЭЦП, MAC	MAC		
Использование произвольного механизма аутентификации	нет	да	да	да, типа CHAP
Масштабируемость системы управления ключами	да	да	нет	нет
Возможность перешифрования	нет	да	нет	нет
Буферизация данных	да	да	нет	нет
Возможность настройки дисциплины обслуживания данных	нет			
Действия при потере трафика возлагаются на	TCP	Протокол вышестоящего уровня		
Переменный объем данных для формирования тега целостности	нет			
Способ обработки данных при использовании множества алгоритмов	Многоконвейерный		Возможность отсутствует	
Обработка данных в соответствии с параметрами КО	нет, реализуется отдельным протоколом, управляющим обработкой данных			

Поддержка передачи данных в соответствии с параметрами КО	нет, реализуется отдельным протоколом, управляющим передачей данных
---	---

Анализ стандартов, описывающих стеки протоколов (таблица 3) показал, что в протоколах формирования криптозащищенного канала отсутствуют механизмы обеспечения качества обслуживания при передаче и обработке данных, что приведет к неспособности защищенной системы гарантировать соблюдение SLA. Использование специальных протоколов, направленных на реализацию концепции Traffic Engineering [7] (например, MPLS), а также специализированных дисциплин обслуживания пакетов [12], не позволит гибко настраивать систему ИБ, вследствие ориентации протоколов на процесс передачи данных, а не их обработку (а задержки в ТС и изменение характера трафика возникает именно вследствие применения криптографических преобразований, т.е. обработки данных).

Следует также отметить, что все популярные протоколы не поддерживают использование произвольной дисциплины обслуживания данных, а PPTP и L2TP также не поддерживают буферизацию данных. Эти особенности не позволяют использовать возможности современных КМ, такие как большой объем памяти для буферизации обработанных данных и приоритетная многоканальная обработка данных [15].

3. Схема оценивания эффективности внедрения новых алгоритмов

В результате анализа стандартов RFC и NIST [16], регламентирующих реализацию методов криптографической защиты в телекоммуникационных и информационных системах, была разработана и предложена следующая схема оценивания эффективности внедрения новых методов криптографической защиты (рис.).

Блок задач 1. Разработка метода управления должна быть изначально согласована с ограничениями, выдвигаемыми типом сервиса, сетью и показателями SLA x_j ($x_j^{\min} \leq x_j \leq x_j^{\max}$), $j = \overline{1..n}$, где n – количество

рассматриваемых показателей. Подробное описание и аналитические выражения для определения показателей SLA приведены в [3], однако, вследствие разнотипности показателей, различия диапазонов значений и условий превышения/недостижимости, данные показатели должны быть



Рис. Универсальная схема оценивания эффективности

унифицированы и, внедрения новых методов криптографической защиты по возможности, нормированы. Данная процедура может быть выполнена путем шкалирования [10].

На один физический интерфейс и процессор КМ могут поступать различные виды информации [6]:

- 1) управляющая – например, сигнальный трафик NGN;
- 2) служебная – например, уведомления о статусе выполнения операций в сети;
- 3) криптографические ключи – информация, используемая для уникального преобразования данных;
- 4) трафик реального времени – медиаданные, критичные к изменению временных характеристик трафика;
- 5) остальной трафик – данные, не критичные к изменению временных характеристик трафика.

Блок задач 2. Определение ограничений на реализацию криптографической защиты связано с блоком 1, поскольку недопустимо одобрение алгоритма или протокола, если его действие не согласовано с набором требований системы управления, архитектурой сети и общей логической структурой протокола и физической структурой системы. В качестве основных показателей SLA относительно криптографических преобразований трафика NGN можно выбрать:

- 1) операционная эффективная емкость криптографического модуля;
- 2) накладные расходы на обработку данных;
- 3) накладные расходы на кодирование данных;
- 4) задержка обработки пакетов;
- 5) степень изменения временных характеристик потока данных.

Блок задач 3. Реализация метода в КМ должна отвечать требованиям стандарта FIPS 140-2 (3) и логическая архитектура обработки данных протоколом должна отвечать физической архитектуре КМ.

Блок задач 4. Оценка эффективности реализации может быть проведена путем анализа определенного агрегированного показателя. Основной проблемой данного блока является точное оценивание показателей системы вследствие их значительной корреляции. Однако чем больше физических интерфейсов имеет криптографический модуль, и чем меньше смешение типов данных, передаваемых на физический интерфейс, тем меньше степень влияния одних операций на другие. При определении истинных значений характеристик x_j необходимо стремиться к минимуму среднеквадратичной ошибки оценок данных характеристик \hat{x}_j : $\varepsilon^2(\hat{x}) = \sum_{i=1}^m \left[\sum_{j=1}^n h_{ij} \hat{x}_j - z_i \right]^2 \rightarrow \min$. Здесь z_i – наблюдаемые значения характеристик, включая шумы системы, а h_{ij} – матрица обусловленности факторов. Важным моментом является то, что оценивание является косвенным, и $i > j$, т.е. возможно получение значений характеристик без раскрытия внутренней структуры криптографического модуля.

Блок задач 5. Обработка данных должна быть приоритетной в том случае, если один физический интерфейс и процессор используются для обработки ранее

обозначенных видов информации. Задачей планировщика обработки пакетов является переупорядочивание запросов на обработку данных таким образом, чтобы свести к минимуму простой процессора (фактически – минимизировать задержку обработки данных) и при этом соблюсти условие $x_j^{\min} \leq x_j \leq x_j^{\max}$. Современные модели приоритетного обслуживания [11] оперируют с двумя основными показателями, которые можно легко определить для криптографического преобразования: среднее и статистическая дисперсия, и на их основе формируются алгоритмы переупорядочивания запросов.

Блок задач 6. Оценка эффективности обработки данных является нетривиальной задачей вследствие того, что один КМ может одновременно обрабатывать данные различного предназначения (шифрование данных, перешифрование с целью преобразования форматов, расшифрование с целью анализа и др.). Можно пользоваться универсальным критерием эффективности – если сеть при выбранном способе обработки данных способна удовлетворить критериям SLA, формируемых множеством пользователей, тогда можно считать способ обработки приемлемым. Сложностью определения несоответствия критериям SLA является выбор некомпенсационной метрики несоответствия, где положительный эффект улучшения одних показателей (менее важных) не будет компенсировать отрицательный эффект других показателей (более важных).

Блок задач 7. Перераспределение ресурсов КМ для уменьшения несоответствия показателям SLA подразумевает:

- достижение максимальной степени использования ресурсов модуля;
- избежать конфликтов различных информационных потоков за резервирование ресурсов КМ;
- обеспечить выполнение условий обслуживания информационных потоков в режиме реального времени;
- обеспечить соблюдение условий договора с абонентом относительно параметров сервиса (соглашения об уровне услуг, SLA).

Такое перераспределение возможно лишь при согласованности возможностей сетевых протоколов и логической и физической архитектур КМ.

4. Выводы

В работе были проанализированы различные технологии организации криптографически защищенного канала, рассмотрены протоколы проведения аутентификации объектов ТС, выделены общие черты и различия при обработке стеками протоколов множества видов трафика, передаваемого в транспортной сети NGN. Было выделено, что проанализированные протоколы, ориентированы на совместную обработку различных типов данных с помощью единого процессора, однако FIPS 140-2 (3) запрещает такой способ обработки данных для конфиденциальной информации. Поэтому необходим пересмотр протоколов с целью разделения информационных потоков, что позволит протоколам быть одобренными для реализации в сетях, где циркулирует информация с ограниченным доступом и увеличить скорость системы обработки информации за счет одновременного проведения операций над множеством потоков данных.

Была предложена схема оценивания эффективности внедрения новых методов криптографической защиты в рамках существующих и разрабатываемых

протоколов обмена данными, с учетом требований, определяемых соглашением о качестве обслуживания информационных потоков. Данная схема может быть использована при тестировании соответствия криптографических алгоритмов, модулей и защищенных протоколов обмена данными и управления ключами общей идеологии информационного обмена в NGN.

Список литературы: 1. Announcing request for candidate algorithm nominations for a new cryptographic hash algorithm (SHA-3) family. Federal Register Vol. 72, No. 212, 2 Nov 2007, 2007. pp. 62212-62220. 2. FIPS-140-3 Draft security requirements for cryptographic modules. National Institute of Standards and Technology, Information Technology Laboratory, 2009, 63 p. 3. *Hardy W.* Measurement and evaluation of telecommunications quality of service – John Wiley & Sons, Inc, 2001, 245 p. 4. ITU-T P.564 ITU-T Recommendation P.564 (2007), Conformance testing for voice over IP transmission quality assessment models, 2007, 32 p. 5. ITU-T Y.2001. Рекомендация МСЭ-Т Y.2001 (2004), Общий обзор СПП, 2004, 32 с. 6. ITU-T Y.2704 ITU-T Recommendation Y.2012 (2010), Security mechanisms and procedures for NGN, 2010, 58 p. 7. RFC 3272 Awduche D. Overview and Principles of Internet Traffic Engineering, 2002. – 71 p. 8. RFC 4869 Law L. Suite B Cryptographic Suites for IPsec, 2007. – 8 p. 9. Бакланов И.Г. NGN: принципы построения и организации [Текст] – М.: Эко-Трендз, 2008. – 400 с. 10. *Бешелев С.Д.* Математико-статистические методы экспертных оценок [Текст] / С.Д. Бешелев, Ф.Г. Гурвич. – М.: Статистика, 1980. – 263 с. 11. *Бронштейн О.И.* Модели приоритетного обслуживания в информационно-вычислительных системах [Текст] / О.И. Бронштейн, И.М. Духовный. М.: издательство «Наука», 1976. – 220 с. 12. *Вегишна Ш.* Качество обслуживания в сетях IP [Текст]: пер. с англ. - М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. - 368 с. 13. Исследование рынка услуг связи в России, предоставляемых на базе технологических решений [Электронный ресурс] / NGN J'son & Partners management consultancy. – Режим доступа: http://web.json.ru/markets_research/analytical_reports/detail/?report_id=3904 – 20.07.2011 г. – Загл. с экрана. 14. *Поповский В.В.* Защита информации в телекоммуникационных системах. В 2-х т. [Текст] / В.В. Поповский, А.В. Персигов. - Х.: СМИТ, 2006. 15. *Поповский В.В.* Основы криптографической защиты информации в телекоммуникационных системах. В 2-х т. [Текст] / В.В. Поповский, А.В. Персигов. - Х.: СМИТ, 2010. 16. *Столлингс В.* Криптография и защита сетей: принципы и практика. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. – 672 с.

Поступила в редколлегию 17.07.2011

УДК 621.391

НАОРС И. АНАД, асп. ХНУРЭ, Харьков
Я.Т. ХУСЕЙН, асп. ХНУРЭ, Харьков

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ СЛУЧАЙНОГО МНОЖЕСТВЕННОГО ДОСТУПА В СИСТЕМАХ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ

Проведен аналіз алгоритмів множинного випадкового доступу з вирішенням конфлікту, що використовуються в системах абонентного радіодоступу і їх застосовність в типових умовах інтенсивного і нестационарного трафіку. Запропонована адаптивна процедура, що містить алгоритм оптимальної стохастичної оцінки і знаходжувач порогу, що сигналізує про необхідність переходу на новий алгоритм.

Проведен анализ алгоритмов множественного случайного доступа с разрешением конфликта, используемые в системах абонентного радиодоступа и их применимость в типовых условиях интенсивного и нестационарного трафика. Предложена адаптивная процедура, содержащая

алгоритм оптимальной стохастической оценки и обнаружитель порога, который сигнализирует о необходимости перехода на новый алгоритм.

The analysis of algorithms of plural casual access is conducted with permission of conflict applied in the systems of subscriber radioaccess and their applicability in the typical conditions of intensive and unstationary traffic. Adaptive procedure, containing the algorithm of optimum stochastic estimation and registr threshold signaling about the necessity of transition on a new algorithm, is offered.

В системах беспроводной связи (абонентского радиодоступа) типа Wi-Fi, WiMAX важное значение имеет выбранный метод случайного доступа (МСД) абонентских станций (АС) к общей базовой станции (БС). Исторически первым МСД был предложен алгоритм Aloha. Конфликтная ситуация в этом алгоритме разрешается за счет случайных механизмов, при этом возможности повторной передачи, после разрешения конфликта, абонент может ожидать достаточно продолжительное время T_k . Более эффективными с точки зрения минимизации времени задержки τ_3 и максимизации коэффициента кратности K разрешения конфликта $V = K/T_k$ являются древовидные алгоритмы [1,2] и алгоритмы с двойными экспоненциальными отсрочками (откатами) [3,4]. Известно также [1], что при значительной загрузке сети более производительной технологией является метод циклического опроса (поллинга).

Все упомянутые технологии в различных ситуациях, при различной интенсивности поступающей нагрузки λ обладают тем или иным преимуществом. Рассмотрим более подробно данные технологии и проанализируем их применимость в типовых условиях интенсивного и нестационарного трафика.

Обзор технологий случайного множественного доступа.

Основной проблемой, определяющей эффективность тех или иных систем абонентского радиодоступа, является реализация метода случайного множественного доступа с разрешением конфликта. Известные системы IEEE 802.11 и IEEE 802.16 обладают рядом особенностей, позволяющих реализовать эффективные методы доступа. К числу этих особенностей относится синхронность работы всей системы. При этом время работы системы разделяется на слоты (окна), которые формируют циклическую смену кадров. В каждом слоте возможно возникновение одного из трех событий: “успех”, “пусто” или “конфликт”. При этом к концу каждого слота на АС за счет нисходящего канала от БС становится известно о произошедшем в этом слоте событии.

Древовидные алгоритмы являются потенциально наиболее производительными и среди них различают стандартные древовидные алгоритмы (СДА) и модифицированные древовидные алгоритмы (МДА). От БС, в нисходящем канале, ко всем АС передается оперативная и служебная информация. С помощью служебного канала осуществляется управление передачей АС и передается информация о качестве её передачи в восходящем канале. Так, в случае возникновения конфликта при одновременной передаче двумя (А и В) или тремя (А,В,С), или большим количеством АС станций, БС может заблокировать дальнейший прием пакетов до разрешения конфликта (до конца периода разрешения конфликта).

Конфликт трех АС (рис.1) разрешается следующим образом. БС идентифицирует номера конфликтующих станций и ещё до конца текущего слота дает информацию всем АС о возникновении конфликта и одновременно дает разрешение одной из конфликтующих АС (станции А) передать свой пакет в следующем (втором) слоте. Третий слот отдается для передачи оставшихся пакетов, однако там снова возникает два конфликтующих пакета В и С. Поскольку этим станциям (В и С) был дан второй приоритет, то следующий слот – свободен, а далее начинается новый период разрешения конфликта для В и С. На рис.1а представлена временная последовательность передачи пакетов А,В,С. Модифицированный алгоритм (МДА) отличается тем, что после пропуска 4-го слота повтора передачи конфликтных пакетов не предусмотрено, т.е. период разрешения конфликта сокращается на один слот, что приводит к возрастанию коэффициента V .

Существует и дальнейшая модернизация древовидных алгоритмов SIC – Successive Interference Cancellation – процедура последовательного погашения интерференции (компенсации помех). Суть данной процедуры в том, что из смеси конфликтующих пакетов А и В в следующем слоте передается пакет А, а поскольку имеется его “чистая” реализация, то без дополнительной передачи из смеси $A+B$ вычитается (компенсируется) А и таким образом удается выделить В: $(A+B) - A = B$. Для такой процедуры требуется достаточный объем памяти.

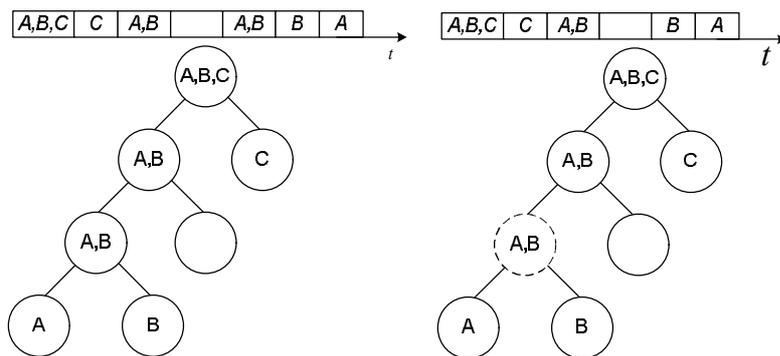
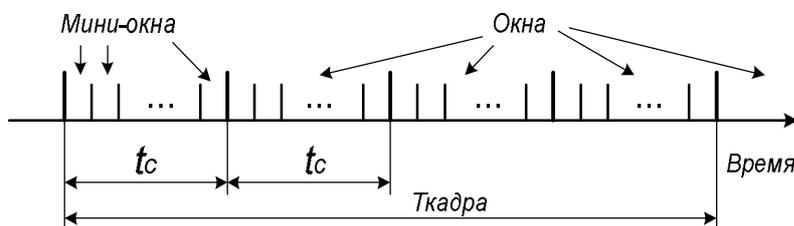


Рис. 1 Временная диаграмма и структура древовидных алгоритмов СДА-а, МДА-б

Алгоритмы с двойной экспоненциальной отсрочкой (Binary Exponential Backoff – ВЕВ) требует выделение отдельного слота, в котором размещаются мини-окна, где принимаются запросы (заявки) абонентских

станций на передачу информационного пакета. Структура кадра для алгоритма ВЕВ представлена на рис. 2. БС, приняв заявку или обнаружив конфликт, в нисходящем канале дает разрешение или запрет на передачу, и эта информация всем АС становится известной до конца данного слота, выделенного для заявок. Таким образом, в алгоритме ВЕВ конфликт возникает не в период передачи информационных пакетов в окнах, а при передаче заявок в мини-окнах. За один кадр АС может подать одну заявку, при этом она произвольно равновероятно выбирает номер мини-окна. При наличии конфликта в мини-окне в следующем кадре номер мини-окна удваивается (происходит двойной откат) и так удвоение



продолжается на каждом очередном кадре до максимально возможного номера.

Рис. 2 Структура кадра для алгоритма двойной экспоненциальной отсрочки

Затем, попытки передачи заявки повторяются.

Анализ качества алгоритмов случайного множественного доступа.

Одним из основных показателей качества алгоритмов случайного множественного доступа является коэффициент кратности разрешения конфликта, представляющий собой предел отношения кратности конфликта K к среднему времени разрешения данного конфликта T_K :

$$V = \lim_{K \rightarrow \infty} \frac{K}{T_K}, \quad (1)$$

где T_K выражено в единицах слотов. Доказано в [1,4], что значение V может быть определено из выражения:

$$\left(\frac{2}{\ln 2} + c \right)^{-1} < V < \left(\frac{2}{\ln 2} - c \right)^{-1}, \quad (2)$$

где $c = 3,127 \cdot 10^{-6}$.

Очевидно, что V может интерпретироваться также как относительная скорость разрешения конфликта. Исследования показывают, что значение этой скорости V может достигать 0,3-0,38. Для алгоритмов SIC, SICТА [4] эта цифра может достичь 0,693.

Другой важной характеристикой систем абонентского радиодоступа является значение средней задержки при различной абонентской нагрузке.

Задержка пакета τ_3 определяется как время от первого запроса до того, как передача пакета будет успешно завершена. Если АС успешно передает свой пакет с 1-й попытки, то

$$\tau_3 = \tau_1 + T_k + \tau_2, \quad (3)$$

где τ_1, τ_2 – соответственно: время передачи запроса и время передачи пакета.

Длительность кадра T_k включает нисходящий и восходящий подкадры и их цикл синхронизации. Если первая попытка окажется неудачной, то ко времени T_k добавляется время M кадров и общая задержка составляет:

$$\tau_3 = \tau_1 + \sum_{j=0}^j M^{(j)} T_k + \tau_2. \quad (4)$$

Среднее время задержки $\tau_{\Sigma 3} = \tau_3 + \tau_c$ обретаемое в системах радиодоступа складывается с другими составляющими задержки τ_c имеющими место на более высоких уровнях: сетевом и транспортном. Именно τ_3 является важным ограничением для реализации сервисов реального времени: речи и видео. Воспользуемся результатами анализа [3,4], полученными для идеальных (в отсутствии шумовых помех) условий.

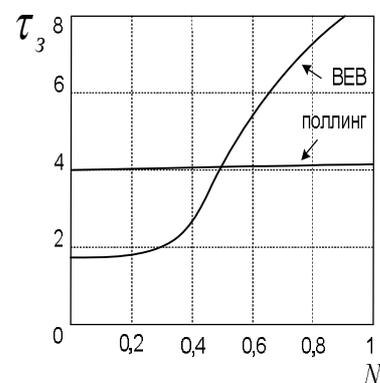


Рис.3. Графики зависимости среднего времени задержки для алгоритмов ВЕВ и для циклического опроса (поллинга)

На рис.3 представлены графики

зависимости среднего времени задержки от параметра $N = np/L$, где n – число активных АС, p – вероятность появления запроса АС, L – число мини-окон, в которых принимаются запросы от АС на передачу пакета.

Очевидно показатель N – характеризует относительную нагрузку системы.

Из графиков (рис.3) следует, что при увеличении нагрузки алгоритм ВЕВ резко теряет эффективность и при определенных условиях время задержки сравнивается и далее намного превышает задержку в алгоритме с циклическим опросом.

На практике нагрузка изменяется в течении суток, времени года и при других случайных изменениях. При этом использование одного и того же метода случайного доступа особенно в часы наибольшей нагрузки может привести к заметным потерям эффективности. В данном случае целесообразно использовать адаптивные методы самоорганизации [5], позволяющие осуществлять рациональный выбор режима доступа.

Методы адаптации к изменению нагрузки

Суть предлагаемого метода адаптации состоит в том, чтобы на основе наблюдения за интенсивностью поступающей на БС нагрузки своевременно выбрать тот или иной алгоритм случайного доступа, например, при увеличении $N > 0,5$ перейти на алгоритм циклического опроса, гарантирующего определенный уровень задержки. Таким образом, для построения адаптивной процедуры следует произвести оценку поступающей от всех АС нагрузки и обнаружить допустимое превышение определенного порога, когда $N \geq N_{доп}$, что

является сигналом для перехода на иной алгоритм доступа. Структурная схема, реализующая такую процедуру, представлена на рис.4

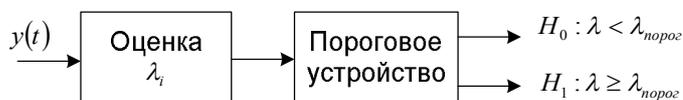


Рис. 4. Структурная схема адаптивного алгоритма оценки и обнаружения

Суммарный групповой сигнал абонентских станций на входе БС $y(t)$ образует нестационарный поток, интенсивность которого зависит от времени $\lambda(t_i)$. Очевидно интенсивность потока $\lambda(t_i)$ можно представить виде случайного процесса, значение которого x_i равняется численно числу заявок на i - интервале времени. Нестационарный процесс x_i можно представить в виде суммы стационарно изменяющегося случайного компонента λ_{cm} и нестационарного тренда λ_{HT} , который может быть линейным или нелинейным. Нам в данном случае не интересуют стационарный случайный компонент λ_{cm} , поскольку он отображает локальные изменения трафика. Тренд же нестационарности λ_{HT} как раз несет информацию о среднем возрастании или уменьшении нагрузки. Этот тренд подлежит оценке.

Для нахождения оценки тренда нестационарности $\tilde{\lambda}_{HT}$ методы выборочной оценки не подходят, поскольку неясно какие брать выборочные интервалы и как интерпретировать кусочно-нестационарную оценку интенсивности. Более

конструктивной является рекурсивная оценка интенсивности на интервалах $\Delta t = i - (i - 1)$ с использованием алгоритма стохастической аппроксимации [5]:

$$\tilde{\lambda}(i) = \tilde{\lambda}_{HT}(i-1) + \mu(i) \left[y(i) - \tilde{\lambda}(i-1) \right], \quad (5)$$

где $\mu(i)$ – масштабирующий коэффициент, выбор которого зависит от шага дискретизации i . Опыт показывает, что процедура (5) устойчиво работает и при $\mu(i) = const \leq 1$.

Следует отметить, что процедура (5) не предназначена для оценки нестационарных процессов, более того: можно доказать, что она оптимальна для сугубо стационарных процессов типа $x(i+1) = x(i)$. Вместе с тем процедура (5) обладает сглаживающим эффектом, т.е. она слабо реагирует на быстрые изменения. То-есть выбирая процедуру (5), оцениваем среднее значение λ_{cp} , условное по наблюдению $y(i)$. Именно это сглаживающее свойство используется для оценки тренда нестационарности.

Для анализа качества алгоритма (5) был проведен машинный эксперимент. Для этого была использована цифровая модель входного процесса:

$$y(i) = y_{cm}(i) + y_{HT}(i) + v(i), \quad (6)$$

где $y_{cm}(i)$, $y_{HT}(i)$ – соответственно: стационарный и нестационарный компоненты модели, $v(i)$ – белый гауссов шум в канале наблюдения.

Стационарный компонент $y_{cm}(i)$ моделировался с помощью формирующего фильтра [5], на вход которого подавался шум $\xi(i)$:

$$y_{cm}(i) = e^{-\frac{\Delta t}{\tau_{кор}}} y_{cm}(i-1) + \sqrt{\sigma_{\xi}^2 \left(1 - e^{-\frac{\Delta t}{\tau_{кор}}} \right)} \xi(i), \quad (7)$$

где Δt – шаг дискретизации; $\tau_{кор}$ – интервал корреляции процесса $y_{cm}(i)$; σ_{ξ}^2 – спектральная плотность мощности шума.

$y_{HT}(i)$ – нестационарный компонент моделировался в виде синусоиды:

$$y_{HT}(i) = C(i) \sin \left(i \frac{\Delta t}{\tau_{кор}} \right), \quad (8)$$

где $C(i)$ – дополнительный множитель, который может отображать, например, скачкообразные изменения, в нашем случае $C(i) = 1$.

На рис.5 представлен фрагмент нестационарного процесса $y(i)$ полученный на выходе формирующего фильтра, при следующем наборе параметров:

$$\frac{\Delta t}{\tau} = \frac{1}{10}, \sigma_{\xi}^2 = 10, \sigma_v^2 = 1.$$

На рис. 6 представлены три

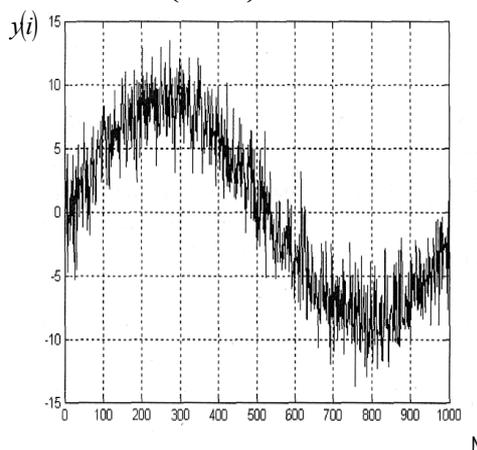


Рис.5 График наблюдаемого на входе формирующего фильтра процесса $y(i)$

реализации оценки нестационарного процесса $y(i)$ при различной величине шаговой постоянной $\mu_1 = 0,1; \mu_2 = 0,01; \mu_3 = 0,001$ при шаге дискретизации $\Delta t/\tau = 0,01$.

Из графиков видно, что с уменьшением коэффициента μ наблюдается несколько эффектов на выходе устройства оценки (5):

- заметен процесс сглаживания, сводящийся к тому, что на фоне синусоиды уменьшается уровень флуктуационной компоненты;

- снижается уровень оцениваемой компоненты;

- несколько смещается значение максимума нестационарной компоненты.

Более детальные результаты анализа можно получить из обобщенных графиков на рис.6 при $\sigma_\xi^2/\sigma_v^2 = 10$ для различных шагов дискретизации $\Delta t/\tau$.

Для получения статистического вывода о значениях уровня оцениваемой компоненты, в зависимости от выбора шаговой постоянной μ , проводилось усреднение уровней получаемых в установившемся состоянии оценок реализации исходной случайной последовательности $\lambda(i)$.

На рис.6 представлены графики уровней оцениваемой компоненты $\tilde{\lambda}(i)$ в зависимости от величины выбранной шаговой постоянной μ для трех вариантов значений шага дискретизации наблюдаемого процесса. Из графиков следует, что с уменьшением коэффициента μ уровни $\tilde{\lambda}(i)$ уменьшаются при любом шаге дискретизации $\Delta t/\tau$. Этот факт имеет важное значение при построении обнаружителя, поскольку с уменьшением уровня $\tilde{\lambda}(i)$ падает отношение сигнал/шум и теряется качество обнаружения. Поэтому μ не следует выбирать меньше $0,001 \dots 0,0001$. Смещение значения оценки $\tilde{\lambda}(i)$ по отношению к реально имеющимся значениям интенсивности связано с эффектом сглаживания и по результатам экспериментов не превышает значений $0,1$ квазипериода нестационарности. Таким образом алгоритм стохастической аппроксимации может быть эффективным для выделения нестационарных компонент случайных процессов. Обнаруженный таким образом порог $N_{дон}$, при котором алгоритмы ВЕВ или МДА теряют свою эффективность, является сигналом о необходимости к методам поллинга.

Выводы.1. Высокоэффективные методы случайного множественного доступа, основанные на древовидных алгоритмах и на алгоритмах двойной экспоненциальной отсрочки (ВЕВ) теряют производительность с увеличением нагрузки. Имеется предельное значение нагрузки, при котором величина задержки у этих алгоритмов сравнивается с задержками, имеющими место при

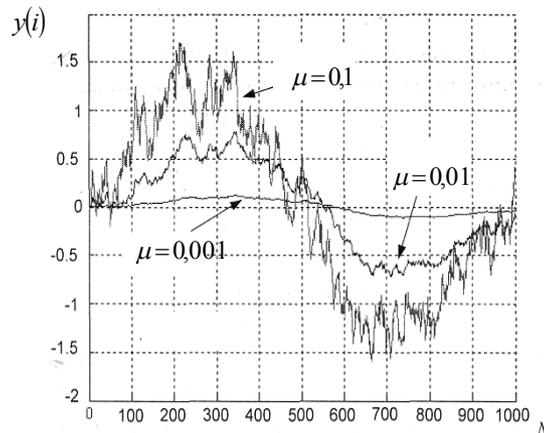


Рис. 6 Оценки нестационарного процесса на интервале $N=1000$ шагов

циркулярном опросе абонентов (поллинге). При дальнейшем увеличении нагрузки методы поллинга становятся намного эффективнее.

2. В условиях значительных нагрузок и при их изменениях, при нестационарном трафике целесообразно переходить на использование тех алгоритмов, которые обладают гарантированной производительностью при данной текущей нагрузке (методы поллинга). Для этого предложена адаптивная процедура, содержащая алгоритм оптимальной стохастической оценки и обнаружитель порога, сигнализирующего о необходимости перехода на новый алгоритм.

3. Для обнаружения критического тренда и других допустимых уровней нестационарного потока заявок в телекоммуникационных системах со случайным множественным доступом может быть использована рекурсивная процедура оценки интенсивности, построенная по алгоритму стохастической аппроксимации, обладающая соответствующим сглаживающим эффектом.

4. Экспериментальные исследования процедуры оценки тренда нестационарности (5) показали, что кроме ожидаемого сглаживающего эффекта, имеют место и другие, влияние которых сказывается на качестве обнаружителя: с уменьшением шаговой постоянной μ снижается уровень оцениваемой компоненты, что приводит к снижению отношения сигнал/шум, а соответственно, и к ошибкам в обнаружении. Следует рекомендовать выбор $\mu = (0,001...0,0001)$, где смещение оценки и потери уровня оцениваемой компоненты еще не столь пагубны.

5. Точность оценки, ее смещенности, и сам сглаживающий эффект зависит также от выбранного шага дискретизации $\Delta t/\tau$. Опыт показывает, что наиболее удачным в данном алгоритме будет выбор $\Delta t/\tau_{кор} = 0,1$.

Список литературы: 1. Б.С. Цыбаков, В.А. Михайлов "Свободный синхронный доступ пакетов в широкополосный канал с обратной связью," Проблемы передачи информ. 1978, Т. 14, №4, С. 32-59. 2. Rubin, "Access-Control Disciplines for Multi-Access Communication Channels: Reservation and TDMA Schemes," IEEE Transactions on Information Theory, Vol. IT-25, No. 25, pp. 516-538, September 1979. 3. G. Bianchi, "Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function," IEEE Journal On Selected Areas In Communications, 2000, Vol. 18, No. 3, p. 535 - 547. 4. Винель А.В., Тюрликов А.М., Федоров К.А. Использование последовательного погашения интерференции при организации случайного множественного доступа в централизованных сетях. Информационно-управляющие системы. 2009. Т.2., с. 46-55. 5. Математические основы управления и адаптации в телекоммуникационных системах: учеб. / Поповский В.В., Олейник В.Ф. – Х.: ООО "Компания СМИТ", 2011. – 362 с.

Поступила в редколлегию 27.07.2011

УДК 621.391

П.П. ВОРОБИЕНКО, докт. техн. наук, проф., ректор, Одесская НАС им. А.С. Попова

В.И. ТИХОНОВ, канд. техн. наук, доц., Одесская НАС им. А.С. Попова

О.В. ГОЛУБОВА, асп., Одесская НАС им. А.С. Попова

**ПРИНЦИПЫ ДИНАМИЧЕСКОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ
ЦИФРОВЫХ ПОТОКОВ ПО ТЕХНОЛОГИИ UA-ITТ**

В роботі розглядаються питання маршрутизації в комп'ютерних мережах стосовно інтегрованої технології телекомунікацій UA-ITT, запатентованої в Україні. Запропоновано загальні принципи динамічної маршрутизації цифрових потоків, що зменшують витрати часу на маршрутизацію і службовий трафік у каналах зв'язку.

Ключові слова: маршрутизація, комутація потоків, балансування трафіка

В работе рассмотрены вопросы маршрутизации в компьютерных сетях применительно к интегрированной технологии телекоммуникаций UA-ITT, запатентованной в Украине. Предложены общие принципы динамической маршрутизации цифровых потоков, которые уменьшают задержки времени на маршрутизацию и служебный трафик в каналах связи.

Ключевые слова: маршрутизация, коммутация потоков, балансировка трафика

This paper discusses the issues of computer network routing in respect to the integrated telecommunication technology UA-ITT patented in Ukraine. General principles for dynamic routing of digital flows proposed to minimize the routing time consumption and control traffic of the communication channels.

Key words: routing, flow switching, traffic balancing

Одной из важных проблем в области телекоммуникаций является уменьшение возможных временных задержек при передаче трафика реального времени по компьютерным сетям. Можно выделить два основных фактора временных задержек передачи данных в сетях: распространение электромагнитных сигналов по линиям связи и обработка информации в узлах коммутации и маршрутизации. Задержка распространения сигнала зависит в основном от расстояния между взаимодействующими объектами сети. Эти задержки могут достигать 50 миллисекунд и больше. Такая задержка является весьма существенной, поскольку она составляет около половины допустимой задержки в оба конца для стандарта высокого качества передачи голосового трафика [1]. Задержка распространения сигнала является объективной, ее вариация обусловлена изменением маршрута следования информации по каналам связи. При определенных допущениях этот тип задержки можно условно считать детерминированной физической величиной, слабо зависящей от случайных факторов.

Основными причинами задержек передачи информации в узлах коммутации и маршрутизации являются очереди и отказы обслуживания в моменты критических нагрузок, а также необходимость поиска в таблицах маршрутизации, размеры которых могут быть достаточно большими. Цифровой поток сети является случайным процессом, в котором можно выделить трендовую составляющую и центрированный случайный процесс [2-3]. Минимизация очередей достигается увеличением производительности сетевого оборудования, выбором топологии сетей и др. Для ускорения продвижения IP-пакетов в сетях используется пограничная маршрутизации IP-пакетов в сочетании с коммутацией потоков внутри транспортных доменов, например, доменов MPLS [4], Provider Backbone Bridge Traffic Engineering (PBB-TE) [5] и др.

Однако маршрут IP-пакета может пересекать несколько транспортных доменов, а доставка пакета от отправителя к получателю содержит участки

маршрута, которые не покрываются доменами с коммутацией потоков. На этих участках задача маршрутизации IP-пакетов решается традиционными методами. Кроме того, добавление меток в MPLS (или дополнительных MAC-адресов в RVB-TE) усложняет многоуровневую схему инкапсуляции данных реального времени по протоколам стека TCP/IP, в результате чего доля служебной информации в канале связи может достигать 50÷80 % от общего цифрового потока [6].

Целью данной статьи является разработка принципов и алгоритмов динамической маршрутизации цифровых потоков в сетях с интегрированной технологией телекоммуникаций UA-ИТТ, которые уменьшают задержку передачи данных и объем служебного трафика в канале связи.

Решение поставленной задачи базируется на оригинальном методе адресации объектов телекоммуникационной сети, а также на коммутации потоков без использования традиционной для IP-сетей многоуровневой инкапсуляции данных. Эти принципы запатентованы в интегрированной технологии телекоммуникаций UA-ИТТ [7-8]. В основу UA-ИТТ положена логическая древовидная топология опорной сети со строгой иерархией адресов. На рисунке 1 показана шестиуровневая схема адресации сети UA-ИТТ. Физическая топология опорной сети может отличаться от топологии дерева. Узлы опорной сети могут иметь перекрестные связи, которые не входят в опорную сеть, но обеспечивают балансировку трафика. В технологии UA-ИТТ используются как абсолютные адреса, привязанные к общему для всей опорной сети узлу, находящемуся на нулевом уровне иерархии в корне иерархического дерева (см. рис.1), так и относительные адреса, которые привязаны к абсолютному адресу отправителя.

Кроме того, все адреса по технологии UA-ИТТ разделяются на статические адреса (хранящиеся в таблицах маршрутизаторов и базах данных топологии сети) и динамические адреса (которые передаются по сети и, как правило, являются более короткими, чем статические адреса).

Каждый физический объект сети имеет адресную привязку к своему опорному узлу. Полный адрес сетевого устройства состоит из двух частей:

префикс (адрес узла опорной сети, которому принадлежит физическое устройство) и суффикс (локальный физический адрес, уникальный в пределах локальной сети данного опорного узла). Продвижение сегментов потока от узла опорной сети к терминальному объекту данного узла в данной статье не рассматривается. Предполагается, что эта часть общей задачи маршрутизации решается в каждом конкретном случае с учетом технологии локальной сети.

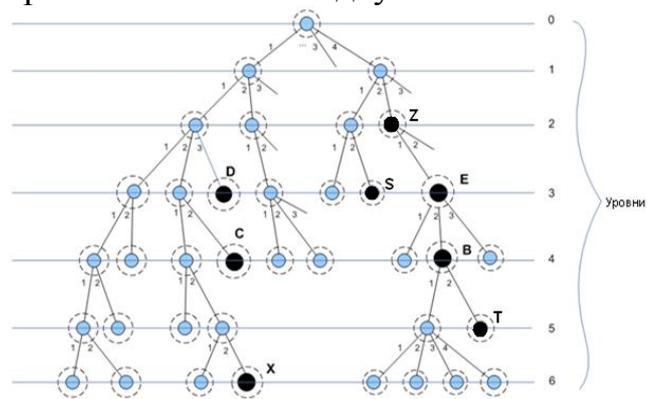


Рис. Шестиуровневая опорная сеть (логическая топология)

Префикс адреса сетевого объекта UA-ИТТ состоит из отдельных октетов, каждый из которых имеет значение номера ветви на иерархическом дереве

адресации. Для шестиуровневой сети на рис. узлы «X», «C» и «D» имеют префиксы: $\text{Pr}(X)=1.1.2.1.2.2$; $\text{Pr}(C)=1.1.2.2.0.0$; $\text{Pr}(D)=1.1.3.0.0.0$.

Физическое устройство с локальным адресом 150 в локальной сети узла D, имеет сетевой адрес «1.1.3.0.0.0-150». Суффикс адреса состоит из одного или более октетов. Для идентификации цифровых потоков к адресу терминального устройства может быть добавлена третья часть – индекс Id, содержащий от 1 до 3 октетов. Индекс является аналогом 16-битового номера логического порта в протоколах TCP и UDP.

Как отмечено выше, между узлами опорной сети UA-ИТТ на каждом уровне иерархии возможны перекрестные связи (на рисунке 1 эти связи не обозначены). Если узел опорной сети имеет одну или более перекрестных связей, то в задаче маршрутизации появляются альтернативы для продвижения сегмента данных. В этом случае решается задача нахождения кратчайшего пути в заданной метрике. Метрику расстояния $d(A, B)$ от узла A к узлу B при определим в виде:

$$d(A, B) = \alpha \cdot \tau_1 + \beta \cdot \tau_2, \quad (1)$$

где τ_1 – время распространения сигнала между A и B ; τ_2 – задержка передачи через транзитный узел B ; α и β – весовые коэффициенты. Параметр τ_1 является достаточно стабильным, поскольку он зависит в основном от физической длины линии связи. Параметр τ_2 является случайной величиной, вероятностные характеристики которой могут изменяться во времени.

Точность решения оптимизационной задачи маршрутизации зависит, в том числе, от того, какие перекрестные связи известны маршрутизатору в узле A . Число вариантов решения растет с увеличением глубины расчета маршрута в окрестности узла маршрутизации.

Распределение адресного пространства IPv4 в Интернет сложилось исторически, без четкой географической структуризации. Поэтому адрес IPv4 не достаточен для определения местоположения сетевого устройства или маршрутизатора опорной сети.

В технологии UA-ИТТ префиксы полного адресов однозначно определяет географию и топологию сети. Поэтому для любой пары узлов опорной сети UA-ИТТ можно построить гарантированный маршрут передачи данных на основании префиксов адресов этих узлов. Назовем такой маршрут маршрутом по умолчанию.

Для решения данной задачи достаточно вычислить ближайший общий для заданной пары родственный узел на дереве иерархии сети. Адрес общего родственного узла вычисляется путем сравнения отдельных доменных частей префиксов адресов. Если узлы имеют префиксы $P1=120.35.240.70$ и $P2=120.35.28.150$, то общий родственный узел имеет адрес 120.35.0.0. Отсюда маршрут по умолчанию от узла с префиксом адреса $P1$ к узлу с префиксом $P2$ имеет следующий вид:

Узел $P1 \rightarrow$ узел 120.35.240.0 \rightarrow 120.35.0.0 \rightarrow узел 120.35.28.0 \rightarrow узел $P2$.

Если каждый узел опорной сети имеет m горизонтальных связей, то общее число альтернатив на каждом шаге маршрутизации равно $m+1$ (одно вертикальное направление по гарантированному маршруту опорной сети и m горизонтальных направлений). Пусть n – глубина расчета маршрута. Тогда

общее количество вариантов равно m^n , т.е. имеет характер экспоненциального роста. Оптимизационные задачи такого рода относятся к классу сложных проблем, для которых, как правило, используются приближенные итерационные методы.

Для того чтобы итерационный метод оптимизации устойчиво работал при ограниченном (достаточно малом) времени решения задачи, необходимо обеспечить приемлемую точность начального приближения. В качестве начального приближения для квази-оптимального решения в UA-ИТТ используется гарантированный маршрут по линиям связи опорной сети. Критерием качества гарантированного маршрута является его абстрактная длина в метрике (см. формулу 1).

Исходя из сказанного выше, сформулируем первый принцип маршрутизации по технологии UA-ИТТ: для каждого узла опорной сети осуществляется планирование трафика таким образом, чтобы в часы максимальной нагрузки обеспечить заданное допустимое время задержки при передаче информации по гарантированным маршрутам опорной сети. Этот принцип является достаточно общим и предполагает конструктивную детализацию в каждом конкретном случае. В приведенном выше примере, для использования гарантированного маршрута по умолчанию, узел с префиксом P1, очевидно, должен передать поток на свой выходной порт, который связывает его с узлом 120.35.240.0. Первый отрезок маршрута по умолчанию однозначно идентифицирует выходной порт узла-отправителя (или же транзитного узла), который решает задачу маршрутизации цифрового потока или его отдельного сегмента.

При использовании шестиуровневой системы адресации опорной сети (см. рис.1), максимально возможное число транзитных узлов на маршруте по умолчанию, очевидно, равно 12. При отсутствии очередей, современные цифровые коммутаторы способны обеспечить время коммутации потока с входного порта на выходной в пределах нескольких десятков микросекунд. При этом общая задержка времени на коммутацию цифрового потока по всему гарантированному маршруту (в одном направлении) не превысит нескольких миллисекунд. Это значительно меньше предельно допустимых задержек при передаче трафика реального времени высокого качества, которые оцениваются десятками миллисекунд [1]. Таким образом, в случае отсутствия перегрузки в направлении первого транзитного узла на гарантированном маршруте по умолчанию, задача маршрутизации по технологии UA-ИТТ является сравнительно простой и не требует специальных методов повышения быстродействия.

Второй принцип маршрутизации по технологии UA-ИТТ: маршрутизаторы опорной сети наделяются способностью к самообучению на основании статистического анализа проходящего через маршрутизатор трафика. Маршрутизатор формирует подмножество адресов назначения S_{DA} , которые наиболее часто встречаются в его транзитных потоках. Для подмножества S_{DA} на основании предшествующего опыта формируется таблица маршрутизации с набором эвристических правил для каждого адреса S_{DA} . Эти эвристические

правила ускоряют процесс поиска кратчайшего пути в метрике (см. формулу 1) с учетом динамически изменяющегося во времени параметра τ_2 .

Третий принцип маршрутизации по технологии UA-ITТ: кэширование таблицы маршрутизации. При передаче больших файлов имеет место т.н. пачечность. Это свойство проявляется в следующем. Появление на входе маршрутизатора некоторого сегмента с адресом назначения DA означает с достаточно большой вероятностью, что вскоре опять появится аналогичный сегмент с таким же адресом DA . Результат решения задачи маршрутизации для каждого очередного адреса кратковременно запоминается в быстродействующей кэш-памяти. При поступлении очередного запроса на обслуживание, поиск готового решения в кэш-памяти может потребовать гораздо меньше времени, чем повторное решение задачи маршрутизации по общему алгоритму. Поэтому наряду с основной таблицей маршрутизации, каждый маршрутизатор UA-ITТ поддерживает еще одну – динамическую кэш-таблицу. В кэш-таблице маршрутизации хранятся последние N адресов назначения и номера выходных шлюзов для продвижения сегментов данных по оптимальным (или квази-оптимальным) маршрутам. Параметр N зависит от производительности маршрутизирующего процессора и максимально допустимого времени сканирования кэш-таблицы.

Четвертый принцип маршрутизации по технологии UA-ITТ: распараллеливание процессов маршрутизации. При поступлении заявки на обслуживание очередного сегмента цифрового потока, параллельно включаются несколько различных алгоритмов, например:

- а) поиск кратчайшего пути по одному из известных методов согласно обозначенному выше первому принципу маршрутизации;
- б) сканирование основной таблицы маршрутизации и отыскание кратчайшего пути с помощью эвристических правил по второму принципу маршрутизации;
- в) сканирование динамической кэш-таблицы маршрутизации.

Запускаемые параллельные алгоритмы маршрутизации работают по принципу состязания: первое полученное лучшее решение принимается в качестве итогового результата, после чего эти алгоритмы снова переключаются в режим ожидания новой заявки на обслуживание.

Пятый принцип маршрутизации по технологии UA-ITТ: упреждающее планирование потоков и распределение ресурсов. На основе статистического анализа трафика и принципа самообучения маршрутизатор заранее в фоновом режиме разрабатывает оптимальный (или близкий к нему) план распределения собственных ресурсов. Основное внимание при этом уделяется тем периодам времени, когда ожидаются пиковые нагрузки на маршрутизатор. Для этого плана составляется соответствующая таблица резервирования виртуальных соединений между различными портами маршрутизатора на отдельные интервалы времени. Далее этот план в диалоговом режиме по специальным протоколам согласовывается со всеми смежными маршрутизаторами, после чего составляется уточненная и согласованная динамическая таблица зарезервированных виртуальных соединений для отдельных интервалов времени. При поступлении

заявки на установление соединения свободное соединение выделяется приложению без решения задачи маршрутизации. В противном случае для установления соединения решается задача поиска наилучшего из возможных маршрутов в оперативном режиме.

Шестой принцип маршрутизации по технологии UA-ИТТ – использование трех альтернативных режимов передачи данных в зависимости от требований качества сервиса:

а) передача отдельных сегментов данных без предварительного установления соединения;

б) передача потоковых данных по установленному соединению;

в) передача запроса на установление соединения.

Режим «а» в основном применяется для передачи файловых данных, не критичных к задержкам времени и вариациям этих задержек. Режим «б» преимущественно используется при повышенных требованиях качества сервиса, например, при передаче трафика реального времени (голос, видео и др.). При этом качество сервиса оценивается согласно предложенной в работе [9] двумерной шкалы типов соединения (q_1, q_2) . Переменная q_1 определяет среднюю пропускную способность соединения, а q_2 – характеризует стабильность пропускной способности этого соединения.

При передаче по установленному соединению (режим «б») управление цифровым потоком осуществляется по идентификаторам потоков (аналог меток в MPLS), а задача маршрутизации решается только на этапе резервирования соединения. Это значительно сокращает время на обработку информации в узле маршрутизации. Передача по установленному соединению имеет два основных варианта:

1) Соединение зарезервировано в процессе решения задачи трафик-инжиниринга, т.е. задолго до того, как оно было предоставлено конкретному приложению. Это означает, что при поступлении заявки от клиента на установление соединения, это соединение предоставляется сразу же (при условии, что это соединение еще свободно к моменту поступления заявки). Данный способ обслуживания фактически является коммутацией каналов, а не маршрутизацией отдельных сообщений или их сегментов. Установление соединения в этом варианте происходит без существенных задержек времени.

2) При поступлении заявки от клиента в маршрутизаторе отсутствует свободное резервное соединение. В этом случае маршрутизатор инициирует процедуру оперативного установления соединения по всей цепочке от клиента к серверному хосту сети. Данный вариант является наиболее ответственной и сложной частью общего алгоритма маршрутизации по технологии UA-ИТТ. Однако этот вариант обслуживания предполагает решение задачи маршрутизации с резервированием ресурсов всего один раз для одного соединения (в момент его создания). Задержки времени на установление соединения не столь критичны по сравнению с задержками в процессе передачи трафика реального времени, и могут составлять от нескольких долей секунды до нескольких секунд.

Основной акцент в задаче динамической маршрутизации по технологии UA-ИТТ сделан на балансировке сетевого трафика по отдельным ветвям и узлам в

условиях критических нагрузок. Очереди и отказы обслуживания в узлах опорной сети рассматриваются как главный источник больших задержек и нестабильности времени задержки при передаче цифровых потоков. Балансировка трафика в узле маршрутизации возможна в том случае, если узел имеет один или несколько дополнительных перекрестных каналов связи с другими узлами опорной сети. Кроме того, допускается также т.н. балансировка с понижением ранга смежного узла при отсутствии перекрестных связей. Такая балансировка осуществляется за счет передачи потока не вверх по иерархии адресов (если это предусматривает гарантированный маршрут по умолчанию), а вниз по логической иерархии адресного пространства (если известно, что хотя бы один из узлов подчиненной ветви имеет дополнительную перекрестную связь).

Балансировка нагрузки выполняется путем перераспределения трафика между направлением гарантированного маршрута и альтернативными перекрестными направлениями связи. Эти перекрестные связи могут быть горизонтальными и вертикальными (как с понижением, так и повышением ранга смежного узла). Для обеспечения возможности балансировки трафика, в узле опорной сети, который имеет одну или несколько дополнительных перекрестных связей, осуществляется текущий мониторинг загруженности главной (восходящей) ветви на дереве опорной сети, а также перекрестных ветвей. Для этого по каждому из этих направлений производится оценка загруженности по трехзначной логике:

а) «зеленый семафор» – линия связи далека от насыщения (входные буферы памяти заполнены меньше чем на 50%);

б) «желтый семафор» – линия связи близка к насыщению (входные буферы памяти заполнены больше чем на 50%);

в) «красный семафор» – линия связи в насыщении или нерабочем состоянии (например, входные буферы памяти заполнены на 100%) и в текущий момент времени по данному направлению заявки на обслуживание не принимаются.

Если семафор на главном направлении гарантированного маршрута красный или желтый, то балансировка нагрузки сводится к переброске цифрового потока на любое другое направление, которое имеет минимальную текущую загрузку по значениям семафора. Выбор конкретного направления при этом не имеет принципиального значения, поскольку различия в физической длине маршрута или в количестве транзитных узлов не столь существенно влияют на общую задержку транспортировки потока по сравнению с задержкой в очередях или отказами в обслуживании. Тем не менее, динамическая маршрутизация предусматривает режим поиска кратчайшего пути при решении задачи маршрутизации.

Выводы

В работе исследованы вопросы маршрутизации цифровых потоков применительно к интегрированной технологии телекоммуникаций UA-ITТ, которая разработана в ОНАС им. А.С.Попова и запатентована в Украине для сетей NGN. Обоснованы общие принципы динамической маршрутизации потоков с адаптацией и обучением, направленные на сокращение задержек времени при передаче различных типов данных по компьютерным сетям, а также

на уменьшение объема служебной информации в каналах связи. Результаты работы предназначены для дальнейшего исследования методами компьютерного моделирования, а также для разработки алгоритмов и аппаратно-программных средств управления цифровыми потоками в телекоммуникационных сетях NGN, которые могут быть построены на базе технологии UA-ITT.

Список литературы: 1. Рекомендация ITU-T G.711. – 1988. – Режим доступа:

<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.711-198811-I/en>. 2. Репин Д.С. Анализ и моделирование трафика в корпоративных компьютерных сетях : дис. канд. техн. наук : спец. 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (промышленность)» / Д.С. Репин. – М., 2008. – 143 с. 3. Тихонов В.И. Тензорная модель фильтрации трафика в сети доступа / В.И. Тихонов, Е.В.Тихонова // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С.Попова. – 2010. – №2. – С.50÷59. 4. Understanding MPLS-TP and Its Benefits. – Available:http://www.cisco.com/en/US/technologies/tk436/tk428/white_paper_c11-562013.pdf. 5. Understanding PBB-TE for Carrier Ethernet. – Available:<http://www.fujitsu.com/downloads/TEL/fnc/whitepapers/UnderstandingPBBTE.pdf>. 6. Воробийченко П.П. Формирование служебной информации в процессе сеанса связи сетевых компьютерных приложений / П.П. Воробийченко, М.И. Струкало, С.М. Струкало // 64-а науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, науковців, аспірантів та студентів : матеріали конф. Ч.1 Інфокомунікації. – О.: ОНАЗ ім. О.С.Попова, 1-4 грудня 2009. – С. 92-94. 7. Воробийченко П.П. Основы интегрированной технологии телекоммуникаций UA-ITT / Воробийченко П.П., Тихонов В.И. // Інфокомунікації: проблеми та перспективи розвитку. Матеріали Міжнар. науково-практ. конф. (Одеса, 8-10 вер. 2010р.). – Одесса, 2010. – С.41-44. 8. Пат. 46477 Україна; МПК Н04L 12/28. / Спосіб адаптивної адресації вузлів телекомунікаційних пакетних мереж / Воробийченко П.П., Тихонов В.І. ; заявник та власник патенту Одеська нац. Академія зв'язку ім. О.С.Попова. – u 2009 06513; заявл. 22.06.2009; опубл. 25.12.2009. Бюл. № 24. 9. Тихонов В. И. Оценка качества сервиса в интегрированной технологии телекоммуникаций [Электронный ресурс] / В.И. Тихонов, О.В. Голубова // Проблеми телекомунікацій. – 2010. – № 1 (1). – С. 115 – 125. – Режим доступу до журн.:http://pt.journal.kh.ua/2010/1/1/101_tikhonov_itt.pdf.

Поступила в редколлегию 27.08.2011

УДК 005.8:519.6

В.И. ЧИМШИР, канд. техн. наук, доц., зав.каф.,

Измаильский факультет Одесской национальной морской академии

КЛАСТЕРНЫЙ АНАЛИЗ КАК МЕТОД СОДЕРЖАТЕЛЬНОГО СРАВНЕНИЯ СХОЖЕСТИ ПРОЕКТОВ

Запропоновано використання кластерного аналізу для змістовного порівняння схожості проектів. На основі даного підходу можливе проведення порівняльного аналізу параметрів проектів у випадку, коли показники мають різноманітний вид. В результаті запропонованого аналізу отримана кількісна оцінка змістовної схожості проектів.

Ключові слова: проект, типовий проект, кластерний аналіз, змістовна схожість, життєвий цикл.

Предложено использование кластерного анализа для содержательного сравнения схожести проектов. На основе данного подхода возможно проведение сравнительного анализа параметров проектов в случае, когда показатели имеют разнообразный вид. В результате предложенного анализа получена количественная оценка содержательной схожести проектов.

Ключевые слова: проект, типовой проект, кластерный анализ, содержательная схожесть, жизненный цикл.

In this article there was proposed the way of cluster analysis usage for a meaningful comparison of the projects similarity. Based on this approach it becomes possible to conduct a comparative analysis of the parameters in cases when different values have a varied form, which are making it difficult to use in the traditional metric approach. As result, the proposed analysis is able to provide the quantitative assessment of the similarity between the projects.

Keywords: project, standard project, cluster analysis, the content similarity, life cycle.

Известно, что процесс осуществления практически любой не рутинной деятельности можно рассматривать в рамках проекта, реализуемого в определенной временной последовательности по фазам, стадиям и этапам. Причем, завершенность такой деятельности, большинством ученых в области управления проектами [1,3,4,5,6], определяется тремя фазами:

- фазой проектирования, результатом которой является построенная модель проекта и план его реализации;
- технологической фазой, результатом которой является реализация проекта;
- рефлексивной фазой, результатом которой является оценка реализованного проекта и определение необходимости либо его дальнейшей коррекции, либо «запуска» нового проекта.

Каждая фаза является важным временным элементом проекта, но именно рефлексивная фаза позволяет осуществить необходимые обобщения, которые лягутся в будущее знания теории управления проектами [1].

Сегодня, не смотря на явные противоречия, большинство успешных проектных организаций осуществляют именно типовые проекты, опыт и знания которых накапливается за счет грамотно организованной рефлексивной фазы. Примерами таких компаний можно представить: строительные, осуществляющее застройку целых кварталов типовыми зданиями, IT компании, разрабатывающие офисное программное обеспечение, транспортные компании, реализующие проекты транспортировки крупногабаритных грузов и т.д.

Другими словами, при рассмотрении всей совокупности реализуемых проектов мы говорим о глобализации сферы использования проектного управления и соответственно разнообразии методологии их управления, но при этом забываем, что именно реализация типовых проектов является ключевой проблемой многих организаций, а их поверхностная схожесть ведет к выбору ошибочных решений.

Рассматривая исследования [2] посвященные оценке качества методов классификации и возможности их применения к содержательному сравнению схожести проектов, отметим преимущество использования методов кластерного анализа применительно к поставленной задаче.

Кластерный анализ в отличие от большинства математико-статистических методов не накладывает никаких ограничений на вид рассматриваемых объектов, и позволяет рассматривать множество исходных данных практически произвольной природы. Это имеет большое значение для проведения сравнительного анализа параметров проектов в случаи, когда показатели имеют

разнообразный вид, затрудняющий применение традиционных метрических подходов.

Кластерный анализ позволяет рассматривать достаточно большой объем информации и резко сокращать, сжимать большие массивы социотехнической информации, делать их компактными и наглядными.

Применительно к содержательному сравнению схожести проектов возможно применение кластерного анализа для обработки временных рядов, характеризующих экономическую сторону реализации проектов. Можно выделить фазы проектов, когда значения соответствующих показателей были достаточно близкими, а также определять группы временных рядов, динамика которых наиболее схожа.

В соответствии с выше сказанным целью данного исследования является применение кластерного анализа как метода содержательного сравнения схожести проектов для оптимизации системы принятия решений в процессе реализации типового проекта.

Предложим следующее определение, проекты, у которых фазы проектирования достаточно близки по содержанию и результирующим показателям называют типовыми проектами.

Как показывает практика, типовые проекты выполняются на высоком техническом уровне и обеспечивают наиболее эффективное использование капитальных вложений, широкое внедрение высокотехнологичных методов управления, достижения высоких функциональных качеств результатов проекта, снижение стоимости проекта в среднем на 15% по сравнению с аналогичными проектами выполненными однократно. Поэтому выявление отличительных особенностей (кластеризация), позволяющих унифицировать систему принятия решений в процессе реализации проекта, является актуальной задачей.

Известно, что кластеры представляют собой такие группы классов, внутри которых эти классы наиболее схожи друг с другом, а между которыми наиболее различны [2].

В данной работе, в качестве классов рассматриваются как исходные, так и результирующие, в том числе целевые состояния проекта, а в качестве признаков – факторы, влияющие на переход проекта в результирующие состояния.

Исходные состояния проекта, объединенные в кластер, характеризуются общими или сходными методами перевода в целевые состояния. Результирующие состояния проекта, объединенные в кластер, являются слабо определяемыми по факторам, детерминирующим перевод проекта в эти состояния. Это означает, что набор одних и тех же управляющих воздействий при одних и тех же предпосылках, т.е. исходном состоянии и предыстории проекта, могут привести к переходу проекта в одно из результирующих состояний, относящихся к одному кластеру. Поэтому кластерный анализ результирующих состояний проекта является инструментом, позволяющим изучать вопросы устойчивости управления таким сложным объектам как проект.

При выборе управляющего воздействия часто возникает вопрос о замене одних управляющих факторов другими, имеющими сходное влияние на перевод проекта из данного текущего состояния в заданное целевое состояние.

Кластерный анализ факторов как раз и позволяет решить эту задачу: при невозможности применить некоторый управляющий фактор его можно заменить другим фактором из того же кластера, ранее выявленного при реализации схожего проекта или при управлении схожим процессом.

Сформулируем поставленную задачу в общем виде. Пусть выделены основные параметры, в виде множества X , характеризующие проект на всех этапах его жизненного цикла. Необходимо разбить множество проектов G на m кластеров Q_1, Q_2, \dots, Q_m , так, чтобы каждый проект G_j принадлежал одному и только одному подмножеству разбиения и чтобы проекты, принадлежащие одному и тому же кластеру, были сходными по содержанию, в то время, как проекты, принадлежащие разным кластерам были разнородными.

Например, пусть множество G включает $n = (n_1, n_2, n_3, \dots)$ проектов, каждый из которых характеризуется внутренними, внешними параметрами, а также основными параметрами среды в которой реализуется проект, всего p :

$$x = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{np} \end{pmatrix} = (X_1, X_2, \dots, X_n). \quad (1)$$

Тогда X_1 вектор представляющий собой набор указанных параметров для первого проекта, X_2 - для второго, X_3 для третьего, и т.д. Задача заключается в том, чтобы определить какие проекты имеют высокую содержательную схожесть и какие процессы имеют схожую структуру управления.

Решением поставленной задачи являются разбиения, удовлетворяющие критерию оптимальности. Этот критерий представляет собой некоторый функционал, выражающий уровни желательности различных разбиений и группировок. В качестве целевой функции возьмем внутригрупповую сумму квадратов отклонения внутри кластера:

$$\Phi = \sum_{j=1}^n (X_j - \bar{X})^2 = \sum_{j=1}^n X_j^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{j=1}^n X_j \right)^2 \rightarrow \min \quad (2)$$

где X_j – (как было сказано выше) представляет собой вектор параметров j -го проекта.

Из определения понятно, что i -ый и j -ый проекты попадут в один кластер, когда обобщенное расстояние между векторами X_i и X_j будет находиться в принятом диапазоне и попадут в разные кластеры, когда это расстояние будет выходить из диапазона.

Важным элементом в определении содержательной схожести проектов является «вес», или другими словами важность выделенного параметра характеризующего проект. Обычно, для каждого параметра отдельно взятого проекта, эксперт определяет вектор весов $W = (w_1, w_2, w_3, \dots)$, характеризующий важность параметра, соответственно эти веса можно учесть при вычислении расстояния. Таким образом, попадание в один или разные кластеры проектов определяется понятием обобщенного расстояния между X_i и X_j из E_p , где E_p - p -мерное евклидово пространство. Следовательно неотрицательная функция $d_p(X_i, X_j)$ есть функция расстояния:

$$d_p(X_i, X_j) = \left[\sum_{k=1}^p (w_k |x_{ik} - x_{jk}|^p) \right]^{1/p} \quad (3)$$

Тогда расстояние между парами векторов $d_p(X_i, X_j)$ представлены в виде симметричной матрицы расстояний:

$$D = \begin{pmatrix} 0 & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & 0 & \dots & d_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{n1} & d_{n2} & \dots & 0 \end{pmatrix} \quad (4)$$

На основании матрицы расстояний можно перейти к понятию сходства между проектами и их параметрами

$$s_p(X_i, X_j) = 1 - \frac{d_p(X_i, X_j)}{\max d_p} \quad (5)$$

Пары значений мер сходства проектов объединим в матрицу сходства параметров:

$$S = \begin{pmatrix} 1 & s_{12} & \dots & s_{1n} \\ s_{21} & 1 & \dots & s_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ s_{n1} & s_{n2} & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

Также в качестве дополнительной меры сходства параметров проекта будем использовать коэффициент корреляции Пирсона

$$r_p(X_i, X_j) = \frac{\sum_{k=1}^p (x_{ik} - \bar{x}_i)(x_{jk} - \bar{x}_j)}{\delta_i \delta_j} \quad (7)$$

где:

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{k=1}^p x_{ik}}{p} - \text{среднее значение } i\text{-го параметра};$$

$$\bar{x}_j = \frac{\sum_{k=1}^p x_{jk}}{p} - \text{среднее значение } j\text{-го параметра};$$

$$\delta_i = \sqrt{\sum_{k=1}^p (x_{ik} - \bar{x}_i)^2} - \text{среднеквадратичное отклонение } i\text{-го параметра};$$

$$\delta_j = \sqrt{\sum_{k=1}^p (x_{jk} - \bar{x}_j)^2} - \text{среднеквадратичное отклонение } j\text{-го параметра};$$

В соответствии с предлагаемым подходом формируются кластеры для заданного диапазона выбранных параметров проекта и его включение в кластер.

Все параметры проекта на первом этапе формируются непосредственно экспертом, на втором этапе те параметры, которые приобретают наименьшую степень значимости, в формировании кластера, автоматически выпадают. На последнем уровне кластеризации в кластеры включаются не только похожие, но

и все непохожие проекты, таким образом, формируются «окрестность¹» проектов и их параметров.

Окрестность может рассматриваться как кластер с нечеткими границами, включающий в различной степени все рассматриваемые типы проектов.

В результате предложенного анализа мы получаем результаты сравнения проектов, распознавания их друг с другом, т.е. мы видим, насколько они содержательно схожи и насколько отличаются. Но в предложенном подходе есть существенный недостаток, который заключается в низкой информативности промежуточных процессов, т.е. мы не видим, какими параметрами проекты похожи и какими отличаются, и какой вклад каждый параметр вносит в схожесть или различие двух проектов. В связи с чем, дальнейшие исследования должны быть направлены на рассмотрение математического и визуального аппарата позволяющего получить доступ к визуальному анализу результатов кластеризации проектов на всех его этапах.

Подытоживая отметим, применение кластерного анализа для определения содержательной схожести проектов возможно при наличии достаточного количества типовых проектов. По предварительной оценке, для достижения приемлемого результата, необходимо 20-25 результирующих параметров и не менее 100 проектов.

Список литературы: 1.Новиков Д.А. Управление проектами: организационные механизмы [Текст]/ Д.А. Новиков - М.: ПМСОФТ - М, 2007. - 140 с. 2.Гитис Л.Х. Кластерный анализ в задачах классификации, оптимизации и прогнозирования [Текст]/ Л.Х. Гитис. – М. : МГГУ, 2001. – 104 с. 3.Кендалл И., Роллинз К. Современные методы управления портфелями проектов и офис управления проектами: Максимизация ROI [Текст] : пер. с англ. – М.: ЗАО «ПМСОФТ», 2004. – 338 с. 4.Арчибальд Р. Управление высокотехнологичными программами и проектами [Текст] : пер. с англ. Мамонтова Е. В.; Под ред. Баженова А. Д., Арефьева А. О. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Компания АйТи ; ДМК Пресс, 2004.-472 с. 5.Чимшир В.И. Структурная декомпозиция сложных социотехнических систем в период их целевого функционирования// Збірник національного університету кораблебудування: Зб. наук. праць. – Миколаїв: НУК, 2011. – Вип. 2. – С.72-78 6.Чимшир В.И. Элементы проектно-ориентированного управления процессами функционирования сложной системы, заложенные на этапе ее проектирования [Текст] // Журн. Вісник Одеського національного морського університету. – Одеса: ОНМУ, 2010. – № 31. – С. 190 – 196.

Поступила в редколлегию 27.08.2011

¹ Под окрестностью будем понимать топологическое пространство ограниченное системой противоположных (наиболее сильно отличающихся) кластеров, а также спектр промежуточных кластеров, к которым применима количественная шкала измерения степени их сходства или различия.

УДК 69.059:332

И.А. АЧКАСОВ, канд. техн. наук, доц., ХНАГХ, Харьков
Т.А. ПУШКАРЬ, канд. техн. наук, доц. ХНАГХ, Харьков

МОДЕЛИ ИННОВАЦИОННОЙ ПЛАТФОРМЫ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЖИЛИЩНО – КОММУНАЛЬНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Рассмотрены направления формирования и внедрения инновационной платформы энергосбережения в жилищно-коммунальном хозяйстве Украины. Обоснованы общие принципы построения концептуальной модели инновационного развития энергосбережения. Ключевые слова: жилищно-коммунальное хозяйство, инновационное развитие, энергосбережение.

Розглянуті напрями формування і впровадження інноваційної платформи енергозбереження в житлово-комунальному господарстві України. Обґрунтовані загальні принципи побудови концептуальної моделі інноваційного розвитку енергозбереження. Ключові слова: житлово-комунальне господарство, інноваційний розвиток, енергозбереження.

Directions of forming and introduction of innovative platform of energy-savings are considered in housing and communal services of Ukraine. General principles of construction of conceptual model of innovative development of energy-savings are reasonable. Keywords: housing and communal services, innovative development, energy-savings.

Вступление

Одним из приоритетных направлений реформирования и развития жилищно-коммунального хозяйства является внедрение энергосберегающих технологий. Однако большинство научных исследований в области энерго- и ресурсосбережения касаются вопросов повышения энергоэффективности в промышленности и других отраслях материального производства.

Значительные удельные затраты материальных и энергетических ресурсов в отрасли обусловлены неудовлетворительным техническим состоянием основных фондов, отсутствием в необходимых объемах финансовых ресурсов на внедрение энергосберегающих технологий и оснащение.

Однако, несмотря на такое критическое состояние, в сфере ЖКХ отсутствует экономическая мотивация реализации отраслевой программы энергосбережения, хотя это требует в несколько раз меньше средств, чем мероприятия по наращиванию генерирующих мощностей.

Постановка проблемы

В связи с невыполнением на коммунальных предприятиях отрасли ЖКХ энергосберегающих проектов растет потребление электроэнергии на производство жилищно-коммунальных услуг.

Необходимость поиска новых подходов и технологий управления инновационными проектами, механизмов, направленных на использование интеллектуального, информационного и организационного ресурсов, преимуществ в жилищно-коммунальных хозяйствах Украины обусловлена критической ситуацией в отрасли и ожиданиями перемен у конечных пользователей.

Для эффективного управления инновационными проектами энергосберегающих технологий в жилищно-коммунальном хозяйстве необходима разработка новых концепций, а также совершенствование уже существующих.

Анализ исследований и публикаций, посвященных теме статьи

В условиях трансформации экономических отношений и реформирования жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) эффективное использование энергетических ресурсов приобрело большое значение, поскольку снижение затрат на производство жилищно-коммунальных услуг, ведет к повышению уровня рентабельности отрасли, снижению числа убыточных предприятий, что в значительной мере отражается на качестве жизни населения Украины. В связи с этим актуальность приобретают исследования теоретических, методических и практических аспектов внедрения энергосберегающих технологий в ЖКХ, совершенствование организационно-экономических форм управления энергосбережением в жилищно-коммунальном хозяйстве на основе реализации механизма управления проектами [1- 6].

Постановка задач и основной материал исследований

Одним из направлений эффективного использования ресурсов, является включение в систему экономического анализа, как на уровне предприятия, так и на региональном уровне показателя энергосбережения, позволяющего выявить резервы, определить приоритетные направления экономии ресурсов, повысить эффективность деятельности.

Основными этапами анализа энергосбережения является расчет показателей энергоемкости (энергоотдачи) и энергосбережения, анализ эффективности использования энергетических ресурсов.

Под энергоотдачей (ЭО) будем понимать обобщающий показатель, характеризующий использование единицы энергетических ресурсов для производства реализованных услуг за определенный период (год, квартал, месяц). Формула для расчета показателя энергоотдачи

$$ЭО = \frac{РУ}{ЭЗ}, \text{ грн/грн.}, \quad (1)$$

где $РУ$ - объем реализованных услуг, грн.;

$ЭЗ$ - затраты, связанные с использованием энергоресурсов, грн.

Показатель обратный энергоотдачи - энергоемкость, в общем виде представляет собой отношение затрат, связанных с использованием энергоресурсов к стоимости реализованных услуг.

Энергоемкость, рассчитанная на единицу стоимости продукции, используется при анализе фактической рентабельности использования энергетических ресурсов, изучении экономической эффективности внедрения энергосберегающих технологий.

Таким образом, эффективность использования энергетических ресурсов определяется путем сопоставления уровня энергоотдачи (энергоёмкости) с нормативной или плановой величиной показателя за определенный период.

В свою очередь, уровень использования энергетических ресурсов зависит от соотношения темпов роста объема этих ресурсов и стоимости предоставляемых услуг. При опережающих темпах объема предоставленных услуг эффективность использования энергоресурсов растет, а при опережающих темпах роста затрат на энергоресурсы — сокращается. Следовательно, критерием эффективности использования энергоресурсов можно считать опережение темпов роста объема предоставленных услуг по сравнению с темпами роста затрат на энергоресурсы.

Для оценки анализа изменения энергоёмкости услуг и выработки мер по ее снижению определяется уровень энергоёмкости как отклонение отчетной энергоёмкости от базовой (до и после внедрения энергосберегающих технологий). Предлагается изменение энергоёмкости (ΔE) рассчитывать следующим образом:

$$\Delta E = \frac{\sum \mathcal{E} \mathcal{Z}_o}{P Y_o} - \frac{\sum \mathcal{E} \mathcal{Z}_\phi}{P Y_\phi}, \text{ грн./грн.} \quad (2)$$

где $\sum \mathcal{E} \mathcal{Z}_o$, $\sum \mathcal{E} \mathcal{Z}_\phi$ - совокупные затраты связанные с использованием энергоресурсов, в отчетном и базовом периодах, соответственно, грн.;

$P Y_o$, $P Y_\phi$ - стоимость реализованных услуг в отчетном и базовом периодах, соответственно, грн.;

Можно выявить несколько групп факторов, оказывающих влияние на изменение энергоёмкости, в соответствии с тем, какой вид ресурсов (электроэнергия, тепловая энергия, газ, твердое топливо, нетрадиционные виды энергии) используются.

Анализ эффективности использования энергетических ресурсов включает две стадии. На первой стадии определяется влияние на энергетические затраты изменение расхода ресурсов и цен на него. Оценка осуществляется методом цепных подстановок, при этом в качестве базы сравнения принимается не фактический расход энергоресурсов в базовом периоде или прогрессивные нормы расхода, а прогнозируемый расход энергоресурсов в случае использования энергосберегающих технологий. Для оценки воздействия на показатели энергоёмкости и энергоотдачи изменений в составе и номенклатуре ресурсов выполняется анализ структуры используемых энергоресурсов и динамика затрат с учетом структурных сдвигов. Влияние на показатель энергосбережения изменений различных видов энергетических затрат рекомендуется рассмотреть отдельно в калькуляционном и элементном разрезе. Это позволит более точно определить те виды затрат, которые негативно влияют на показатель энергосбережения и принять меры для устранения данного влияния.

Энергосбережение (\mathcal{E}), как и энергоограничение, измеряется в абсолютных единицах (кВт, Гкал, тонны условного топлива и т.п.), предельным результатом которого является полное прекращение использования энергии (\mathcal{E}), то есть ее отключение, что соответствует выражению в общем виде $\mathcal{E} \rightarrow 0$.

Энергоэффективность предполагается измерять в относительных величинах

(кВт/м², Гкал/м², т у.т./Гкал и др.), что характеризует снижение затрат при неизменном результате или повышение эффекта (результата) при постоянных затратах. Энергоэффективность (ЭЭ) можно рассчитать как соотношение результата (Э) энергосберегающего мероприятия к затратам (З), которые были произведены для его получения.

На основании проведенного анализа разрабатывается система мер, направленных на повышение эффективности работы предприятия за счет улучшения использования энергетических ресурсов.

Энергосбережение - это процесс, направленный на сокращение энергетических затрат живого и овеществленного общественно необходимого труда на производство единицы потребительной стоимости.

На уровне предприятий энергосбережение выражается в снижении совокупных затрат энергии, приходящихся на единицу выручки от объема реализации предоставленных услуг.

Энергосбережение базируется на повышении эффективности использования энергетических ресурсов и качества услуг.

В условиях ограниченного количества природных ресурсов, ухудшения экологической обстановки энергосбережение выступает как условие повышения эффективности производства.

При оценке эффективности энергосбережения необходимо учитывать следующее:

- энергосбережение не всегда сопровождается увеличением объема услуг, которые зависят от технических возможностей объекта (дома) и спроса на них;
- энергосбережение всегда способствует росту эффективности производства. Экономия энергоресурсов, даже в тех случаях, когда не предусматривается увеличение объема предоставленных услуг, означает повышение эффективности работы.

Оценка уровней энергопотребления и энергосбережения предполагает следующие уровни: общегосударственный, отраслевой, региональный, основного хозяйственного звена (предприятия).

На уровне предприятия основными факторами снижения энергоемкости жилищно-коммунальных услуг являются:

- повышение качества предоставляемых услуг;
- улучшение структуры затрат на производство услуг ЖКХ: снижение энергетической составляющей и повышение доли затрат на оплату труда и отчислений в социальные фонды;
- снижение непроизводственных потерь энергетических ресурсов;
- снижение расхода всех видов энергоресурсов;
- снижение загрязнения окружающей среды;
- рациональное использование природных ресурсов;
- относительное высвобождение численности трудящихся;
- повышение производительности труда.

Исходя из этого основными показателями, определяющими уровень энергосбережения, являются:

- энергоемкость (энергоотдача) услуг ЖКХ;

- энергосбережение;
- зарплатоемкость услуг;
- трудоемкость услуг.

Анализ энергосбережения позволяет разработать систему мер, направленных на повышение эффективности работы предприятия за счет улучшения использования энергетических ресурсов.

Помимо этого, показатель энергоемкости включает затраты, связанные с использованием производственных ресурсов, выплачиваемые из прибыли предприятия.

Показатель энергоемкости продукции (тепло, вода) предприятий первого типа отражает, сколько гривен затрат, связанных с использованием энергетических ресурсов, приходится на гривну результата.

Разница между отчетным и базисным значениями энергоемкости характеризует размер энергосбережения

$$\mathcal{E}C = \Delta \mathcal{E}E = \mathcal{E}E_o - \mathcal{E}E_\delta, \text{ грн./грн.} \quad (3)$$

где $\mathcal{E}E_o$, $\mathcal{E}E_\delta$ - энергоемкость продукции соответственно в отчетном и базисном периодах, грн./грн.

Темпы роста показателя энергосбережения характеризует уровень интенсификации использования энергетических ресурсов.

Энергетические затраты, расходы на оплату труда, отчисления на государственное социальное и обязательное медицинское страхование, амортизационные отчисления и прочие расходы являются элементами затрат, составляющих себестоимость продукции (работ, услуг).

Анализ энергосбережения включает в себя следующие этапы:

- изменение показателя энергосбережения от выручки от реализации услуг;
 - влияние изменения энергетических затрат на показатель энергосбережения;
- 1 этап.* Изменение показателя энергосбережения от выручки от реализации услуг рассчитывается по формуле

$$\Delta \mathcal{E}E_{PY} = \mathcal{E}Z_o \left(\frac{1}{PY_o} - \frac{1}{PY_\delta} \right), \text{ грн. / грн.} \quad (4)$$

Выручку от реализации услуг можно рассматривать как сумму произведений объема j -го вида услуг на действующие тарифы j -го вида услуг. При определении влияния этих факторов на изменение выручки от реализации можно рассматривать не все виды услуг, а лишь те из них, которые составляют значительную часть.

Общее отклонение выручки от реализации рассматриваемых видов услуг составляет:

$$\Delta PY = \sum_{j=1}^j Q_{jo} \times C_{jo} - \sum_{j=1}^j Q_{j\delta} \times C_{j\delta}, \text{ грн.} \quad (5)$$

где C_j - цена (тариф) j -го вида услуг, грн.;

Q_j - объем реализации j -го вида услуг в натуральном выражении. Влияние на выручку от реализации изменений в объемах реализации рассматриваемых видов услуг оценивается как

$$\Delta PY_Q = \sum_{j=1}^j C_{j\bar{o}} \times (Q_{j\bar{o}} - Q_{j\bar{o}}), \text{ грн.} \quad (6)$$

Влияние на выручку от реализации изменений в ценах (тарифах) на рассматриваемые виды услуг, рассчитывается следующим образом

$$\Delta PY_{Ц} = \sum_{j=1}^j Q_{j\bar{o}} \times (C_{j\bar{o}} - C_{j\bar{o}}), \text{ грн.} \quad (7)$$

2 этап. Влияние изменения затрат на показатель энергосбережения. Оценка влияния на показатель энергосбережения изменений всех видов затрат осуществляется по формуле

$$\Delta ЭС_3 = \frac{ЭЗ_o - ЭЗ_{\bar{o}}}{PY_{\bar{o}}}, \text{ грн./грн.} \quad (8)$$

влияние на показатель энергосбережения изменений по каждому виду затрат оценивается как:

$$ЭС = \Delta ЭЕ_{3i} = \frac{ЭЗ_{oi} - ЭЗ_{\bar{oi}}}{PY_{\bar{o}}}, \text{ грн./грн.} \quad (9)$$

где i - индекс вида затрат, $i=1, I$;

$ЭЗ_{oi}, ЭЗ_{\bar{oi}}$ - изменения по i -м видам затрат в отчетном и базовом периодах, соответственно, грн.

Разработанные показатели для управления проектами энергосбережения позволяют осуществить качественно новый подход к анализу эффективности использования ресурсов.

Предлагаемая авторами концептуальная модель показана на рис. 1. Модель включает систему целей и сбалансированных показателей развития, на основе которых формируется основной цикл управления (мониторинга) программы.

Программа инновационного развития содержит ряд взаимосвязанных проектов или их портфелей, реализация которых обеспечивает достижение целей. Проекты строятся на основе лучшей практики и уроков, формируемых двумя когнитивными циклами. При этом инновационная платформа программы развития строится на новых знаниях и технологиях, поступающих из внешней среды, а также когнитивных циклах переноса лучшей практики и извлечения уроков выполненных проектов.

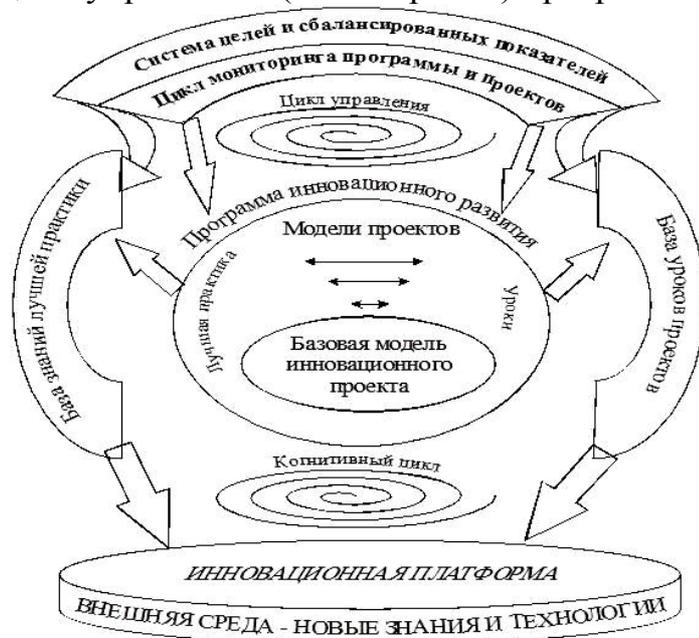


Рис. 1. Концептуальная модель управления программами инновационного развития систем энергосбережения

Схема включает три базовый цикла управления программой – цикл мониторинга проектов и программы на основе сбалансированной системы показателей по целям, цикл изучения и переноса лучшей мировой практики в масштабируемые модели проектов, цикл изучения уроков для недопущения их повторения.

Внешняя среда переносит в инновационную платформу энергосберегающие технологии (ЭТ), позволяющие эффективно использовать энергетические ресурсы. Энергосберегающие технологии находят все более широкое применение во многих отраслях промышленности. В то же время, внедрение ЭТ в отраслях нематериального производства, и в первую очередь, жилищно-коммунального хозяйства не носят массового характера, хотя повсеместно отмечается, что использование энергоресурсов в жилищном секторе имеет низкую эффективность.

На основании проведенного анализа объект исследования (ЖКХ), а следовательно и программа развития, был разделен на ряд групп. Такими группами являются:

- домохозяйство как потребитель услуг и владелец (совладелец) жилого фонда;
- жилищно-строительный кооператив как потребитель услуг и коллективный владелец жилого фонда;
- общество совладельцев многоквартирного дома как потребитель услуг и юридическое лицо, осуществляющее управление, содержание и использование неделимого и общего имущества собственников;
- предприятие жилищного хозяйства как производитель отдельных видов услуг и владелец жилищного фонда;
- предприятие коммунального хозяйства как производитель услуг.

Программа по сбору информации о мотивах внедрения ЭТ в жилищной сфере имеет три уровня. Первый уровень это отдельные домохозяйства - конечные потребители энергоносителей. Второй уровень - это объединения домохозяйств: ЖСК и ОСМД. И третий уровень - предприятия жилищно-

коммунального хозяйства, оказывающие услуги (предоставляющие энергию домохозяйствам) и занимающиеся эксплуатацией жилого фонда. Иерархия программы сбора информации представлена на рисунке 2. Одним из наиболее распространенных методов сбора информации является опрос. Метод опроса имеет свои особенности, требования к его организации и проведению, решая специфический класс познавательных задач. При этом получение искомой

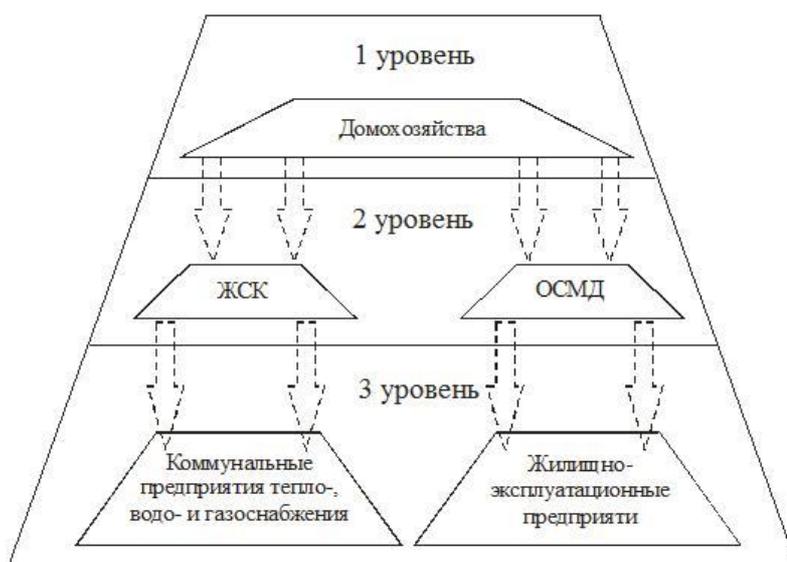


Рис. 2. Иерархия программы сбора информации

информации неизменно осуществляется в ситуациях общения, хотя варианты общения могут быть различными: личное или опосредованное (телефон, почта и т.п.); устное или письменное; индивидуальное или групповое. Наконец, искомая информация всегда получается и фиксируется в виде ответов на вопросы, сформулированные организатором опроса либо заранее (формализованный, или стандартизированный опрос), либо непосредственно по ходу беседы в соответствии с общей целью опроса и психологическими особенностями собеседников (свободный, или неформализованный опрос).

Выводы

Таким образом, идентичность состава и структуры объектов позволяет установить лишь признаки сравнения, но не определить источники резервов и экономии ресурсов. Для выявления резервов и экономии энергетических ресурсов был применен метод сравнения. В качестве нормативной базы для сравнения расхода ресурсов при определении резервов используется эталонный, а при выявлении потерь - нормативный метод.

Рост технического уровня производства и качества производимой продукции, работ и услуг является в настоящее время отличительной чертой деятельности предприятий в экономически развитых странах. В условиях насыщенного рынка и преобладающей неценовой конкуренции именно высокое качество продукции служит главным фактором развития предприятия. Одновременно качество по праву относится к важнейшим критериям оценки деятельности любого предприятия, поскольку от него зависит степень выживаемости в условиях рынка, темпы научно-технического прогресса, рост эффективности производства, экономия всех видов ресурсов, используемых на предприятии.

Список литературы: 1. *Ачкасов, И.А.* Особенности формирования ресурсосберегающих систем в жилищно-коммунальной отрасли на основе энергетических принципов проектирования и строительства жилых зданий [Текст] / И.А.Ачкасов, В.Т.Семенов, В.И.Торкатюк, А.Л.Шутенко, А.В.Хомутенко// Проблемы та перспективи енерго-, ресурсо -збереження житлово-комунального господарства. - Харків, ХНАМГ, 2005. - С.128-134. 2. *Білоконь, А. І.* Реструктуризація теплоенергетичного господарства міст, як інструмент забезпечення стандартів якості надання послуг [Текст] /А.І. Білоконь, Є.Ю. Віютін // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. -Дн-ськ.: ПДАБтаА, 2006. -№ 1. - С.9-19. 3. *Білоконь, А. І.* Контроль успішності проектів підвищення енергоефективності комунальної теплоенергетики [Текст] / А.І. Білоконь, І.В. Трифонов, Є.Ю. Віютін // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. - Дн-вськ: ПДАБтаА, 2006. -№9. -С.12-20. 4. *Маляренко, В.А.* Шляхи підвищення ефективності комунальної енергетики [Текст] / В.А. Маляренко // Интегрированные технологии и энергосбережение. - №3. – 2007. – С.3-13. 5. *Маляренко, В.А.* Энергосбережение и централизованное теплоснабжение в концепции развития коммунальной энергетики [Текст] / В.А. Маляренко [Текст] // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. - №3. – 2007. - С. 72-77. 6. *Гордієнко, О.С.* Енергоефективність транспортних підприємств як результат процесів енергозбереження [Текст] / О.С. Гордієнко [Текст] // Коммунальное хозяйство городов – №97. – 2011. – С.268-272.

Поступила в редколлегию 27.06.2011

І.О. ЛАСТІВКА, канд. техн. наук, зав. каф., Національний авіаційний університет, Київ

ТЕОРЕТИЧНІ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГАЗОДИНАМІЧНОГО ВПЛИВУ НА АЕРОДИНАМІЧНІ СЛІДИ ЗА ЛОПАТКАМИ КОМПРЕСОРНИХ РЕШІТОК

Проведено дослідження газодинамічного управління течією та викладено узагальнені результати його впливу на аеродинамічні кромкові сліди і рівень вібронпружень в лопатках компресорних решіток

Ключові слова: газодинамічний вплив, аеродинамічні сліди, компресорна решітка, нерівномірність потоку, вібронпруження

Проведены исследования газодинамического управления течением и изложены обобщенные результаты его влияния на аэродинамические кромочные следы и уровень вибронпряжений в лопатках компрессорных решеток

Ключевые слова: газодинамическое воздействие, аэродинамические следы, компрессорная решетка, неравномерность потока, вибронпряжения

Provided research of gas-dynamic flow control and presented summary results of its influence on aerodynamic edges traces and on level of vibration stress in blade of compressor lattices

Key words: gas-dynamic influence, aerodynamic traces, compressor lattices, uneven flow, vibration stress

1. Вступ

Періодична колова нерівномірність потоку, що викликається наявністю аеродинамічних слідів за елементами статора осьового компресора, є основним фактором впливу на характеристики його ступенів [1, 2]. Обтікання робочих решіток осьових компресорів нерівномірним потоком призводить до резонансних коливань лопаток під дією змінних аеродинамічних сил і появи в них небезпечних за умовами міцності механічних напружень [3].

В авіадвигунобудуванні проблемі усунення джерела появи небезпечних механічних напружень у вінцях лопаток осьових компресорів газотурбінних двигунів – періодичної колової нерівномірності потоку – приділяється велика увага. Вирішення цієї проблеми дасть можливість підвищити надійність авіаційних двигунів і збільшити їх технічних ресурс.

2. Постановка задачі

Одним із методів енергетичного впливу на потік повітря в компресорних решітках газотурбінних двигунів є метод газодинамічного управління циркуляцією навколо профілів (управління примежовим шаром і аеродинамічними слідами). Основна функція газодинамічної дії полягає у зниженні рівня втрат, пов'язаних зі зривом потоку в лопаткових вінцях, і вирівнюванні поля швидкостей і тисків за вихідними кромками елементів компресора. Даний метод впливу на потік може бути реалізований або шляхом видування повітря (газу) через щілини в напрямі основного потоку по дотичній до обтічної поверхні для збільшення енергії примежового шару і створення

стійкого потоку, або шляхом відсмоктування частини примежового шару, що безпосередньо прилягає до обтічної поверхні (видалення з обтічної поверхні частини повітря з малою енергією).

Проведемо дослідження щодо газодинамічного управління течією і його впливу на інтенсивність нерівномірності потоку та рівень вібрацій в лопатках компресорних решіток.

3. Розв'язування задачі і аналіз досліджень

Розглянемо розрахункову схему (рис.1) газодинамічного управління

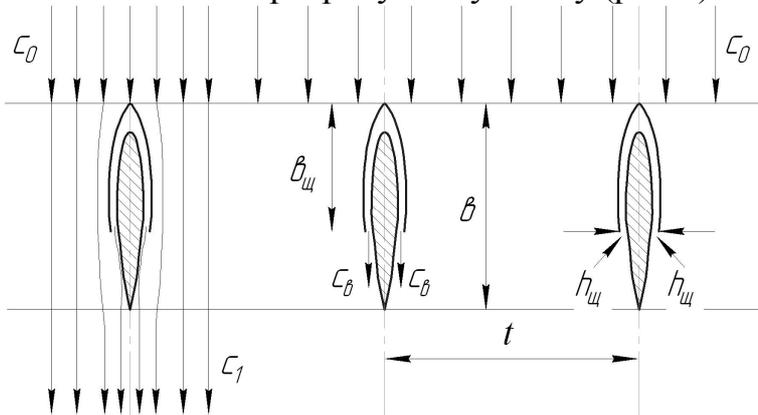


Рис.1 Схема управління аеродинамічними слідами за елементами статора осьового компресора

інтенсивністю аеродинамічних слідів за елементами статора осьового компресора за допомогою видуву додаткової маси повітря (газу) в пристінний примежовий шар через щілини на бічних поверхнях лопаток з імпульсом, що визначається інтегральними характеристиками примежового шару [4].

Розрахунок газодинамічного управління течією в елементах компресора газотурбінного

двигуна полягає у визначенні параметрів управляючого потоку, який регулює характер течії. Визначення цих параметрів необхідне для ефективною дії на характер течії в аеродинамічних слідах. У цих випадках, зазвичай, керуються наступними міркуваннями: щілини на поверхнях з управлінням примежовим шаром розташовані до точки відриву потоку на профілі [5]; параметри струменя, що видувається в примежовий шар, визначаються з умови забезпечення заданого ступеня нерівномірності потоку на різному віддаленні від вихідного перерізу.

Розташування щілин до точки відриву обумовлене тим, що газодинамічна дія на течію в примежовому шарі може бути ефективною і економічною лише при безвихровій течії, а при розташуванні щілини за точкою відриву потоку ефективність газодинамічного управління різко знижується [6].

В роботах [3,7,8] проведені дослідження щодо оцінки впливу на рівень періодичної колової нерівномірності $\alpha = (c_0 - c_x) / c_0 = v_{\max} / c_0$ (c_0 – постійна швидкість у ядрі потоку між слідами, c_x – усереднена складова швидкості по осі x, v_{\max} – максимальна додаткова швидкість у сліді) інтенсивності управління обтіканням, яка оцінюється величиною коефіцієнта імпульсу видуву [3, 7]

$$c_{\mu} = K \frac{\rho_{\delta} c_{\delta}^2}{\rho_0 c_0^2} \cdot \bar{h}_{щ} \cdot \frac{b}{t} \cdot \frac{1}{\sin \gamma_1}, \quad (1)$$

де γ_1 – кут між вектором абсолютної швидкості c_1 і фронтом решіток ($\gamma_1=90^\circ$, $\sin \gamma_1 = 1,0$); $\bar{h}_{щ} = h_{щ} / b$ – відносна висота щілини; $h_{щ}$ – висота щілини; b/t – густина решіток на середньому радіусі; K – коефіцієнт пропорційності ($K =$

0,65 при числах Маха $M_0 = 0,4-0,8$); ρ_e, c_e – густина і швидкість повітря, що видувається з щілин; ρ_0, c_0 – густина і швидкість основного потоку повітря.

Інтенсивність періодичної колової нерівномірності потоку без управління примежовим шаром має вигляд [3, 8]

$$\alpha = K_1 \sqrt{\left(2 \frac{t}{b} \cdot \frac{\delta_{\Sigma}^{**}}{a} \sin \gamma_1 \cdot \frac{b}{x}\right)}, \quad (2)$$

а з управлінням примежовим шаром перетворюється до наступного вигляду [3, 8]:

$$\alpha_{\mu} = K_1 \sqrt{2 \left(\frac{t}{b}\right) \left(\frac{\sin \gamma_1}{a_1}\right) \frac{b}{x} \left(\delta_{\Sigma_0}^{**} - c_{\mu} \rho_0 c_e \frac{b}{t} \sin \gamma_1 \cdot 10^{-2} - \delta_{\Sigma_x}^{**}\right)}. \quad (3)$$

Даний вираз дозволяє встановити залежність між інтенсивністю нерівномірності потоку α , відстанню від задньої кромки вниз по потоку x і коефіцієнтом імпульсу видуву c_{μ} у разі управління обтіканням поверхонь профілів. Видно, що управління обтіканням істотно знижує інтенсивність колової нерівномірності потоку на вході в компресор.

Відносний рівень вібронпружень в кореневих перетинах вінців лопаток визначається за допомогою наступної формули [3, 7]:

$$\bar{\sigma}_{\kappa} = \left| 1 - \left(c_{\mu} \frac{b}{\delta_{\Sigma}} \cdot \frac{t}{b} \sin \gamma \right) / \left(1 - \frac{\delta_{\Sigma}^{**}}{\delta_{\Sigma}} \right) \right|, \quad (4)$$

де величина δ_{Σ}^{**} – це сумарна товщина втрати імпульсу в сліді; δ_{Σ} – товщина примежового шару на профілі у разі турбулентного потоку.

Таким чином, одержані теоретичні залежності (1) – (4) можна використовувати для наближених розрахунків газодинамічної дії на інтенсивність періодичної колової нерівномірності потоку на вході в осьовий компресор і на рівень вібронпружень в його лопаткових вінцях.

Для уточнення отриманих аналітичним шляхом залежностей було проведено експериментальні дослідження. Експериментальне вивчення турбулентного струменя в кромкових аеродинамічних слідах потоку повітря, що проходить через решітки профілів вхідного направляючого апарату або направляючого апарату в проточній частині осьового компресора, а також експериментальне дослідження ефективності методу газодинамічної дії на структуру аеродинамічних слідів за даними елементами статора осьового компресора було проведено на установці, створеній на базі серійного авіаційного турбореактивного двигуна з осьовим компресором. Схема експериментальної установки представлена на рис. 2.

Установка складається з: компресора низького тиску 8; повітропідвідного каналу основного потоку повітря 10 з лемнікатним пристроєм 11 на вході; робочої частини повітропідвідного каналу з двома обичайками 9 і 10 зі спеціальними координатниками і об'єктом дослідження 7; системи подачі повітря, що вдувається в примежовий шар; системи охолодження повітря, що вдувається; контрольно–вимірювальної апаратури.

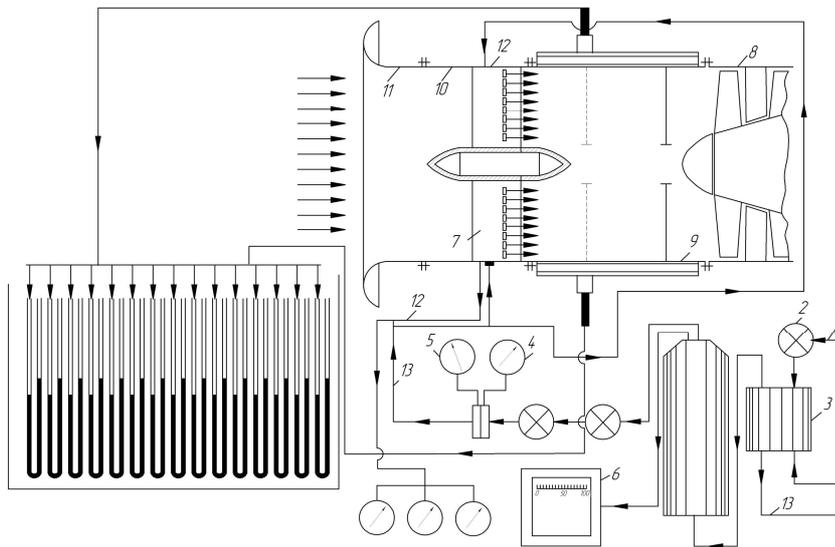


Рис.2 Схема експериментальної установки для дослідження методів газодинамічного впливу на структуру потоку

Основний повітряний потік подається до компресора двигуна по повітропідвідному каналу, виготовленому з двох обичайок 9 і 10, а також лемніскатного пристрою 11, що забезпечує рівномірне поле повітряного потоку на вході в компресор.

Додаткова маса повітря, призначена для видуву в приміжовий шар, забирається в декількох місцях по колу

за останнім ступенем компресора і по трубопроводу 1 подається в топливоповітряний радіатор 3, де охолоджується до температури T_n^* навколишнього повітря. Контроль за температурою повітря, що вдувається, здійснювався за шкалою електронного автоматичного потенціометра (6). Далі в систему подачі повітря входять: кран грубого регулювання витрати повітря, що вдувається 2; манометри виміру P_1 і P_2 на шайбі (4 і 5); приймальні штуцера (12) на досліджуваних лопатках для підведення до них по трубопроводах додаткової маси повітря.

Застосування подібної системи забору і подачі забезпечило витрати повітря, що вдувається, в межах $0 \div 0,5$ кг/с.

Компресор двигуна на номінальному і максимальному режимах має наступні дані: витрата повітря $G_{nmax} = 63,7$ кг/с; максимальні оберти ротора низького тиску $n_{КНТ} = 11100$ об/хв (100%); зовнішній діаметр $D_K = 678$ мм; тиск за компресором $P_{2max}^* = 800$ кПа; температура повітря за компресором $T_{2max} = 560^\circ\text{K}$; абсолютна швидкість на вході $c_1 = 200$ м/с; абсолютна швидкість повітря у повітропідвідному каналі компресора $c_0 = 164$ м/сек; відносний діаметр втулки $\bar{d}_{1em} = 0,4$.

В якості об'єкта дослідження була вибрана решітка, яка складалася з чотирьох порожнистих симетричних профілів лопаток вхідного направляючого апарату вітчизняного авіадвигуна. Підставою для вибору цього типу профілів була можливість забезпечення підведення повітря всередину лопатки і випуску його в проточну частину (в аеродинамічні сліди) через щілини для організації управління приміжовим шаром. Лопатки мали постійний по своїй висоті профіль НАСА-12 з такими основними характеристиками: $\bar{b}_{щ} = 60\%, 70\% \text{ і } 85\%$; $h_{щ} = 0,5$ мм; хорда $b = 115$ мм.

При експериментальному дослідженні структури потоку в проточній частині осьового компресора для описаної вище решітки вимірювалися наступні

параметри: повний тиск P_0^* перед решіткою датчиком повного тиску і статичний тиск через отвори в стінці обичайки діаметром 1,0 мм (два отвори, розташовані діаметрально протилежно); повний тиск P_k^* за решіткою (по осі сліду) кроковою гребінкою повного тиску, розташованою під кутом 90° за досліджуваним профілем, що дає можливість одночасно вимірювати на одному і тому ж режимі повний тиск в декількох точках по кроку кільцевих решіток. Крокова гребінка виконувалась відповідно до рекомендацій, викладених в [9]. Витрата повітря, що видувається, змінювалася від $G_{вид} = 0$ до $G_{вид} = 0,4 \text{ кг/с}$, що складало $(0 - 0,7\%) G_{в \max}$ від основної витрати повітря оточуючих решітку профілів вхідного направляючого апарату.

Таким чином, дослідження ефективності газодинамічної дії на структуру потоку в аеродинамічних слідах проводилося при різних співвідношеннях витрат основного потоку повітря і потоку, що видувається.

При проведенні випробувань основними режимними параметрами були: тиск повітря, що видувається – P_e^* ; абсолютна швидкість основного потоку – c_0 . Швидкість c_0 варіювалася шляхом зміни частоти обертання ротора двигуна. Експериментальні дослідження проводилися на декількох фіксованих основних експлуатаційних режимах роботи двигуна:

режим номінальний	$n_{КНТ} = 93\% (c_0 = 164 \text{ м/с});$
0,8 номінального режиму	$n_{КНТ} = 88\% (c_0 = 141 \text{ м/с});$
режим	$n_{КНТ} = 75\% (c_0 = 110 \text{ м/с}).$

На кожному з вищезазначених режимів роботи двигуна, який потім залишався постійним в процесі серії вимірювань у відомих межах точності $(0 - 0,5\% n_{КНТ}$ заданих або $0 - 0,1\% c_0$ задана), проводилася зміною площі прохідного перерізу заслонки зміна витрати повітря, що видувається, внаслідок чого відбувалося збільшення або зменшення тиску повітря у внутрішній порожнині досліджуваної лопатки.

В процесі експерименту була досліджена решітка профілів з $h_{щ} = 0,5 \text{ мм}$ на вище перелічених режимах при положеннях щілини по хорді лопатки $\bar{b}_{щ} = 60\%, 70\%, 85\%$. Проводилося вимірювання параметрів повітряного потоку за досліджуваним профілем без видуву і з різною інтенсивністю видувного повітря, тобто при різних значеннях коефіцієнта імпульсу видуву c_μ . На кожному з режимів змінювалися витрата повітря, що видувається, і коефіцієнт імпульсу видуву c_μ від 0 до 0,004. Вимірювання за профілем проводилося по осі сліду на відносних відстанях в долях хорди лопатки $\bar{x} = 1,0; 2,0; 3,0$, де вирівнювання потоку в сліді при сході його із задніх кромek ще не відбулося. Між двома сусідніми лопатками вхідного направляючого апарату розміщувався приймач повного тиску.

Параметри основного повітряного потоку забезпечували дослідження профілю решітки при $Re = 4 \cdot 10^5$, що дозволило моделювати процеси, що відбуваються у вінцях лопаток реальних ступенів компресорів.

Виходячи з цього можна зробити висновок, що описана вище експериментальна установка дозволяє проводити комплекс досліджень щодо визначення впливу методів газодинамічної дії на структуру потоку за елементами статора осевого компресора.

Швидкість повітряного потоку на вході в решітку розраховувалась за

$$\text{наступною формулою: } C_0 = \sqrt{2 \frac{K}{K-1} R T_0^* \left[1 - \left(\frac{P_0}{P_0^*} \right)^{\frac{K-1}{K}} \right]} \quad [\text{м/с}].$$

Решта параметрів потоку на вході в лопаткову решітку (P_0^*, P_0, T_0^*) визначались в результаті перерахунку і усереднювання величин, що замірюються в процесі експерименту.

Для перевірки точності вимірювання P_0 в процесі експерименту, виходячи з припущення, що статичний тиск в даному перерізі каналу є сталою величиною, було виконано обчислення значення P_0 за відомою величиною сумарної витрати повітря (на певному режимі) і за відомим полем повного тиску [10,11]. Записуємо рівняння витрати повітря через даний переріз у припущенні, що статичний тиск постійний $G_g = 0,396 P_0 \int_F \left(y(\lambda_0) / \sqrt{T_0^*} \right) dF$, де значення $y(\lambda_0)$ визначається по відомим розподілом P_0^*, P_0 . У вхідному каналі $T_0^* = const$ і, отже, $G_g = 0,396 P_0 / \sqrt{T_0^*} \int_F y(\lambda_0) dF$. Задаючи різні значення P_0 , знаходимо те його значення, при якому величина G_g збігається з правою частиною.

Проведені обчислення показали хорошу збіжність експериментальних значень P_0 , заміряних на певному режимі, з обчисленими значеннями P_0 (похибка складає 0,5 – 1,0%).

Аналогічно визначалися значення P_0, P_0^* в ядрі потоку на виході з решітки. Швидкість повітря в ядрі потоку на виході з решіток c'_0 приймалася рівною c_0 , оскільки значення параметрів T_0^*, P_0, P_0^* практично залишалися постійними. Витрата повітря, що видувається, визначалася згідно з існуючою методикою [12] за допомогою дросельного пристрою (діафрагми стандартного типу) за формулою $G_g = \alpha \cdot \varepsilon \cdot F_0 \sqrt{2 \rho_1 (P_1 - P_2)}$ [кг/с], де F_0 – площа отвору діафрагми, м²; P_1 – абсолютний статичний тиск перед шайбою, кПа; P_2 – абсолютний статичний тиск за шайбою, кПа; ρ_1 – густина повітря, що протікає, кг/см³; ε – поправковий множник на розширення струменів (визначається по рис 3); α – коефіцієнт витрати, визначається згідно з методикою [12].

При експериментальних дослідженнях

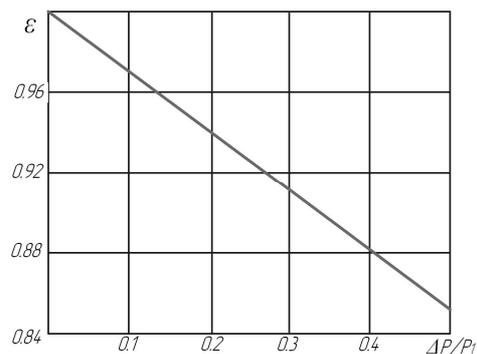


Рис. 3. Графік функції $\varepsilon = f(\Delta P/P_1)$

витримувалась умова рівності температур $T_1^* = T_H^*$. При цьому $\rho_1 = \rho_H (P_1 / P_H) [\text{кг} / \text{м}^3]$.

Якщо підставити всі коефіцієнти, то отримаємо остаточну формулу для визначення $G_g = 0,16 \sqrt{(P_1 / P_H) \Delta P} [\text{кг} / \text{с}]$, де $\Delta P = P_1 - P_2$ – перепад тиску на шайбі.

Визначення швидкості повітря, що видувається в пристінний примежовий шар, проводилося за формулою $G_g = 0,396 (P_g^* / \sqrt{T_g^*}) F_{\text{щ}} q(\lambda_g)$, де $P_g^* = P_{\text{лср}}^*$ – середній повний тиск повітря в лопатці, кПа; T_g^* – температура повітря, що видувається, °К; $F_{\text{щ}}$ – сумарна площа щілин, м²; $q(\lambda_g)$ – газодинамічна функція витрати.

Розрахунок втрат за методикою [13] при застосуванні газодинамічного впливу на течію показав, що вони не перевищують 2–3% при всіх варіантах видуву і легко можуть бути надалі враховані.

Інтенсивність газодинамічного управління структурою слідів за профілями вхідного направляючого апарату характеризувалася в дослідженні введенням безрозмірного коефіцієнта імпульсу видуву, застосовуваному аналогічно для оцінки інтенсивності управління примежовим шаром на ізольованих профілях $c_\mu = m_g c_g / q_0 S$ [6], де m_g – маса повітря, що видувається через щілини, кг/с; c_g – швидкість повітря, що видувається, м/с; q_0 – швидкісний напір основного потоку повітря, кГ/м²; S – площа, що обдувається на профілі, м².

Для обчислення коефіцієнта імпульсу видуву для випадку решітки профілів вхідного направляючого апарату в даному дослідженні використовувалася формула (1) з наступними геометричними параметрами решітки: $\bar{h}_{\text{щ}} = 0,5 / 115 = 0,00455$; $b / t = 115 / 280 = 0,41$.

При дозвукових режимах витікання повітря з щілини на виході з неї $\rho_g = \rho_0$, тому $c_\mu = K (c_g^2 / c_0^2) (b / t) \bar{h}_{\text{щ}} = 0,00185 (c_g^2 / c_0^2)$.

Зміна інтенсивності газодинамічної дії на структуру сліду здійснювалася в експериментальному дослідженні заданням певних значень коефіцієнта імпульсу видуву c_μ . Параметри повітряного потоку в аеродинамічних слідах (p_K^* і c_K) без видуву і з видувом повітря змірювались на різній відстані від задньої кромки профілю по осі сліду вниз по потоку.

За результатами досліджень були побудовані залежності $\bar{\sigma}_K = f(c_\mu)$ [7] і $\alpha = f(c_\mu)$. Ці залежності представлені для різних положень щілини для повітря, що видувається, по хорді лопатки, тобто при $\bar{b}_{\text{щ}} = 60\%$, 70% , 85% на відносній відстані від задньої кромки профілю в долях хорди $\bar{x} = x / b = 1,0$.

Як впливає з розгляду графіка функції $\bar{\sigma}_K = f(c_\mu)$ на рис.4 величини вібронпружень $\bar{\sigma}_K$ суттєво знижуються при збільшенні коефіцієнта імпульсу видуву від $c_\mu \cong 0,0015$ до своїх оптимальних значень $c_{\mu \text{opt}}$ для різних значень $\bar{b}_{\text{щ}}$

(при збільшенні $\bar{b}_{щ}$ від 0,6 до 0,85 ефективність газодинамічного впливу на зміну вібронапружень збільшується).

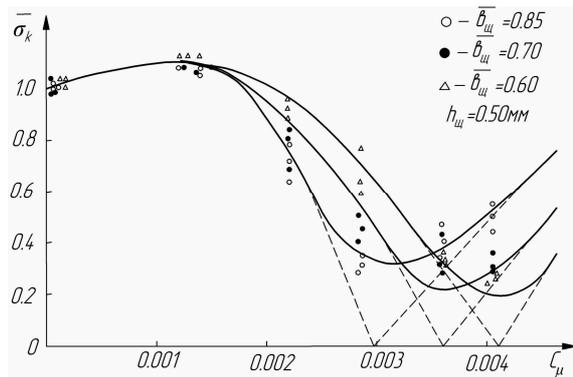


Рис. 4. Залежність рівня вібронапружень від інтенсивності газодинамічного впливу на структуру потоку за елементами статора

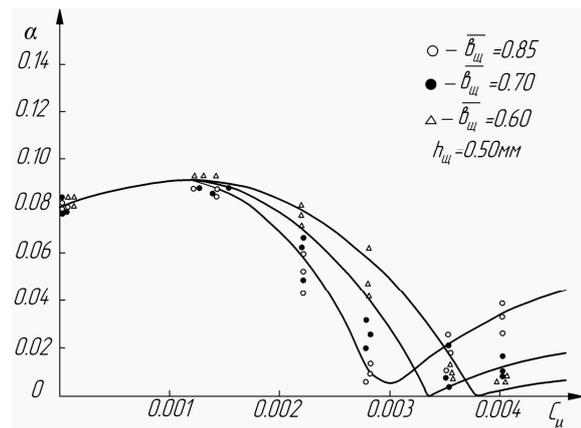


Рис.5 Залежність інтенсивності нерівномірності потоку від інтенсивності газодинамічного впливу на структуру потоку за елементами статора

Більш детальніші дослідження щодо ефективності газодинамічної дії на рівень вібронапружень в лопаткових вінцях компресорів осьових турбомашин проведені в роботі [7]

Проаналізуємо залежність коефіцієнта нерівномірності потоку α від коефіцієнта імпульсу видуву c_μ , що графічно зображена на рис.5. При різних положеннях щілини $\bar{b}_{щ} = 60\%$, 70% , 85% із збільшенням коефіцієнта імпульсу видуву c_μ (збільшенням швидкості повітря, що видувається c_g) інтенсивність аеродинамічного сліду зменшується і при значенні $c_\mu \cong 0,0037$ стає рівною нулю. При подальшому збільшенні $c_\mu > 0,0037$ коефіцієнт нерівномірності потоку α знову збільшується, тобто тут $d\alpha/d c_\mu > 0$ через появу ядра позитивних швидкостей насамперед на осі сліду, а потім і по всій ширині сліду ($c_k > c_0$ в ядрі основного потоку). Зазначимо також, що при малій інтенсивності видуву (до $c_\mu \leq 0,0011-0,0014$) спостерігається зростання інтенсивності сліду, тобто тут $d\alpha/d c_\mu > 0$. Це явище пояснюється особливістю змішування повітря, що витікає з щілини з малою швидкістю, із супутнім потоком значно більшої швидкості.

4. Висновки

Проведені вище теоретико-експериментальні дослідження газодинамічної дії на структуру потоку в аеродинамічних слідах свідчать про те, що даний метод газодинамічного впливу може служити ефективним засобом зменшення і навіть повністю усунення у ряді випадків колової нерівномірності потоку перед компресором. При цьому рівень вібронапружень у лопаткових вінцях робочих коліс осьового компресора $\bar{\sigma}_k$ в залежності від інтенсивності потоку (коефіцієнта імпульсу видуву c_μ), що видувається в примежовий шар поверхонь лопаток, а також інтенсивність аеродинамічного сліду (коефіцієнт нерівномірності потоку α) можуть бути знижені на 90-95%.

Список літератури: 1. Влияние окружной неравномерности потока перед ступенью осевого компрессора на характеристику ступени. – Экспресс информация ВИНТИ Сер. Авиадвигателестроение, 1958. – 148с. 2. *Ластівка І.О.* Оцінка колової нерівномірності потоку в компресорах газотурбінних двигунів [Текст] / І.О. Ластівка // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ», 2011. – №10. – С.130–134. 3. *Терещенко Ю.М.* Вплив інтенсивності управління обтіканням на вібронапруження лопаток компресора газотурбінного двигуна [Текст] / Ю.М. Терещенко, І.О. Ластівка // Вісник Національного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ», 2011. – № 23. – С. 144–151. 4. *Шлихтинг Г.* Теория пограничного слоя [Текст] / Г. Шлихтинг – М.: Наука, 1969. – 485с. 5. *Терещенко Ю.М.* О некоторых способах регулирования осевых компрессоров. [Текст] / Терещенко Ю.М., Туголуков Н.А. // Сборник научных статей. – Издательство КВВАИУ., Вып.1, 1978. 6. *Филиппов Г.В.* Влияние поперечного градиента давления на параметры турбулентного пограничного слоя [Текст] / Г.В. Филиппов, В.Г.Шахов. – ИВУЗ, "Авиационная техника", 1969. – № 3. 7. *Терещенко Ю.М.* Газодинамічні методи зниження рівня вібронапружень в лопаткових вінцях осьових турбодвигунів [Текст] / Ю.М. Терещенко, І.О. Ластівка, І.Ф. Кінащук, Ф.І. Кірчу // Восточно–Европейский журнал передовых технологий // Научный журнал. – Харьков: Технологический центр, 2009. – № 3/7 (39). – С.43–46. 8. *Ластівка І.О.* Розрахунок параметрів аеродинамічного сліду за лопаткою компресорної решітки [Текст] / І.О. Ластівка // Восточно–Европейский журнал передовых технологий // Научный журнал. – Харьков: Технологический центр, 2011. – № 4/7 (52). – С.47–50. 9. *Пешехонов Н.Ф.* Приборы для измерения давления, температуры и направления потока в компресорах [Текст] / Н.Ф. Пешехонов – М.: Оборониздат, 1962. – 184с. 10. *Гинзбург С.И.* Исследование неравномерного по окружности течения перед осевой компрессорной ступенью [Текст] / С.И. Гинзбург, А.А. Суслеников // Сб. «Лопаточные машины и струйные аппараты». – М.: Машиностроение, 1971. 11. *Нечаев Ю.Н.* Теория авиационных двигателей [Текст] / Ю.Н. Нечаев, Р.М. Федоров – М.: Машиностроение, 1977. – 312с. 12. *Преображенский В.П.* Теплотехнические измерения и приборы [Текст] / В.П. Преображенский – М.: Энергия, 1978. – 704с. 13. *Идельчик И.Е.* Справочник по гидравлическим сопротивлениям [Текст] / И.Е. Идельчик – М.: Машиностроение, 1992. — 672 с.

Поступила в редколлегию 01.08.2011

УДК 629.7.036.001

Б.Ш.МАМЕДОВ, канд.техн.наук, доц., ЗНТУ, Запорожье

**ГЛАВА 2. ОСНОВЫ ЕДИНОЙ ТЕОРИИ ДВИЖИТЕЛЕЙ НА
НЕПРЕРЫВНЫХ ПОТОКАХ. ВЫВОД ФОРМУЛЫ ТЯГИ,
ПОЛЕТНОГО (ТЯГОВОГО) КПД, ТЕОРЕМЫ О ПОДЪЕМНОЙ СИЛЕ
ПРОДУВАЕМОГО ПРОФИЛЯ, КАК ДВИЖИТЕЛЯ**

Розглядаються недоліки сучасної теорії повітря-реактивних двигунів, які приводять до заглушення двигунів при зльоті, польоті та посадці, до знижування безпеки польотів.

Ключові слова: продуваний профіль, кінематичний аналіз, тяга продуваного профілю, підйомна сила.

Рассматриваются недостатки современной теории воздушно-реактивных двигателей, приводящие к заглоханию двигателей при взлете, полете, посадке, к снижению безопасности полетов.

Ключевые слова: кинематический анализ, тяга продуваемого профиля, подъемная сила.

Are looked through the drawbacks of modern theory of air-jet engines, which come to the engine stopping while takeoff, cruise and takedown, to the lowering of the fly security

Keywords: blowing profile, kinematical analyse, the thrust of blowing profile, rising force.

Введение, постановка проблемы

Современная теория воздушно-реактивных двигателей (ВРД) делится на теоретическую и экспериментальную части, которые существуют независимо друг от друга, например, продувка решеток профилей. Эта экспериментальная часть современной теории ВРД накопила огромное количество статистических данных для различных решеток профилей, которые к сожалению, не переходят в новое качество – единую теорию движителей на непрерывных потоках. Это объясняется тем, что современные методы исследования ВРД не выходят из русла неточного описания физических процессов в ВРД согласно существующих глубоко ошибочных фундаментальных формул тяги, полетного (тягового) КПД академика Б.С.Стечкина и такой же ошибочной теоремы о подъемной силе продуваемого профиля профессора Н.Е.Жуковского, обоснованная критика которых была приведена в главе 1, в которой был приведен также вывод единых формул тяги, полетного (тягового) КПД движителей на непрерывных потоках.

Ошибочность фундаментальных формул, заложенных в основу современной теории ВРД, привела к проектированию авиационных двигателей с грубыми конструктивными ошибками, приводящими при взлете, полете, посадке к заглоханию двигателей, к снижению безопасности полетов, привела к независимому существованию теоретической и экспериментальной части теории

ВРД, привела к выпуску специалистов из авиационных ВУЗов, которые не представляют даже реального процесса генерирования тяги в ВРД.

Поэтому перед уже созданной единой теорией движителей на непрерывных потоках стояла проблема провести тесную связь между экспериментальной частью современной теории ВРД и единой теорией движителей на непрерывных потоках, основанной на принципиально новых формулах тяги, полетного (тягового) КПД, теореме о подъемной силе продуваемого профиля.

2. Критика теоремы о подъемной силе продуваемого профиля, выведенной профессором Н.Е.Жуковским в 1912г. постановка задания

Как уже отмечалось, основным недостатком существующей теоремы о подъемной силе продуваемого профиля, [1], с.53, является ошибочное распределение эпюры давления газового потока по корытцу продуваемого профиля. Согласно Н.Е.Жуковскому эта эпюра давлений изменяется от нуля на входной кромке до максимума на выходной кромке продуваемого профиля, что противоречит экспериментальным данным, которые показывают, что эпюра давлений газового потока по корытцу продуваемого профиля носит прямо противоположный характер, т.е. максимальное давление расположено в зоне входной кромки и это давление уменьшается по мере приближения к выходной кромке продуваемого профиля, [1], с.68, рис.3.3, [2], с.24, фиг.4, фиг.6.

Поэтому теорема о подъемной силе продуваемого профиля, выведенная профессором Н.Е.Жуковским в 1912 г., не может быть фундаментальной, поскольку нарушает законы механики истечения жидкостей и газов.

Единая теория движителей на непрерывных потоках ставит задачу вывода реальной теоремы о подъемной силе продуваемого профиля, которая объясняет любые физические явления, имеющие место в ВРД, и является фундаментальной для создания единой теории.

3. Вывод формулы тяги, полетного (тягового) КПД, теоремы о подъемной силе продуваемого профиля, как движителя.

3.1. Выбор контрольного контура

Профессор Н.Е.Жуковский разрабатывал установки для продувки решетки профилей. Эти установки постоянно совершенствовались и один из вариантов для продувки плоских решеток представлен в [1] на с.57, рис.2.26.

Согласно экспериментальным данным этой установки постоянная скорость продуваемого газового потока C_1 , рис.2.26, с определенного сечения, которое назовем зоной невозмущенного потока H , начинает увеличиваться по закону движения с нарастающим ускорением с одновременным уменьшением статического давления, рисунок 1, на выходе из продуваемой решетки газовый поток имеет скорость $C_2 > C_1$ и P_c слегка меньше P_H , сечение, где C_2 становится равной C_1 назовем зоной невозмущенного потока H_1 , т.е. это зона, где поток продолжает перемещаться, но уже с постоянной скоростью C_1 .

На рисунке представлено:

а – контрольный контур продуваемого профиля $H-H_1$;

б – кинематический анализ характера изменений осевых скоростей, статических давлений продуваемого газового потока в пределах контрольного контура $H-H_1$;

в – кинематический анализ характера изменений осевых ускорений (вторичных динамических – инерционных сил) в пределах контрольного контура Н-Н₁;

г – кинематический анализ характера изменений первичных движущих сил от изменения статического давления продуваемого газового потока в пределах контрольного контура Н-Н₁.

Таким образом, контрольный контур для вывода формулы тяги, полетного (тягового) КПД, теоремы о подъемной силе продуваемого профиля, как двигателя, ограничен зоной Н-Н₁, где Н – зона невозмущенного потока – начало движения частиц продуваемого газового потока с нарастающим ускорением; Н₁ – зона невозмущенного потока – конец движения частиц продуваемого газового потока с уменьшающимся до нуля ускорением.

При продувке по всей длине корытца продуваемого профиля генерируется зона заторможенного потока В-С, рисунок 1, поз.1, максимальное давление в этой зоне заторможенного потока находится в зоне входной кромки, это давление постепенно уменьшается по мере перемещения газового потока к выходной кромке продуваемого профиля, [1], с.68, рис.3.3, [2], с.24, фиг.4, фиг.6.

Таким образом, по корытцу продуваемого профиля при продувке всегда генерируется зона заторможенного потока, которая регламентирует следующие зоны контрольного контура Н-Н₁, рисунок 1:

Н-В – зона ускоряемого газового потока, в которой градиент статических давлений направлен по потоку;

В-К – зона сжатия газового потока, в которой градиент статических давлений направлен против потока;

К-С – зона ускоряемого газового потока, в которой градиент статических давлений направлен по потоку, или зона К-С – это реактивное сопло, в котором генерируется тяга продуваемого профиля, [2], с.14, [3], с.8;

С-Н₁ – зона реактивной струи, в которой градиент статических давлений направлен по потоку, если $p_c > p_n$ (недорасширенный газовый поток), в которой градиент статических давлений равен нулю, если $p_c = p_n$ (нормально расширенный газовый поток), в которой градиент статических давлений направлен против

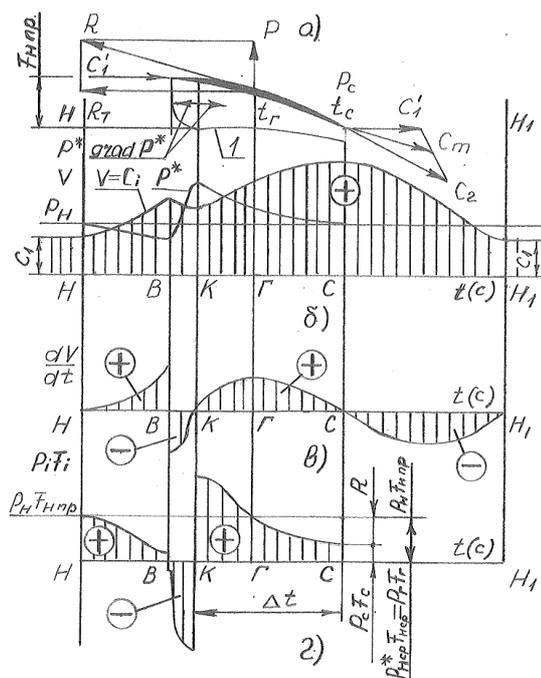


Рис. Кинематический анализ характера изменения осевых скоростей, ускорений (динамических – инерционных сил), первичных движущих сил от изменения статического давления для вывода формул тяги, полетного (тягового) КПД и теоремы о подъемной силе продуваемого профиля, как двигателя

потока, если $P_c < P_n$ (перерасширенный газовый поток), где P_c – статическое давление в выходном сечении С-С реактивного сопла зоны К-С; P_n – давление окружающей среды.

Зоны контрольного контура для продуваемого профиля полностью совпадают с зонами контрольного контура для любого ВРД, поэтому методика вывода единых формул тяги, полетного (тягового) КПД для любого ВРД и продуваемого профиля, как движителя, будет одинаковой, [3], с.8-14.

Необходимо отметить также, что согласно единой теории движителей на непрерывных потоках контрольный контур Н-Н₁ в сечении невозмущенного потока Н-Н всегда начинается с приведенной площади $F_{нпр}$, расход газового потока через которую равен расходу газового потока, прошедшего через движитель. В нашем случае движителем является продуваемый профиль.

3.2. Характеристика внешних сил, действующих на трубку тока в зоне Н-Н₁

К внешним силам, действующим на трубку тока в зоне Н-Н₁, относятся:

1. Первичные движущие силы от изменения статических давлений, $P_i F_i$, где P_i – статическое давление газового потока в i -м сечении газодинамического тракта в пределах контрольного контура Н-Н₁; F_i – площадь i -го сечения газодинамического тракта в пределах контрольного контура Н-Н₁.

2. Вторичные движущие силы от изменения динамических (инерционных) сил, $m_r a_i$, где m_r – массовый секундный расход газового потока через продуваемый профиль, a_i – ускорение газового потока в i -м сечении газодинамического тракта в пределах контрольного контура Н-Н₁.

3. Силы сопротивления $P_c F_c$, где F_c – площадь выходного сечения реактивного сопла К-С продуваемого профиля.

4. Сила тяги R продуваемого профиля.

Силы трения газового потока о поверхность продуваемого профиля не учитываем.

3.3. Кинематический анализ характера изменения осевых скоростей, ускорений (динамических – инерционных сил), первичных движущих сил от изменения статического давления продуваемого потока для вывода формул тяги, полетного (тягового) КПД и теоремы о подъемной силе продуваемого профиля, как движителя

Кинематический анализ, приведенный на рисунке 1, показывает, что с определенного сечения Н-Н, которое называется зоной невозмущенного потока, продуваемый поток, двигавшийся с постоянной скоростью C_1 , [1], с.57, рис.2.26, рисунок 1, начинает ускоряться от сечения Н к сечению В, после которого продуваемый газовый поток начинает сжиматься, статическое давление продуваемого потока увеличивается при одновременном уменьшении осевой скорости. Согласно методу графического дифференцирования положительный $tg\alpha$, относительно характеризующий ускорение газового потока, растет в зоне Н-В, в сечении В $tg\alpha$ резко меняет свое значение на отрицательное, что свидетельствует о наличии в сечении В кинематической зоны жесткого (упругого) удара, которая генерирует ударные волны, распространяющиеся одинаково во всех направлениях. С увеличением скорости продуваемого потока

увеличивается мощность ударных волн, генерируемых в кинематической зоне жесткого (упругого) удара, сечение В. Ударные волны, направленные против потока, тормозят последний, что может привести, при определенной скорости продувки, к запиранию продуваемой решетки, к неустойчивой продувке.

Кинематический анализ показывает, рисунок 1в, что сумма динамических (инерционных) сил в пределах контрольного контура Н-Н₁ всегда равна нулю, это означает, что скорость газового потока, обтекающего продуваемый профиль, никогда не создает тягу.

Кинематический анализ показывает также, что первичные движущие силы $P_i F_i$, от изменения статических давлений в зоне Н-В полностью компенсируются аналогичными силами зоны В-К, рисунок 1г. В зоне реактивной струи С-Н₁ градиент первичных движущих сил от изменения статического давления всегда равен нулю, поскольку согласно закона Бойля-Мариотта в реактивной струе $P_i F_i = \text{const}$, газовый поток в реактивной струе движется только под действием инерционных сил, [2], [3], [4].

Таким образом, нескомпенсированной зоной, в которой генерируется тяга продуваемого профиля, как движителя, является зона ускоряемого потока К-С, которую можно назвать реактивным соплом, тяга, полетный (тяговый) КПД которого рассчитываются как:

$$R = P_{Hcp}^* F_{Hcp} - P_c F_c, \text{ при } v_n = 0, [2], [3], [4] \quad (1)$$

$$R' = P_{Hcp}^{*/'} F_{Hcp} - P_c' F_c, \text{ при } v_n > 0, [2], [3], [4] \quad (2)$$

где $P_{Hcp}^{*/'} = P_{Hcp}^* \pm \Delta P_{Hcp}^*$, $F_{Hcp} = t_1 l$, при $v_n = 0$; $F_c = t l$, при $v_n = 0$; $F_{Hcp} = t_1' l$, при $v_n > 0$; $F_c' = t' l$, при $v_n > 0$, [2], [3];

$$\eta_r = \left(1 - \frac{P_c F_c}{P_{Hcp}^* F_{Hcp}} \right) \cdot 100\%, \text{ при } v_n = 0, [2], [3] \quad (3)$$

$$\eta_n = \left(1 - \frac{P_c' F_c'}{P_{Hcp}^{*/'} F_{Hcp}} \right) \cdot 100\%, \text{ при } v_n > 0, [2], [3] \quad (4)$$

где R – тяга продуваемого профиля при $v_n = 0$; $P_{Hcp}^* = P_r^*$ – статическое давление в среднем сечении Г-Г газодинамического тракта продуваемого профиля в зоне К-С при $v_n = 0$, приведенное к зоне невозмущенного потока Н; F_{Hcp} – площадь газодинамического тракта в среднем сечении Г зоны К-С продуваемого профиля при $v_n = 0$, приведенная к зоне невозмущенного потока Н; t_1 – толщина газодинамического тракта в среднем сечении Г зоны К-С продуваемого профиля при $v_n = 0$; l – длина лопатки продуваемого профиля; $P_{Hcp}^{*/'}$ – средняя, приведенная к зоне невозмущенного потока Н, первичная движущая сила от изменения статического давления в зоне К-С продуваемого профиля при $v_n = 0$; P_c – статическое давление газового потока в выходном сечении С-С газодинамического тракта продуваемого профиля при $v_n = 0$; F_c – площадь газодинамического тракта в выходном сечении С-С газодинамического тракта продуваемого профиля при $v_n = 0$; t – толщина газодинамического тракта в выходном сечении С-С продуваемого профиля при $v_n = 0$; $P_c F_c$ – сила сопротивления статического давления в выходном сечении С-С продуваемого

профиля при $v_n = 0$; R' – тяга продуваемого профиля при $v_n > 0$; $P_{H_{cp}}^{*/'} = P_{\Gamma}^{*/'}$ – статическое давление в среднем сечении Г-Г газодинамического тракта продуваемого профиля в зоне К-С при $v_n > 0$, приведенное к зоне невозмущенного потока Н; $F'_{H_{cp}}$ – площадь газодинамического тракта в среднем сечении Г-Г зоны К-С продуваемого профиля при $v_n > 0$, приведенная к зоне невозмущенного потока Н; t'_1 – толщина газодинамического тракта в среднем сечении Г-Г зоны К-С продуваемого профиля при $v_n > 0$; $P_{H_{cp}}^{*/'} F'_{H_{cp}}$ – средняя, приведенная к зоне невозмущенного потока Н, первичная движущая сила от изменения статического давления в зоне К-С продуваемого профиля при $v_n > 0$; $\pm \Delta P_{H_{cp}}^{*/'}$ – уменьшение или приращение статического давления в среднем сечении Г-Г газодинамического тракта в зоне К-С продуваемого профиля при $v_n > 0$; P'_c – статическое давление в выходном сечении С-С газодинамического тракта продуваемого профиля при $v_n > 0$; F'_c – площадь газодинамического тракта в выходном сечении С-С продуваемого профиля при $v_n > 0$; t' – толщина газодинамического тракта в выходном сечении С-С продуваемого профиля при $v_n > 0$; $P'_c F'_c$ – сила сопротивления статического давления в выходном сечении С-С газодинамического тракта зоны К-С продуваемого профиля при $v_n > 0$; η_n – тяговый КПД продуваемого профиля при $v_n = 0$; η_n – полетный (тяговый) КПД продуваемого профиля при $v_n > 0$.

Вектор тяги продуваемого профиля \bar{R} всегда направлен противоположно вектору \bar{C}_m средней скорости газового потока, обтекающего продуваемый профиль, рисунок 1, [2], с.24, фиг.6, при этом вектор тяги \bar{R} наклонен к вектору \bar{C}_1 под углом α , что дает возможность вектору тяги \bar{R} раскладываться на осевую составляющую тяги \bar{R}_T и подъемную силу продуваемого профиля P , которая равна:

$$P = R \cdot \sin \alpha \quad (5)$$

$$P = (P_{H_{cp}}^* F_{H_{cp}} - P_c F_c) \cdot \sin \alpha, \text{ при } v_n = 0, [2], \text{ с.15,} \quad (6)$$

$$P' = (P_{H_{cp}}^{*/'} F'_{H_{cp}} - P'_c F'_c) \cdot \sin \alpha', \text{ при } v_n > 0, [2], \text{ с.15,} \quad (7)$$

Как видно из рисунка 1 КПД продуваемого профиля зависит также от угла α , чем меньше α , тем выше КПД, [2], с.24, фиг.6б.

Таким образом, подъемную силу продуваемого профиля необходимо рассматривать только как функцию от тяги, генерируемой продуваемым профилем, и угла α , а теорему о подъемной силе продуваемого профиля можно сформулировать в следующем виде: подъемная сила продуваемого профиля, как движителя, равна произведению тяги, генерируемой продуваемым профилем, на $\sin \alpha$, где α – угол между вектором тяги \bar{R} и направлением вектора скорости C_1 на входе в продуваемый профиль, [1], с.57, рис.2.26, [2], с.24, фиг.6б.

3.4. Применение уравнения Эйлера, как контрольного варианта, для вывода формулы тяги продуваемого профиля, как движителя

Для вывода формулы тяги продуваемого профиля с помощью уравнения Эйлера необходимо обе части этого уравнения разделить на Δt с целью перехода

на размерность кГ или Н, после чего уравнение Эйлера преобразуется во второй закон И.Ньютона, [2], с.15-16:

$$m_r \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t} = m_r \cdot a = \sum P_i, \quad (8)$$

где m_r – секундный массовый расход газового потока через продуваемый профиль, площадь сечения этого потока в зоне невозмущенного потока Н, рисунок 1, регламентируется площадью $F_{нр}$, а в зоне заторможенного потока В-С регламентируется площадью газодинамического тракта; ΔV – разница осевых скоростей газового потока на выходе, v_2 , из трубки тока в зоне К-С и на входе, v_1 , в эту же трубку тока; Δt – время импульса внешних сил, действующих на трубку тока в зоне К-С, или время перемещения потока от сечения К до сечения С; $\frac{\Delta V}{\Delta t} = a$ – изменение ускорения продуваемого газового потока в зоне К-С; $m_r \cdot a$ – изменение силы инерции потока в зоне К-С; $\sum P_i$ – сумма всех остальных внешних сил, действующих на трубку тока в зоне К-С, включая силу тяги R продуваемого профиля, реакции отсоединенных потоков со стороны первичных движущих сил от изменения статического давления, вторичных динамических (инерционных) сил, действующих слева на сечение К от зоны Н-К и справа на сечение С от зоны С-Н₁.

В этом случае уравнение Эйлера (8) читается только так:

Изменение силы инерции продуваемого газового потока $m_r \cdot a$, которая является одной из внешних сил, действующих на трубку тока в зоне К-С, всегда равняется сумме всех остальных внешних сил, включая силу тяги R продуваемого профиля, а также реакции отсоединенных потоков от первичных движущих сил от изменения статического давления, вторичных динамических (инерционных) сил, действующих на сечение К слева, от зоны Н-К и на сечение С справа, от зоны С-Н₁, [2], с.15-16.

Запишем уравнение Эйлера (8) в векторной форме:

$$\overline{m_r a} = \overline{P_{ун1}} + \overline{P_{ун2}} + \overline{P_{нр}^* F_{нр}} + \overline{P_c F_c} + \overline{R} \quad (9)$$

где $P_{ун1}$ – реакция отсоединенного потока зоны Н-К от динамических (инерционных) сил, которая действует на сечение К слева; $P_{ун2}$ – реакция отсоединенного потока зоны С-Н₁ от динамических (инерционных) сил, которая действует на сечение С справа; \overline{R} – тяга продуваемого профиля.

Необходимо отметить, что работа центробежных сил, которые генерируются при перемещении продуваемого потока по криволинейной поверхности корытца продуваемого профиля, согласно уравнения Бернулли, полностью затрачивается на дополнительное сжатие потока и изменение его кинетической энергии, принимая, таким образом, активное участие в процессе генерирования тяги. В уравнении Эйлера эти силы не учитываются, поскольку они компенсируются равным и противоположно направленным давлением потока.

Реакции отсоединенных потоков в зоне Н-К и С-Н₁, которые действуют на сечение К, С со стороны первичных движущих сил от изменения статического давления, всегда равняются нулю, поэтому уравнение Эйлера (9) можно записать как:

$$\overline{P_{\text{ин1}}} + \overline{m_{\Gamma}\alpha} + \overline{P_{\text{ин2}}} = \overline{R} + \overline{P_{\text{нср}}^* F_{\text{нср}}} + \overline{P_{\text{с}}F_{\text{с}}} \quad (10)$$

Левая часть этого уравнения является суммой динамических (инерционных) сил в пределах контрольного контура Н-Н₁, которая всегда равняется нулю, тогда в модульной форме:

$$0 = -R + P_{\text{нср}}^* F_{\text{нср}} - P_{\text{с}}F_{\text{с}}, \quad (11)$$

$$\text{откуда } R = P_{\text{нср}}^* F_{\text{нср}} - P_{\text{с}}F_{\text{с}}, \text{ при } V_{\text{п}} = 0, \quad (1)$$

$$R' = P_{\text{нср}}^{*'} F_{\text{нср}}' - P_{\text{с}}'F_{\text{с}}', \text{ при } V_{\text{п}} > 0. \quad (2)$$

Таким образом, продуваемый профиль, как движитель на непрерывных потоках, генерирует тягу, полетный (тяговый) КПД, которые рассчитываются по единым формулам тяги, полетного (тягового) КПД для всех типов движителей на непрерывных потоках, [2], [3], [4].

Согласно выведенной теореме о подъемной силе продуваемого профиля установлено, что подъемную силу продуваемого профиля всегда нужно рассчитывать как функцию от тяги, генерируемой продуваемым профилем, установлено, что КПД продуваемого профиля дополнительно зависит от угла α , который образуется между вектором тяги, R , и направлением скорости продуваемого потока, C_1 , установлено также, что все продуваемые профили типа лопастей гребных и воздушных винтов, профилей крыльев самолётов, птиц и др. относятся к движителям прямой реакции, тяга которых должна измеряться только в кГ или Н.

4. Общие выводы, перспективы дальнейших разработок

Содержание данной статьи открывает широкие перспективы прежде всего её практического применения, например, как увеличить тягу воздушных винтов путем обеспечения угла $\alpha=0$, тоже касается и гребных винтов, какие воздушные винты, гребные винты необходимо использовать в этом случае, как устранить кинематическую зону жёсткого (упругого) удара в сечении В, какие конструкции воздушно-реактивных двигателей, воздушных и гребных винтов необходимо применить в этом случае и т.д.

Таким образом, выведенные формулы тяги, полётного (тягового) КПД, теорема о подъемной силе продуваемого профиля, как движителя, являются основой единой теории движителей на непрерывных потоках, открывающей широкие перспективы технического прогресса для любых типов движителей на непрерывных потоках, основанные на полном устранении кинематической зоны жёсткого (упругого) удара в сечении В, приводящей к заглоханию двигателей при взлёте, полёте, посадке, поэтому очередная статья будет касаться причин заглохания воздушно-реактивных двигателей при взлёте, полёте, посадке.

Список литературы: 1. *Казанджан П.К.* Теория авиационных двигателей / П.К. Казанджан, Н.Д. Тихонов, А.К.Янко / Москва: Машиностроение, 1983,—223с.2. Патент 35561, Украина, МПК В63Н 1/14, В63Н 1/28, В63Н 5/00. Судновый двигуно-рушійний комплекс / *Б.Ш.Мамедов*, —№U200805116, заявл. 21.04.2008; опубл. 25.09.2008, Бюл.№18, —26с.3. Патент 86788, Украина, МПК F02K 1/00, F02K 3/00, F02C 7/04. Турбореактивный двоконтурный двигун *Б.Ш.Мамедов*, —№a200607941, заявл.14.07.2006, опубл. 25.05.2009, Бюл.№10, —22с.4. Патент 26883, Украина, МПК₆ В64С 11/00, В64С 27/00, В64D 35/00, F04К 3/00. Турбогвинтовентиляторный двигун / *Б.Ш.Мамедов*, — №U200705886, заявл. 29.05.2007, опубл. 10.10.2007, Бюл.№16, —22с.

Поступила в редколлегию 05.06.2011

СОДЕРЖАНИЕ

А. Ю. Бахарева Газообразные выбросы метана – их источники и эколого-токсикологическая опасность	3
А.Г.Кириченко, Ю.П.Насекан, Н.Ф.Колесник Влияние гранулометрического состава красного шлама на кинетику науглероживания	7
А.М.Касимов, А. А. Ковалев, И.Н.Грицина К вопросу кристаллообразования в металлсодержащих растворах	12
Н.В. Внукова, О.М. Ковальова, Г.М. Желновач Використання водню як палива для двигунів внутрішнього згорання і ефективність його застосування	24
Л.Н. Михайлова, А.Н. Мороз Физиологические особенности мастита свиней и методы его лечения	31
О.В. Фомін, О.В. Бурлуцький Сучасні підходи та методи використання конструкційних резервів зниження матеріалоемності кузовів вантажних вагонів	35
А.А.Дудников, А.И.Беловод, В.В. Дудник, А.В. Канивец, А.А Келемеш Вибрационные технологии упрочнения деталей	39
Ю.А.Быков, В.И.Гнесин Численное моделирование термоупругих колебаний лопаток турбомашин	43
И.А. Дудников Анализ технологических методов улучшения качества поверхностных слоёв деталей	47
І.А.Кравець, А.П. Андрієвський, М.О. Миколенко, І.П. Мусієнко Спосіб збільшення експлуатаційного ресурсу агрегатів транспортних засобів	53
М.В.Пилавов, А.А.Коваленко, Д.А.Капустин, К.Н.Андрійчук Течение вязкопластичных жидкостей в трубопроводах систем гидротранспорта	60

В. И. Мещеряков, В. П. Зайков, А.А.Гнатовская	64
Проектирование теплонагруженных систем с восстановлением	
В.В. Козак, М.І. Данько, Є.С. Альошинський	70
Аналіз ефективності застосування принципів інтероперабельності при реалізації програми перерозподілу вантажних поїздопотоків у межах міжнародних транспортних коридорів України	
О.О. Скопа	77
Інструментальні засоби статистичного тестування криптографічних перетворень	
Н.О.Ризун	83
Теоретические основы построения научно-инновационного многоуровневого комплекса интенсификации учебного процесса в вузе (аспект формализации подсистем)	
А. В.Персиков, А. С. Еременко	101
Система оценивания эффективности применения криптографической защиты трафика NGN	
Наорс И. Анад, Я.Т. Хусейн	108
Совершенствование механизмов случайного множественного доступа в системах беспроводной связи	
П.П. Воробийенко, В.И. Тихонов, О.В. Голубова	115
Принципы динамической маршрутизации цифровых потоков по технологии UA-ITТ	
В.И. Чимшир	123
Кластерный анализ как метод содержательного сравнения схожести проектов	
И.А. Ачкасов, Т.А. Пушкарь	129
Модели инновационной платформы энергосберегающих технологий в жилищно – коммунальном хозяйстве	
І.О. Ластівка	137
Теоретичні і експериментальні дослідження газодинамічного впливу на аеродинамічні сліди за лопатками компресорних решіток	
Б.Ш.Мамедов	146
Глава 2. основы единой теории движителей на непрерывных потоках. вывод формулы тяги, полетного (тягового) КПД, теоремы о подъемной силе продуваемого профиля, как движителя	

Наукове видання

**ВІСНИК НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ "ХПІ"**

Збірник наукових праць

Тематичний випуск

"Нові рішення в сучасних технологіях"

Випуск №33

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. №133-11

Підписано до друку 30.09.2011. 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. №33. 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