

## ИТЭ №4, 2012

*К 85-ти летию КП «ХКБМ им. А. А. Морозова»*

*Борисюк М. Д.*

Основные этапы создания бронетанковой техники в Украине (1990-2011 годы) 3

### **ЕНЕРГЕТИКА ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

*Гринь Г. И., Пономарёв В. А., Созонтов В. И., Казаков В. В.*

Кинетика восстановления оксида азота (IV) в технологии утилизации систем на основе концентрированной  $\text{HNO}_3$  7

*Маляренко В. А., Шубенко А. Л., Сенецкий А. В., Темнохуд И. А.*

Потенциал интеграции когенерационных систем в малую энергетику Украины 11

*Голуб Н. Б., Воевода Д. В.*

Використання водоростей для одержання енергоносіїв (утилізація  $\text{CO}_2$ ) 18

### **МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРОМИСЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ**

*Бибик Д. В.*

Уточненная математическая модель потерь в радиальной гидрообъемной передаче с шариковыми поршнями 22

*Возгрин Ю. В., Герасименко В. И., Золотуха В. Н., Кузьминский В. А., Крот С. Г.*

Мощностные характеристики и показатели качества силовых установок бронетранспортеров, разработанных в КП ХКБМ 28

*Григоров А. Б.*

Идентификация класса вязкости моторных масел по фракционному составу 35

*Михайлов В. В.*

Исследования системы очистки воздуха объектов бронированной техники на пыли различного состава 39

*Моргунов В. В.*

Численное моделирование электронно-лучевой очистки дымовых газов. Система  $\text{N}_2 - \text{O}_2 - \text{NO}$  43

*Огурцов А. Н., Близнюк О. Н.*

Кинетическое моделирование разложения оксида азота (I) в технологиях очистки хвостовых газов и стимулированной диссоциации биополимеров ДНК 48

*Слюсаренко Ю. А.*

Математическая модель вращения коленчатого вала дизельного двигателя для моделирования динамических процессов криволинейного движения военных гусеничных машин 54

*Смоляков В. А., Муцинский Ю. М., Нефёдов А. В., Гулевский Ю. В., Карпов Д. А.*

Разработка и внедрение тренажерных качающихся платформ в КП ХКБМ им. А. А. Морозова 61

*Хавин Г. Л.*

Моделирование механизма процесса резания композиционных материалов 64

<i>Анико О. Б., Хайков В. Л.</i>	
Метод рентгеновской компьютерной томографической плотнометрии взрывчатых веществ артиллерийских боеприпасов	68

## **ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОМИСЛОВОСТІ**

<i>Бондарь А. И., Вакуленко В. В., Зарянов В. А., Ковалев М. С., Чучмарь И. Д.</i>	
Оснащение основных танков вспомогательной силовой установкой	76
<i>Стримовский С. В.</i>	
Микропроцессорные системы автоматического управления гидродинамическими трансмиссиями легкобронированных колесных военных машин	80
<i>Толстолицкий В. А., Стримовский С. В.</i>	
Выбор рациональных характеристик закона управления, реализованного в комплексной системе управления движением танка «Оплот»	88
<i>Товажнянский Л. Л., Демирский А. В., Хавин Г. Л.</i>	
К определению величины загрязнения пластинчатых подогревателей сахарной промышленности	99
<i>Товажнянский Л. Л., Перцев Л. П., Данилов Ю. Б., Морозов А. Е.</i>	
Исследование работы нового контактного парогенератора для утилизации тепла отходящих газов	104
<i>Илюнин О. О., Перевертайленко А. Ю., Шамраев А. А., Селяков А. М.</i>	
Интеллектуальное управление селективным травлением полосового проката	113

## **СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТА ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ**

<i>Веретенников А. И.</i>	
Развитие украинской бронетехники за последние 20 лет (1992–2011 г.г.)	117
<i>Волченко Ю. И., Ковалив В. И., Малахов В. А.</i>	
Анализ основных тенденций на рынке бронетехники на основе экспонатов выставки EUROSATORY 2012	130
<i>Ковалив В. И., Малахов В. А.</i>	
Анализ динамики мирового рынка вооружений	139
<i>Салиев Э. И., Каленик И. Н.</i>	
Современное состояние системы водоснабжения и канализации, качество питьевой воды в Украине, проблемы и пути их решения	147
<i>Быканова В. В., Козуб П. А., Булавин В. И., Козуб С. Н.</i>	
Технологические аспекты применения фотокатализаторов в производстве (обзор)	151
<i>Сторінка редколегії</i>	157

Борисюк М.Д.  
Генеральный конструктор по созданию бронетанковой техники и артиллерийских систем  
с 1990 г. по 2011 г.,  
Герой Украины, Лауреат Ленинской и 2-х Государственных премий Украины в области науки и техники,  
доктор технических наук, профессор, член-корреспондент НАН Украины

### **ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ СОЗДАНИЯ БРОНЕТАНКОВОЙ ТЕХНИКИ В УКРАИНЕ (1990-2011 ГОДЫ)**

За 85 лет конструкторами, научными и инженерно-техническими работниками, технологами и рабочими отрасли танкостроения создано более 10-и новых образцов танков и десятки других боевых бронированных машин на их базе. Причем танки, созданные в Харькове, такие как Т-34, Т-64 и Т-80УД до распада Союза всегда составляли основу танковых войск Советской Армии.

По указанным танкам, их роли в обеспечении победы в Великой отечественной войне, в поддержании паритета, а, следовательно, и мира на земле написано много в технической и художественной литературе предыдущих лет.

Поэтому я коротко остановлюсь на нашем времени, времени независимого развития танкостроения в Украине.

Мне посчастливилось на протяжении 21-го года с мая 1990 года возглавлять коллектив ХКБМ и танкостроение Украины.

Причем 90-ые годы для оборонной промышленности Украины были не стандартными и очень сложными.

В составе Советского Союза, в котором действовали постоянно Государственный заказ на оборонную продукцию и 100 % финансирование опытно-конструкторских работ в этой отрасли мы только успели в 1991 году защитить эскизный проект перспективного танка, т.е. выиграть тендер по единому перспективному танку у Уральского и Ленинградского конструкторских бюро. И на этом с 1992 года все Госзаказы и финансирование прекратилось.

И оборонка Украины, а следовательно и бронетанковая отрасль должны были выживать, кто как может.

Но мы, как помнят наши ветераны, не растерялись. Мы начали искать контакты, контракты, оплачиваемую работу по всему миру, причем по всей номенклатуре бронетанковой техники Советского Союза. Большую роль в этом сыграли знания и опыт, полученные мною в предыдущие годы.

Танко-техническое училище, трехгодичная служба в 1-ой танковой армии, инженерный факультет Академии БТВ и 26-и летний опыт работы в бронетанковой промышленности Урала, позволили мне хорошо и глубоко освоить всю номенклатуру бронетанковой техники Советского Союза и способность промышленности ее производить в этих сложных условиях распада Союза.

Вначале мы вынуждены были выполнять любые финансируемые работы, чтобы выжить в этих условиях.

Наши танки Т-64 и Т-80УД были только в странах СНГ и в основном в России и в Украине. В страны Варшавского договора и в дальнее зарубежье поставлялись и там производились танки Т-55, Т-62 и Т-72. Причем последних большое количество.

Поэтому мы разработали несколько вариантов модернизации танков Т-55, Т-62 и Т-72, заключили контракты и работали с Францией, Чехословакией, Польшей, Ираном, Сирией, Пакистаном и др. странами. В начале 90-х годов еще не было запрета на прямую (без посредников) работу с другими странами. И благодаря этому мы обеспечили систематическую выплату заработной платы, в основном сохранили коллектив и в тесном контакте с Политехническим институтом начали работать над его омоложением.

Для своей Армии мы создали вариант модернизации танков Т-64Б и Т-64БВ до уровня БМ «Булат», который производится предприятиями отрасли во главе с заводом им. Малышева до настоящего времени. Основные характеристики этого танка подняты до уровня характеристик танка Т-80УД.

Спасая коллектив ХКБМ, завода им Малышева и другие коллективы предприятий-смежников, работая по модернизации, мы никогда не забывали о создании нового танка путем эволюционного совершенствования и развития танка Т-80УД. Одновременно настойчиво искали этому танку инозаказчика, чтобы более полно загрузить наши заводы производством этих машин.

Поэтому в августе 1993 года мы может быть и рискованно, но смело бригадой в составе 8-и человек с 2-я танками Т-80УД вылетели в Пакистан для демонстрации их руководству этой страны и испытаний в пустынных условиях с температурой до +55 °С с пыльными бурями.

В июле 1995 года испытания были повторены еще раз, но уже с экипажами Пакистана.

В результате в 1996 году мы заключили контракт на поставку 320 танков Т-80УД в эту страну, обеспечив загрузку предприятий нашей бронетанковой отрасли на три года.

В составе Советского Союза для производства танков Т-80УД на заводе Малышева около 60 % комплектующих изделий, включая пушку, комплекс управления огнем, литую башню и т.д., поставлялось предприятиями Российской Федерации.

После распада Союза, я сразу понял, что для России в области танкостроения мы стали конкурентами и чтобы выстоять в этой конкурентной борьбе необходимо было организовать производство всех комплектующих изделий для танка Т-80УД на наших предприятиях других отраслей оборонно-промышленного комплекса. И эту работу мы развернули, начиная с 1993 года и уже к 1997 году, т.е. к началу выполнения контракта в основном завершили.

Организовав производство танка Т-80УД по замкнутому в Украине циклу, мы исключили попытки некоторых политиков из России сорвать выполнение нашего контракта с Пакистаном.

Полученные по контракту средства частично использовали и для дальнейшего совершенствования танка Т-80УД и создания новых конструктивных решений по ряду направлений танкостроения.

В результате уже в начале 2000-х годов был создан танк Т-84, который прошел государственные испытания и был принят на вооружение Украинской Армии. По заказу нашей Армии было изготовлено и поставлено 10 образцов. Танк Т-84 имел 1200 сильный двигатель 6ТД-2, сварно-катаную башню, автоматизированную систему управления трансмиссией (СУАТ) и ряд других новшеств, значительно повышающих основные боевые характеристики танка.

В дальнейшем работы над повышением характеристик нашего танка в ХКБМ никогда не останавливались.

Мы участвовали в танковых тендерах, проводимых в различных странах, тщательно анализировали и сравнивали характеристики нашего танка с характеристиками танков других танкопроизводящих стран, участвовавших в тендерах. Параллельно, при активном участии наших соисполнителей, и прежде всего таких, как НПК «Фотоприбор», КБ «Луч», конструкторского бюро «Микротек», ХКБД и других предприятий отрасли ХКБМ проводило научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, в результате которых были созданы новые комплексы с внедрением в них ряда оригинальных решений.

В результате в 2005 году уже по заданию Министерства обороны Украины ХКБМ была организована опытно-конструкторская работа по созданию танка «Оплот».

В 2009 году эта работа была успешно завершена, танк успешно прошел Государственные испытания и принят на вооружение Украинской Армии.

Предприятия бронетанковой отрасли во главе с заводом Малышева получили заказ на изготовление 10-и машин от Министерства обороны Украины.

Одновременно мы демонстрировали этот танк на всех проводившихся в эти годы выставках вооружения и военной техники, а также военным делегациям, посещающим Украину. В результате заключен контракт на их поставку инозаказчику.

По своим боевым характеристикам танк «Оплот» является одним из лучших образцов мирового танкостроения.

Танкопроизводящие западные страны: США, Англия, Германия для того, чтобы поддержать на высоком уровне «Огонь» и «Защиту» своих танков вынуждены увеличивать их массу до 60-ти и более тонн. Последняя модификация «Абрамса» весит 64 тонны.

Чтобы при такой массе обеспечить высокие мобильные характеристики и максимальную скорость до 70 км/час потребовался двигатель мощностью 1500 л.сил, что в свою очередь привело к росту бронированного объема и массы. Все это, в свою очередь, потребовало особых условий при эксплуатации и боевом использовании таких танков, высоких требований к мостам, переправам и коммуникациям, транспортной авиации и т.п., которые в большинстве стран этим требованиям не соответствуют.

Поэтому не случайно в последнее время во многих странах мира начаты работы по созданию танка массой около 35 тонн.

У нашего танка «Оплот» при массе до 51 тонны, сохранен низкий силуэт, трехчленный экипаж, но основные боевые характеристики «Огонь», «Защита» и «Мобильность» увеличены до уровня лучших мировых образцов, а по некоторым параметрам и выше. Высокие характеристики по огню получены за счет внедрения:

- управляемой ракеты «Комбат» тандемного действия;
- многофункционального панорамического прицела командира;
- тепловизионных каналов у командира и наводчика;
- полного дублирования командиром функций наводчика;
- автомата заряжания.

Дальность действительной стрельбы обеспечивается днем и ночью до 3,5 км, а управляемой ракетой до 5 км.

За счет внедрения тандемной защиты корпуса, башни и бортовых экранов танк практически стал непробиваем снарядами всех калибров, включая 120 и 125 мм.

Высокая мобильность с максимальной скоростью до 70 км/час обеспечена внедрением электронно-гидравлического комплекса управления движением танка (КСУД) и установкой двигателя мощностью 1200 л.с.

С постоянным развитием общей цивилизации, ростом сети автомобильных дорог и других коммуникаций в Сухопутных войсках Армий всех стран постепенно меняется соотношение гусеничной (в основном танков) и колесной (в основном бронетранспортеров) бронированной техники в пользу последней. Такая тенденция особенно быстро проявляется в странах при создании сил быстрого реагирования. Украина на вооружении также имеет большое количество бронетранспортеров. В составе Советского Союза все они разрабатывались Российскими конструкторскими бюро и производились на Российских заводах (в основном в Арзамасе).

Проанализировав все вышесказанное, мы приняли решение о необходимости проведения опытно-конструкторских работ по созданию собственных бронетранспортеров. Сначала мы разрабатывали варианты модернизации Российских образцов БТР-60, БТР-70, БРДМ, БТР-80 и других, а затем занялись созданием новых. Для этого нам потребовалось изучить колесную легкобронированную технику многих стран, прогрессирующих по этой технике, проработать ряд оригинальных конструктивных решений, и в результате на научно-техническом совете ХКБМ было принято решение об изготовлении опытных образцов бронетранспортеров:

- малогабаритного «Дозор-Б»;
- полноразмерного БТР-4Е.

Провели испытание, постоянно демонстрировали их иностранным военным делегациям и в результате в 2010 году через внешнеторговую фирму «Прогресс» заключили большой контракт на поставку БТР-4Е инозаказчику.

По принципиальным компоновочным решениям получились хорошие конкурентоспособные машины многоцелевого назначения.

В целом, подводя итоги вышесказанного, в настоящее время мы имеем конкурентоспособную бронетанковую технику с высокими характеристиками, о которой можно писать и новые научные решения использовать при написании и защите диссертаций.

С другой стороны есть и направления, по которым необходимо продолжать работать над совершенствованием этой техники, над повышением ее характеристик.

По танку «Оплот» прежде всего, необходимо:

- усовершенствовать характеристики вооружения и боеприпасов, включая и упрочнение канала ствола;
- повысить и оптимизировать защиту танка с верхней полусферы, особенно от огня вертолетов противника;
- проработать возможность увеличения запаса мощности двигателя на 150–200 л.с. без увеличения габаритных размеров МТО.

По бронетранспортеру БТР-4Е:

- углубленно исследовать работу вооружения в различных условиях и провести мероприятия по повышению надежности, исключению задержек в работе;

- провести мероприятия по снижению вибровозмущений от 2-х тактного двигателя и исключения их негативного влияния на трубопроводы всех систем МТО;
- повысить пусковые свойства двигателя;
- проработать установку на бронетранспортер автономного питания для использования его при дежурстве на блок-постах;
- совершенствовать технологию и организацию серийного производства.

В заключение мне бы очень хотелось, чтобы предприятия отрасли танкостроения во главе с ХКБМ в новых условиях реструктуризации сохранили и приумножили наши с вами достижения в области танкостроения в Украине и оставались конкурентоспособными в мире.

Еще раз поздравляю вас с 85-летием, желаю Вам, всему коллективу ХКБМ, нашим ветеранам и пенсионерам крепкого здоровья.

Спасибо за внимание.

Борисюк М.Д.

### **ОСНОВНІ ЕТАПИ СТВОРЕННЯ БРОНЕТАНКОВОЇ ТЕХНІКИ В УКРАЇНІ (1990-2011 РОКИ)**

Показано розвиток танкобудівної галузі України за період незалежності України і роль КП ХКБМ у створенні сучасних зразків танків та легко броньованої техніки.

Borisuk M.

### **MAIN STAGES OF ARMORED VEHICLES IN UKRAINE (1990–2011 YEARS)**

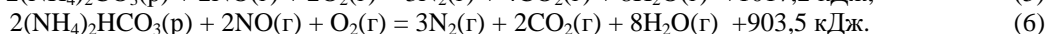
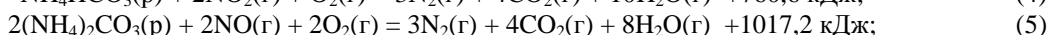
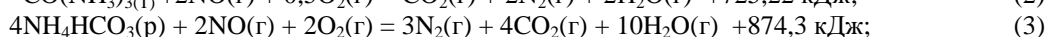
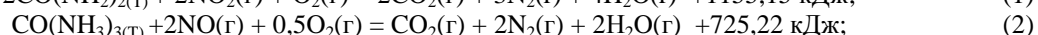
This report shows the development of the Ukrainian tank-building industry and the role of KMDB in making the modern models of tanks and lightly armored vehicles.

УДК 661.56:661.984

Гринь Г.И., Пономарёв В.А., Созонтов В.И., Казаков В.В.

**КИНЕТИКА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДА АЗОТА (IV) В ТЕХНОЛОГИИ УТИЛИЗАЦИИ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ КОНЦЕНТРИРОВАННОЙ HNO<sub>3</sub>**

Процесс утилизации систем на основе концентрированной нитратной кислоты осложнен присутствием ингибиторов коррозии, например HF. Наиболее рациональным способом решения проблемы является отдувка последнего атмосферным воздухом, однако, при этом происходит также выделение оксида азота (IV), который необходимо восстановить до безвредных соединений. Анализ литературных данных и теоретические исследования показали, что восстановление оксида азота целесообразно осуществлять с помощью углеаммонийных солей и карбамида. На основании литературных данных можно предположить, что оксиды азота взаимодействуют с карбамидом и углеаммонийными солями по уравнениям:



Изучение кинетики процесса необходимо для определения технологических параметров и для расчета реактора. Полученные результаты экспериментов представлены в табл. 1, 2 и на рис. 1.

Таблица 1 – Влияние технологических параметров на степень восстановления (%) оксида азота (IV)

Температура, К	Время взаимодействия реагентов, мин										τ <sub>пв</sub> , МИН
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Восстановление с помощью NH <sub>4</sub> HCO <sub>3</sub>											
293	18,3	29,8	39,6	48,5	56,7	64,6	71,9	78,9	85,8	92,4	11,2
313	24,7	40,2	53,5	65,5	76,6	87,1	97,1	–	–	–	7,3
333	33,4	54,3	72,3	88,5	–	–	–	–	–	–	4,8
353	45,1	73,3	97,7	–	–	–	–	–	–	–	3,1
373	60,9	99,1	–	–	–	–	–	–	–	–	2,62
Восстановление с помощью (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>											
293	21,1	33,4	43,8	53,0	61,4	69,4	76,9	84,1	90,9	97,5	10,9
313	28,5	45,2	59,2	71,7	83,1	93,9	–	–	–	–	6,6
333	38,6	61,1	80,1	97,0	–	–	–	–	–	–	4,2
353	52,1	82,7	–	–	–	–	–	–	–	–	2,7
373	70,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,7
Восстановление с помощью CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>											
293	23,9	37,1	48,0	57,6	66,3	74,4	82,2	89,3	96,2	–	9,6
313	32,4	50,3	65,0	78,0	89,8	100	–	–	–	–	6,0
333	43,9	68,1	88,1	–	–	–	–	–	–	–	3,7
353	59,5	92,3	92,3	–	–	–	–	–	–	–	2,3
373	80,6	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,4

Таблица 2 – Зависимость времени (мин), необходимого для полного восстановления оксида азота (IV), от температуры при использовании различных реагентов

Температура, К				
293	313	333	353	373
Восстановление с помощью NH <sub>4</sub> HCO <sub>3</sub>				
11,2	7,3	4,8	3,1	2,0
Восстановление с помощью (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>				
10,4	6,6	4,2	2,7	1,7
Восстановление с помощью CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>				
9,6	6,0	3,7	2,3	1,4

Степень восстановления оксида азота (IV) рассчитывали по уравнению:

$$\alpha = \frac{C_n - C_k}{C_n} \times 100, \tag{7}$$

где  $\alpha$  – степень восстановления оксида азота, %;  $C_n$  и  $C_k$  – начальная и конечная массовые концентрации оксида азота в растворе, %.

Из табл. 1 видно, что при увеличении времени взаимодействия реагентов степень восстановления оксида азота (IV) повышается. Заметное влияние при этом оказывает применяемый восстановитель. При взаимодействии оксида азота (IV) с бикарбонатом аммония в течение 2 мин. и температуре 293 К степень восстановления NO<sub>2</sub> (N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) составляет 29,8 %, а через 10 минут она достигает 92,4 %. В то же время, при взаимодействии с карбонатом аммония в течение 2 минут степень восстановления оксида азота (IV) при температуре 293 К равна 33,4 %, а через 10 минут – 97,5 %. Применение карбамида также приводит к увеличению к степени восстановления NO<sub>2</sub> (N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>), при взаимодействии с карбамидом в течение 2 минут степень восстановления оксида азота (IV) при температуре 293 К равна 37,1 %, а через 9,6 минут – 100 %.

Повышение температуры также ведёт к росту степени восстановления оксида азота (IV). При восстановлении бикарбонатом аммония в течение 1 минуты и температуре 293 К степень восстановления оксида азота (IV) составляет 18,3 %, при температуре 333 К – 33,4 %, а при температуре 373 К – 60,9 %. Карбонат аммония восстанавливает NO<sub>2</sub> (N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) при тех же условиях соответственно на 21,1 %, 38,6 % и 70,5 %. Значения степени восстановления оксида азота (IV) при использовании карбамида и аналогичных параметров процесса соответственно равны: 23,9; 43,9; и 80,6 %.

На рис. 1 представлена зависимость времени, необходимого для полного восстановления оксида азота (IV) различными реагентами, от температуры. Полное восстановление NO<sub>2</sub> (N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) бикарбонатом аммония достигает при температуре 293 К через 11,2 минуты, а при температуре 373 К – через 2 минуты. С помощью карбоната аммония полное восстановление оксида азота (IV) наступит через 10,4 минуты при температуре 293 К и через 1,7 минуты при температуре 373 К. Карбамид полностью восстанавливает NO<sub>2</sub> (N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) при температуре 293 К через 9,6 минуты, а при температуре 373 К – через 1,4 минуты.

На основании полученных экспериментальных данных можно отметить, что степень восстановления оксида азота (IV) прямо пропорциональна времени протекания процесса и температуре и, в значительной мере, зависит от используемого реагента.

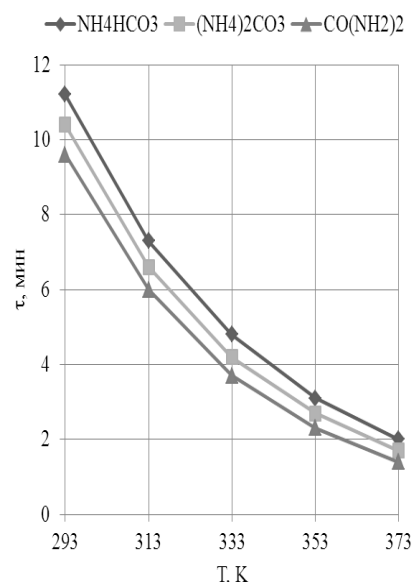


Рисунок 1 – Зависимость времени, необходимого для полного восстановления оксида азота (IV) от температуры с использованием различных реагентов



Зависимость степени восстановления  $\text{NO}_2$  ( $\text{N}_2\text{O}_4$ ) от температуры и времени процесса взаимодействия реагентов можно выразить уравнениями:

– при восстановлении бикарбонатом аммония

$$\alpha = 8,7 \cdot 10^{-12} \cdot T^{4,99} \cdot \tau^{0,7}; \quad (8)$$

– при восстановлении карбонатом аммония

$$\alpha = 9,1 \cdot 10^{-12} \cdot T^{5,01} \cdot \tau^{0,67}; \quad (9)$$

– при восстановлении карбамидом

$$\alpha = 8,29 \cdot 10^{-12} \cdot T^{5,05} \cdot \tau^{0,63}, \quad (10)$$

где  $\alpha$  – степень восстановления оксида азота (IV), %;  $T$  – температура, К;  $\tau$  – время процесса взаимодействия реагентов, мин.

Математические зависимости времени, необходимого для полного восстановления оксида азота (IV), при температуре 333 К имеют вид:

– при восстановлении бикарбонатом аммония

$$\tau_{\text{п.в.}} = 3,74 \cdot 10^{18} \cdot T^{-7,1}; \quad (11)$$

– при восстановлении карбонатом аммония

$$\tau_{\text{п.в.}} = 4,16 \cdot 10^{19} \cdot T^{-7,54}; \quad (12)$$

– при восстановлении карбамидом

$$\tau_{\text{п.в.}} = 4,17 \cdot 10^{20} \cdot T^{-7,96}, \quad (13)$$

где  $\tau_{\text{п.в.}}$  – время процесса взаимодействия реагентов, необходимое для полного восстановления оксида азота (IV), мин;  $T$  – температура, К.

Таким образом, установлено, что при повышении времени взаимодействия реагентов и температуры процесса степень восстановления оксида азота (IV) возрастает, определены условия его полного разложения и выведены эмпирические уравнения.

#### Литература

1. Киреев В.А. Методы практических расчетов в термодинамике химических реакций. – М.: Химия, 1970. – 52 с.
2. Пилипенко А.Г. Комплексные соединения. – М.: Химия, 1963. – 320 с.
3. Некрасов Б.В. Основы общей химии. – М.: Химия, 1968. – 620 с.

4. Рябин В.А., Остроумов М.А., Свит Т.Ф. Термодинамические свойства веществ. – Л: Химия, 1977. – С. 35–41.
5. Рысс И.Г. Химия фтора и его неорганических соединений. – М.: Госхимиздат, 1956. – 718 с.
6. Саймонс Д. Фтор и его соединения. М.: Госхимиздат, 1953. – 320 с.
7. Яцимирский К.Б. Термохимия комплексных соединений. М.: Изд-во АН СССР, 1951. – 276 с.
8. Клейнер К.Е. Гидратные комплексные соединения // Журн. общей химии. – 1950. – Т. 20. – №221. – С. 1747–1750.
9. Исследование фазового равновесия жидкость–пар системы  $\text{HNO}_3\text{--H}_2\text{O--N}_2\text{O}_4\text{--HF--H}_3\text{PO}_4$  / Созонтов В.И., Гринь Г.И., Казаков В.В., Кошовец Н.В. // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ". – 2002. – № 16. – С. 59–62.
10. Созонтов В.И. Технология утилизации меланжей / В.И. Созонтов, В.В. Казаков, Г.И. Гринь – Северодонецк: ОАО «Северодонецкая городская типография», 2006. – 176 с.

Bibliography (transliterated)

1. Kireev V.A. Metodyi prakticheskikh raschetov v termodinamike himicheskikh reaktsiy. – М.: Himiya, 1970. – 52 p.
2. Pilipenko A.G. Kompleksnyie soedineniya. – М.: Himiya, 1963. – 320 p.
3. Nekrasov B.V. Osnovyi obschey himii. – М.: Himiya, 1968. – 620 p.
4. Ryabin V.A., Ostroumov M.A., Svit T.F. Termodinamicheskie svoystva veschestv. – L: Himiya, 1977. – p. 35–41.
5. Ryiss I.G. Himiya ftora i ego neorganicheskikh soedineniy. – М.: Goshimizdat, 1956. – 718 p.
6. Saymons D. Ftor i ego soedineniya. М.: Goshimizdat, 1953. – 320 p.
7. Yatsimirskiy K.B. Termohimiya kompleksnyih soedineniy. М.: Izd-vo AN SSSR, 1951. – 276 p.
8. Kleyner K.E. Gidratnyie kompleksnyie soedineniya Zhurn. obschey himii. – 1950. – Т. 20. – #221. – p. 1747–1750.
9. Issledovanie fazovogo ravnovesiya zhidkost–par sistemyi  $\text{HNO}_3\text{--H}_2\text{O--N}_2\text{O}_4\text{--HF--H}_3\text{PO}_4$  / Sozontov V.I., Grin G.I., Kazakov V.B., Koshovets N.B. Visnik Natsionalnogo tehničnogo universitetu "HPI". – Harkiv: NTU "HPI". – 2002. – # 16. – p. 59–62.
10. Sozontov V.I. Tehnologiya utilizatsii melanzhey V.I. Sozontov, V.V. Kazakov, G.I. Grin – Severodonetsk: ОАО «Severodonetskaya gorodskaya tipografiya», 2006. – 176 p.

УДК 661.56:661.984

Гринь Г.І., Пономарьов В.О., Созонтов В.Г., Казаков В.В.

**КІНЕТИКА ВІДНОВЛЕННЯ ОКСИДУ АЗОТУ (IV) У ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ СИСТЕМ НА ОСНОВІ КОНЦЕНТРОВАНОЇ  $\text{HNO}_3$**

У статті розглянуто процес відновлення оксиду азоту (IV) одержуваного при віддувці фтороводню в технології утилізації окиснювача рідкого ракетного палива. Наведено дані щодо впливу різних параметрів: часу, температури, типу відновлювача (карбамід, вуглеамонійні солі) на ступінь відновлення  $\text{NO}_2$  ( $\text{N}_2\text{O}_4$ ). Запропоновані емпіричні рівняння для розрахунку ступеня відновлення для трьох видів відновників.

Gryn G.I., Ponomarev V.O., Sozontov V.G., Kazakov V.V.

**RECOVERY KINETICS OF NITROGEN OXIDE (IV) IN SYSTEMS DISPOSITION TECHNOLOGY**

**BASED ON CONCENTRATED HNO<sub>3</sub>**

This article describes the recovery of nitrogen oxide (IV) obtained by the hydrogen fluoride stripping performed in the rocket fuel oxidizer disposition technology. The effect of various parameters, namely, time, temperature, type of reducer (urea, ammonium carbonates) on the degree of NO<sub>2</sub> (N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) recovery is given. The empirical equations for calculation of the mentioned degree for the three types of reducing agents are provided.

УДК 621.165

Маляренко В.А., Шубенко А.Л., Сенецкий А.В., Темнохунд И.А.

**ПОТЕНЦИАЛ ИНТЕГРАЦИИ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМ  
В МАЛУЮ ЭНЕРГЕТИКУ УКРАИНЫ**

**Введение**

В настоящее время перед большинством стран, в частности, Украиной, стоит задача экономии топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). Это, прежде всего, связано с уменьшением запасов органического топлива, и соответственно увеличением его стоимости, что приводит к нарушению и перебоям снабжения отдельных регионов и потребителей топливом, тепловой и электрической энергией.

Одним из наиболее перспективных решений сложившейся проблемы является развитие малой энергетики. Большим потенциалом здесь обладает процесс совместной выработки электрической и тепловой энергии – когенерация, которая помимо всего прочего дает возможность для развития экономики страны [1].

Реконструкция существующих котельных в мини-ТЭЦ (электрической мощностью до 50 МВт), позволяет вырабатывать одновременно электрическую и тепловую энергию. Расположение мини-ТЭЦ в непосредственной близости от конечного потребителя дает возможность вырабатывать электрическую и тепловую энергию как на собственные нужды, так и получать дополнительную прибыль от ее реализации в энергосистему.

На современном этапе развития турбиностроения в качестве рабочих тел в замкнутом цикле возможно применение, как водяного пара, так и жидкостей имеющих низкие температуры кипения, реализуя органический цикл Ренкина (ORC) [2].

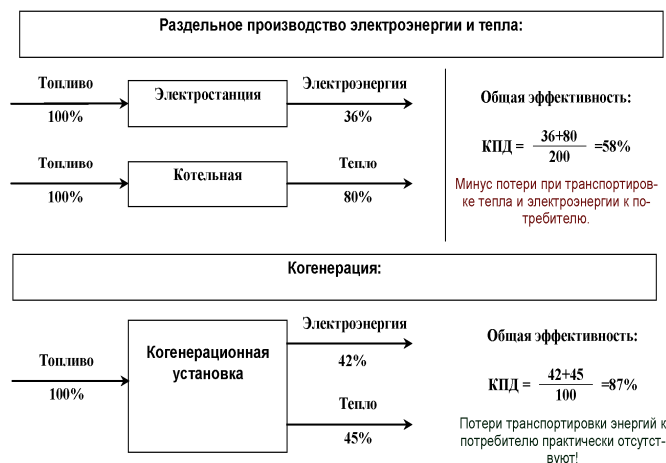
**Преимущества когенерации**

Мини-ТЭЦ может использоваться в качестве основного или резервного источника электроэнергии для коммунального хозяйства и очистных сооружений, предприятий промышленности и сельского хозяйства, в административных и медицинских учреждениях, жилых комплексах как в автономном режиме, так и совместно с централизованными системами тепло- и электроснабжения.

Выгоды от использования систем когенерации условно делятся на четыре группы, тесно связанные друг с другом: экономика, надежность, утилизация тепла, экология [3].

При эксплуатации традиционных (турбинных) электростанций, в связи с технологическими особенностями процесса генерации энергии, большое количество выработанного тепла сбрасывается в атмосферу через конденсаторы пара, градирни и т. п. Большая часть этого тепла может быть утилизирована и использована для удовлетворения тепловых потребностей, что повышает эффективность электростанции с 30–50 % до 80–90 % в системах когенерации. Сравнение когенерации и раздельного производства электричества и тепла представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение раздельного производства электроэнергии и тепла с когенерацией



На рис. 1 приведена тепловая схема миниэлектростанции, где параллельно РОУ установлена паровая противодавленческая турбина, обеспечивающая выработку электрической мощности, что уменьшает расходы промышленного предприятия на приобретение электроэнергии от сети. Тепловая мощность мини-ТЭЦ резервируется отпуском пара от РОУ паровых котлов, работающих на общую магистраль.

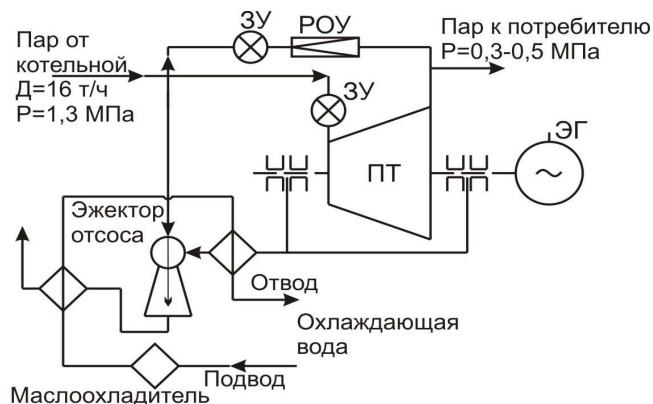


Рисунок 1 – Схема подключения противодавленческой турбины на промышленно-отопительной котельной

Появление на отечественном рынке энергетических установок малой мощности с неплохими экономическими показателями (КПД, габаритные размеры, стоимость) дает возможность реализовать комбинированную выработку тепла и электроэнергии. Схема потока тепловой и электрической энергии на паровых промышленных и промышленно-отопительных котельных, переведенных в разряд мини-ТЭЦ, приведена на рис. 2. Для повышения экономичности таких энергоустановок предусматривается охлаждение маслоохладителя (МО), охладителя генератора (ОГ) и эжектора отсоса пара из уплотнений (ЭО) химочищенной воды, подаваемой в деаэратор котельной. Эта часть тепла показана в виде контура «регенерация тепла» на рис. 2

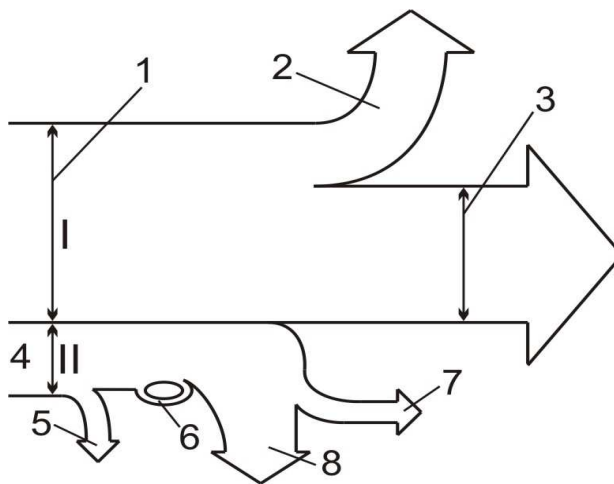


Рисунок 2 – Схема энергетических потоков при комбинированной выработке тепла и электроэнергии:

- I – основной цикл без электроэнергетической нагрузки; II – дополнительный цикл надстройки; 1 – тепло основного топлива; 2 – потери тепла при сжигании основного топлива (с уходящим газом, продувкой); 3 – пар к потребителю;
- 4 – тепло дополнительного топлива,  $\Delta Q$ ; 5 – потери тепла при сжигании дополнительного топлива;
- 6 – регенерация тела; 7 – потери с воздушным охлаждением генератора  $\Delta N$  и другие потери; 8 – электроэнергия,  $N$

При отсутствии электроэнергетической надстройки котельная вырабатывает в основном цикле тепловую энергию  $Q$ , с расходом топлива  $B$ , потери определяются по значению КПД котла  $\eta_k$  (потери в трубопроводах и у потребителя в основном цикле отнесены к теплопотреблению).

Определение эффективности электроэнергетической надстройки осуществляется при условии, что потребитель получает такое же количество тепла как и при отсутствии надстройки.

При выработке электрической мощности  $N$  требуется дополнительное топливо  $\Delta B$ , которое также сжигается с КПД котла  $\eta_k$ . В этом случае могут наблюдаться небольшие дополнительные потери энергии  $\Delta N$  в виде утечек тепла в трубопроводах подвода пара к турбогенератору и отвода его от последнего при воздушном охлаждении генератора (это тепло невозможно утилизировать в системе регенерации), а также при невозможности реализовать регенерацию тепла от маслоохладителей и эжекторов с использованием химочищенной воды. Эти потери должны быть покрыты дополнительным расходом топлива.

Удельный расход топлива на 1 кВт·ч при полезной электрической мощности  $N$  равен  $b = \Delta B/N$ .

Коэффициент полезного действия котла не зависит (или очень слабо зависит) от его теплопроизводительности при небольшом ее изменении. Тогда из диаграммы (рис. 1) следует, что дополнительное тепло топлива, необходимое для выработки электроэнергии мощностью  $N$  и КПД котла  $\eta_k$ , составляет

$$\Delta Q = \frac{N + \Delta N}{\eta_k}. \quad (1)$$

Исходя из этого, расход дополнительного топлива с теплотой сгорания  $Q_n^p$ , которое идет на выработку электроэнергии, можно записать в виде

$$\Delta B = \frac{\Delta Q}{Q_n^p}. \quad (2)$$

В случае полной регенерации тепла охладителей (МО, ОГ, ЭО)  $\Delta N$  определяется только теплопотерями от труб подвода и отвода пара к турбогенератору, т.е. потерями от дополнительных трубопроводов. Если их протяженность невелика, то этими потерями можно пренебречь.

Тогда удельный расход условного топлива  $b$  кг.у.т/(кВт·ч) составит

$$b = \frac{\Delta B}{N} = \frac{0,123}{\eta_k}. \quad (3)$$

При наличии протяженных дополнительных трубопроводов, а также при охлаждении эжектора, генератора и маслоохладителя водой системы технического водоснабжения (не химочищенной водой, т.е. без регенерации тепла) потери мощности  $\Delta N$  возрастут на значение тепловой мощности маслоохладителя, охладителей генератора, эжектора и потерь в трубопроводах  $\Delta Q_{mp}$

$$\Delta N = N(1 - \eta_m) + N(1 - \eta_e) + \Delta Q_o + \Delta Q_{mp}, \quad (4)$$

где  $\Delta Q_o = (G_p + G_{мл})(h_p - h_e)$ ;  $G_p$  – расход рабочего пара на эжектор;  $G_{мл}$  – расход пара через концевые уплотнения;  $h_p$  – энтальпия рабочего пара;  $h_e$  – среднemasсовая энтальпия питательной воды перед деаэратором.

В общем случае при расчете удельного расхода топлива с учетом потерь по (4) имеем

$$\left. \begin{aligned} \Delta Q &= \frac{N + \Delta N}{\eta_k} = \frac{N}{\eta_k} \left( 1 + \frac{\Delta N}{N} \right); \\ b &= \frac{0,123}{\eta_k} \left( 1 + \frac{\Delta N}{N} \right). \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

При полном использовании тепла охладителей для подогрева химочищенной воды при  $\eta_k = 0,9$  получаем

$$b = \frac{0,123}{0,9} = 0,141.$$

Оценим расход удельного топлива на выработку электроэнергии при установке противоаварийной турбины, по формулам (3)–(5):

При охлаждении МО, ОГ и ЭО водой системы технического водоснабжения для установок типа Р-6-35/5-1:  $G_p=432$  кг/ч (0,12 кг/с),  $t_{не}=50$  °С,  $G_{уил}=1320$  кг/ч (0,36 кг/с),  $\eta_c=0,95$ ,  $\eta_m=0,98$ ,  $N=6000$  кВт. Тогда получим  $b = 0,180$  кг.у.т./( $\kappa Bm \cdot ч$ ).

Из приведенных примеров видно, что удельный расход топлива на выработку электроэнергии при реализации мини-ТЭЦ с применением паровых противодавленческих турбин малой мощности, на базе паровых промышленных и промышленно-отопительных котельных, в среднем составляет  $180$  г.у.т./( $\kappa Bm \cdot ч$ ). Данные показатели значительно лучше, чем для мощных энергетических установок (по Украине  $360 - 380$  г.у.т./( $\kappa Bm \cdot ч$ )), что свидетельствует о конкурентоспособности малой энергетики и необходимости внедрения турбин малой мощности [4, 5].

### **Реализация турбин на низкокипящих рабочих телах**

Применяя традиционные рабочие тела, необходимо не забывать о нетрадиционных установках, которые дополняют существующие и позволяют генерировать дополнительную энергию с минимальными конструктивными изменениями и капитальными затратами. К таким установкам относят энергоутилизационные установки с замкнутым рабочим циклом на низкокипящих рабочих телах (НРТ), позволяющие эффективно утилизировать средне- и низкопотенциальные потоки теплоты. Реализовывать такую схему можно, используя сбросную теплоту технологических процессов предприятий, выхлопного пара паротурбинных установок и т. д. [6]. Особенностью схемы, является работа турбины на низкокипящем рабочем теле, что позволяет максимально эффективно использовать получаемую, казалось бы, малоэффективную теплоту.

Схема с замкнутым рабочим циклом на низкокипящем рабочем теле реализована на ОАО «Сумское НПО им. М. В. Фрунзе» (СНПО). Установка выполнена на основе пентановой турбины ТПР-4/6-1,45/0,1, обеспечивающей электрическую мощность 4 МВт. Рабочим телом для нее служит n-пентан. Проект установки разработан ОАО «Укрхимпроект» (г. Сумы, Украина). Данная энергоутилизационная установка является экспериментальной, суммарная наработка установки во время испытаний составила более 300 часов [2].

### **Когенерация в промышленности с применением турбин на НРТ**

На территории Украины имеются металлургическая, химическая, цементная, строительных материалов и другие отрасли промышленности. Большинство из них включают в себя низко-, средне- и высокотемпературные технологические процессы, тепловая энергия после которых сбрасывается в атмосферу и безвозвратно теряется. Утилизация сбросной теплоты с целью выработки электроэнергии на основе установки турбин малой мощности, (как водяном паре, так и на НРТ) позволит вырабатывать электроэнергию на собственные нужды предприятия и тем самым снизить энергозатраты и себестоимость основной продукции предприятия.

В качестве примера рассмотрим типовое металлургическое предприятие с соответствующими технологическими процессами, сбросную теплоту которых можно использовать посредством преобразования в электроэнергию с применением ОРС цикла.

В монографии [7] приведена структура выработки и возможного использования вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) на металлургическом предприятии с полным циклом. Анализ этой структуры показывает, что на таком предприятии имеется ряд технологических процессов со сбросной теплотой, которую можно использовать для выработки электрической энергии, реализуя ОРС цикл (табл. 2) [8, 9].

Таблица 2 – Параметры источников сбросной теплоты на металлургическом предприятии

Наименование параметра	Доменные печи	Мартеновские печи и кислородные конвертеры	Коксовые ба- тарей	Обжиговые печи
Температура, °С	150–300	~ 250	300–400	120–200
Средний объем уходящих газов, тыс. м <sup>3</sup> /ч	80	37	1000	35

В табл. 3 представлена единичная электрическая мощность выпускаемых турбин ОРС цикла для ряда НРТ при утилизации ВЭР различного потенциала и объема.

Таблица 3 – Возможная получаемая электрическая мощность турбин на НРТ

Низкокипящие рабочие тела	Формула	Объем уходящих газов, м <sup>3</sup> /с	Температура, °С		Электрическая мощность выпущенных турбин, кВт
			утилизируемых уходящих газов	рабочего тела на входе в турбину	
R-134a	$CH_2F CF_3$	8,8–25	100–140	65–100	200–800
Водоаммиачная смесь	$NH_3 + H_2O$	6,8–120	130–260	90–220	200–7000
R-114	$C_2F_4Cl_2$	5,5–22	160–200	120–160	200–1000
R-600	$C_4H_{10}$	5,5–100	160–220	120–160	200–5000
Пентан	$C_5H_{12}$	4,9–100	180–220	140–180	200–6000
Термическое масло	–	15–61	290–360	250–315	1000–5000
Бензол	$C_6H_6$	85–120	340–370	300–325	6600–10000

Электрический КПД турбины ORC контура в зависимости от параметров ВЭР, используемого рабочего тела и мощности установки изменяется в пределах 11–21 %. Выбранными НРТ (табл. 3) перечень не ограничивается.

При решении задач энергосбережения в каждом конкретном случае источник сбросной теплоты требует индивидуального подхода.

Таким образом, как следует из проведенного анализа, одним из основных направлений при решении задач энергосбережения на энергоузлах промышленных предприятий и коммунальных котельных является их перевод в мини-ТЭЦ путем установки малых паровых турбин.

### **Потенциал использования систем когенерации в Украине**

Если рассмотреть энергетическую стратегию Украины и связанную с этим структуру производства тепла до 2030 года, то при использовании 50 % тепловой мощности установленных котлов производительностью 15–20 тонн пара в час только в коммунальных котельных до 2030 года может быть установлено до 1 200 паротурбинных установок с мощностью в одном агрегате 1 МВт.

На территории Украины функционирует множество котельных, на которых применяют процесс дросселирования пара вместо процесса его расширения в энергетической установке для выработки электроэнергии с незначительной добавкой топлива. Исследование наличия и состояния паровых котлов в различных отраслях промышленности показало следующее. В котельных, работающих на шахтах Украины и оснащенных котлами типа ДКВР, с которыми могут работать малые турбины, составляет:

- 6,5 т/ч – более 150 ед.; – 20 т/ч – 30 ед.;
- 10 т/ч – около 300 ед.; – 25 т/ч – 20 ед.

Если, в связи с закрытием шахт, останется в рабочем состоянии 25 % этих котлов, то даже в этом случае на шахтных котельных могут быть использованы примерно 70–75 турбоустановок мощностью 0,75–1 МВт, энергия которых будет использована на собственные нужды шахт.

В пищевой промышленности находятся в эксплуатации около 400 котлов паропроизводительностью от 6,5 т/ч до 16 т/ч при начальном давлении 1,4 МПа, что позволяет использовать порядка 200–250 турбоустановок мощностью до 1 МВт.

По имеющимся оценкам в разных отраслях промышленности установлено около 1 500 единиц котлов паропроизводительностью 6,5–25 т/ч с начальным давлением 1,4 МПа. При соответствующей реконструкции энергоузлов на промпредприятиях можно установить до 600–700 турбоустановок.

Таким образом, по прогнозируемой оценке, рынок малых паротурбинных установок мощностью 0,75–1,5 МВт до 2030 года (при условии возрождения предприятий и развития теплоснабжения городов и поселков) может составить 2 100–2 200 единиц. Стоимость их установки при необходимой реконструкции энергоузлов составит 1,05–1,1 млрд.USD, что существенно ниже стоимости нового оборудования такой же мощности.

В отдельных случаях целесообразно устанавливать турбины малой или средней мощности в конденсационном варианте. Примером служит выполненная с участием ИПМаш НАН Украины установка турбины ПТ-12/13-34/1,0-1 мощностью 12 МВт производства Калужского турбинного завода (Россия) на



енергоузле Ясиновского коксохимического завода (г. Макеевка). Экономическая целесообразность такого варианта реконструкции энергоузла базируется на возможности использования относительно дешевого коксового газа на существующем парогенерирующем оборудовании завода.

Однако, в большинстве случаев, как уже отмечалось, экономически оправданным является лишь вариант с использованием противодавленческих турбин. Такая турбоустановка позволяет при достаточно высоком КПД получать электроэнергию либо с незначительной добавкой топлива (при необходимости строго выдерживать заданное в технологии количество тепла), либо без дополнительного топлива при работе на теплофикацию и регулировании температуры теплоносителя в зависимости от температуры наружного воздуха. По оценкам, представленным выше, дополнительный расход топлива на 1 кВт·ч выработываемой электроэнергии не превышает 180 г.у.т.

В силу объективных причин, при переводе котельной на комбинированную схему производства тепловой и электрической энергии для ведения теплоэнергетических процессов требуются новые критерии оптимизации, отличные от проектных при строительстве котельной. Речь может идти о разработке технологии производства электроэнергии по комбинированной схеме для каждого конкретного заказчика [5]. Так, в ИПМаш НАН Украины выполнена оценка возможности установки малых турбин для утилизации энергии процесса дросселирования пара в теплоэнергетическом центре Роганского промузла (ТЦРП) г. Харькова, на котором установлено три работающих котла ДКВР-20/1,3 производительностью 20 т/час пара каждый и резервный котел ДВ-24/14ТМ, производительностью 25 т/час, эксплуатируемые с 1971–1974 гг. [10, 11].

Таким образом, внедрение малых турбин как автономного энергосберегающего источника электроэнергии позволит до 2030 года иметь компенсационную установленную мощность на уровне 2 200 МВт, что составит от общей установленной мощности к 2030 году ~ 3 % [12]. Согласно базового сценария энергетической стратегии Украины на период до 2030 года при общей потребности производства электроэнергии на уровне 380 млрд. кВт·ч, с учетом сезонного графика выработки тепла, на турбинах малой мощности может быть произведено ~ 13 млрд. кВт·ч электроэнергии в год, что составит – 3,5 % от общего производства. Выработка такого количества электроэнергии позволит экономить в год 1,2 млн. т.у.т. [13, 14].

### Выводы

Реализуя когенерационные системы необходимо принимать во внимание, что каждый проект требует индивидуального подхода. Это связано с внешними (цены на топливо, надежность снабжения, тарифы сетей) и внутренними (профиль потребления тепла и электроэнергии, пиковые нагрузки, необходимый уровень надежности и качества энергоснабжения) факторами.

Для получения высокой эффективности от внедрения когенерации необходимо, помимо установки современного оборудования, провести анализ, выработать и реализовать мероприятия по повышению энергетической эффективности объекта в целом, с уже существующим оборудованием. Сочетание оценки экономической составляющей проекта и тщательного контроля за исполнением позволит реализовать решение, которое обеспечит конкурентные преимущества на рынке.

Выполненные оценки позволили установить, что утилизация ВЭР в промышленности Украины при применении турбин на НРТ позволит получить дополнительно ~ 200 МВт электрической мощности.

Вопросам разработки, производства и внедрения турбин на водяном паре и НРТ в Украине, по нашему мнению, уделяется недостаточно внимания. Выпуск в стране турбин малой мощности позволит уменьшить их стоимость и тем самым повысить экономическую привлекательность соответствующих энергосберегающих проектов.

### Литература

1. Длугосельский В.И., Зубков А.С. Эффективность использования в теплофикации газотурбинных и парогазовых технологий. // Теплоэнергетика. – №12. – 2000. – С. 3–6.
2. Пятничко В.А. Утилизация низкопотенциального тепла для производства электроэнергии с использованием пентана в качестве рабочего тела / В.А. Пятничко, Т.К. Крушневич, А.И. Пятничко // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2003. – № 4. – С. 3–6.
3. Анализ эффективности применения когенерационных установок [Электронный ресурс]: официальный сайт производителя – ЧНПП «Фрезия» [2006]: Режим доступа : <http://www.sinus.org.ua/> – Последнее обращение: 20.06.2012. – Загл. с экрана.
4. Использование паровых турбин малой мощности для энергосбережения на энергоузлах предприятий / А.Л. Шубенко, Н.Ю. Бабак, М.И. Роговой, А.В. Сенцкий // Компрессорное и энергетическое машиностроение. – 2008. – № 3. – С. 14–17.

5. Федоров В.А. Опыт разработки, строительства и ввода в эксплуатацию малых электростанций / В.А. Федоров, В.М. Смирнов // Теплоэнергетика. – 2000. – № 1. – С. 9–13.
6. Сенецкий А.В. Энергосбережение на основе применения турбин малой мощности на низкотемпературных рабочих телах / А.В. Сенецкий // Современные проблемы машиностроения. Конференция молодых ученых и специалистов 3–6 ноября 2010 г.: тез. докл. – Харьков, 2010. – С. 67.
7. Никифоров Б. И. Энергосбережение на металлургических предприятиях: Монография / Б.И. Никифоров, Г.В. Заславец. – Магнитогорск: МГТУ, 2000. – 280 с.
8. Казанцев Е.И. Промышленные печи: Справочное руководство для расчетов и проектирования / Е.И. Казанцев. – М.: Metallurgiya, 1975. – 368 с.
9. Галузева програма енергоефективності та енергозбереження на період до 2017 р. Наказ Міністра промислової політики України № 152 від 25.02.2009 року. – 123 с. Режим доступа: <http://195.78.68.71/industry/control/uk/archive/docview?typeId=73191> – Последнее обращение: 02.02.2012. – Загл. с экрана.
10. Данилов Н.И. Домашняя энергетика / Н.И. Данилов, Я.М. Щелоков. – М.: Департамент топливно-энергетического хозяйства г. Москвы, 2006. – 118 с.
11. Интенсификация использования топливно-энергетических ресурсов: научное издание; ред. Т.А. Ашимбаев. – Алма-Ата: Наука, 1989. – 212 с.
12. Повышение эффективности использования энергоресурсов в автономных котельных на основе внедрения на них турбогенераторных установок малой мощности / Л.М. Соболев, А.Л. Шубенко, В.Н. Голощапов и др. // Совершенствование турбоустановок методами математического и физического моделирования: сб. тр. междунар. научно-техн. конф. – Харьков, 1997. – С. 57–61.
13. Гапоненко Н.А. Энергосбережение при установке малых турбин на котельных с промышленными потребителями / Н.А. Гапоненко // Когенерация в промышленности и коммунальной энергетике: Программа и тезисы международной конференции. – Киев, 2004. – С. 179–182.
14. Эффективность турбоустановок малой мощности / Е.В. Левченко, В.П. Сухинин, А.Д. Кантемир, В.М. Капинос и др. // Вестник национального технического университета «ХПИ». Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование. – 2006. – № 5. – С. 12–14.

Bibliography (transliterated)

1. Dlugoselskiy V.I., Zubkov A.S. Effektivnost ispolzovaniya v teplofikatsii gazoturbinniyh i parogazoviyh tehnologiy. Teploenergetika. – #12. – 2000. – p. 3–6.
2. Pyatnichko V.A. Utilizatsiya nizkopotentsialnogo tepla dlya proizvodstva elektroenergii s ispolzovaniem pentana v kachestve rabocheho tela V.A. Pyatnichko, T.K. Krushnevich, A.I. Pyatnichko Ekotehnologii i resursosberezhenie. – 2003. – # 4. – p. 3–6.
3. Analiz effektivnosti primeneniya kogeneratsionnykh ustanovok [Elektronnyy resurs]: ofitsialnyy sayt proizvoditelya – ChNPP «Freziya» [2006]: Rezhim dostupa : <http://www.sinus.org.ua/> – Poslednee obraschenie: 20.06.2012. – Zagl. s ekrana.
4. Ispolzovanie parovyykh turbin maloy moschnosti dlya energosberezheniya na energouzlakh predpriyatiy A.L. Shubenko, N.Yu. Babak, M.I. Rogovoy, A.V. Senetskiy Kompresornoe i energeticheskoe mashinostroenie. – 2008. – # 3. – p. 14–17.
5. Fedorov V.A. Opyit razrabotki, stroitelstva i vvoda v ekspluatatsiyu malykh elektrostantsiy / V.A. Fedorov, V.M. Smirnov Teploenergetika. – 2000. – # 1. – p. 9–13.
6. Senetskiy A.V. Energoberezhenie na osnove primeneniya turbin maloy moschnosti na nizkokipyaschih rabochih telah A.V. Senetskiy Sovremennyye problemy mashinostroeniya. Konferentsiya molodykh uchenykh i spetsialistov 3–6 noyabrya 2010 g.: tez. dokl. – Harkov, 2010. – p. 67.
7. Nikiforov B. I. Energoberezhenie na metallurgicheskikh predpriyatiyah: Monografiya B.I. Nikiforov, G.V. Zaslavets. – Magnitogorsk: MGTU, 2000. – 280 p.
8. Kazantsev E.I. Promyshlennyye pechi: Spravochnoe rukovodstvo dlya raschetov i proektirovaniya E.I. Kazantsev. – M.: Metallurgiya, 1975. – 368 p.
9. Galuzeva programa energoefektivnosti ta energozberezheniya na period do 2017 r. Nakaz Ministra promislovoi politiki Ukrayini # 152 vid 25.02.2009 roku. – 123 s. Rezhim dostupa :

<http://195.78.68.71/industry/control/uk/archive/docview?typeId=73191> – Poslednee obraschenie: 02.02.2012. – Zagl. s ekrana.

10. Danilov N.I. Domashnyaya energetika N.I. Danilov, Ya.M. Schelokov. – M.: Departament toplivno-energeticheskogo hozyaystva g. Moskvyi, 2006. – 118 p.

11. Intensifikatsiya ispolzovaniya toplivno-energeticheskikh resursov: nauchnoe izdanie; red. T.A. Ashimbaev. – Alma-Ata: Nauka, 1989. –212 p.

12. Povyshenie effektivnosti ispolzovaniya energoresursov v avtonomnykh kotelnykh na osnove vnedreniya na nih turbogeneratornykh ustanovok maloy moschnosti L.M. Sobolev, A.L. Shubenko, V.N. Goloschapov i dr. Sovershenstvovanie turboustanovok metodami matematicheskogo i fizicheskogo modelirovaniya: sb. tr. mezhdunar. nauchno-tehn. konf. – Harkov, 1997. – p. 57–61.

13. Gaponenko N.A. Energoberezhenie pri ustanovke malyykh turbin na kotelnykh s promyshlennymi potrebitelyami N.A. Gaponenko Kogeneratsiya v promyshlennosti i kommunalnoy energetike: Programma i tezisy mezhdunarodnoy konferentsii. – Kiev, 2004. – p. 179–182.

14. Effektivnost turboustanovok maloy moschnosti E.V. Levchenko, V.P. Suhinin, A.D. Kantemir, V.M. Kapinos i dr. Vestnik natsionalnogo tehniceskogo universiteta «HPI». Energeticheskie i teplotehnichekские protsessy i oborudovanie. – 2006. – # 5. – p. 12–14.

УДК 621.165

Маляренко В.А., Шубенко А.Л., Сенецкий А.В., Темнохуд І.О.

#### **ПОТЕНЦІАЛ ІНТЕГРАЦІЇ КОГЕНЕРАЦІЙНИХ СИСТЕМ В МАЛУ ЕНЕРГЕТИКУ УКРАЇНИ**

Досліджуються питання доцільності реалізації комбінованого виробництва теплової та електричної енергії – когенерації. Показано, що застосування когенерації дозволяє більш ефективно використовувати ПЕР. Проведений аналіз показав, що питома витрата палива на виробництво електроенергії, при реалізації міні-ТЕЦ на парових котельнях в середньому складає 180 г.у.п./кВт·г). Проаналізовано, яка кількість турбін потужністю 0,75–1,5 МВт можливо реалізувати в Україні до 2030 р., тим самим економити в рік ~ 1,2 млн. т.у.п.

Malyarenko V.A., Shubenko A.L., Senetskiy A.V., Temnokhud I.A.

#### **THE INTEGRATION POTENTIAL OF THE CO-GENERATIONAL SYSTEMS IN THE FRAMEWORK OF THE LIGHT POWER INDUSTRY OF UKRAINE**

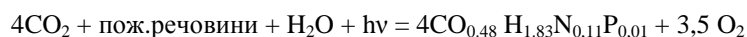
The issues of the expediency realization of the combined production of heat and power supply – the co-generation. It is shown, that the application of co-generation allows to use the heat and power resources more effectively. The carried out analysis showed, that the specific waste of fuel per production of power energy on condition of realization of heat and power main (HPM) on the basis of steam boiler-houses at the average compose 180 grams of specific fuel per k/V per hour. It has been analyzed, what number of turbines 0,75–1,5 MVt is possible to sell in Ukraine by the year of 2030, namely to economize per year ~ 1,2 million of tons of specific fuel.

**ВИКОРИСТАННЯ ВОДОРОСТЕЙ ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ ЕНЕРГОНОСІЇВ (УТИЛІЗАЦІЯ CO<sub>2</sub>)**

У технологіях другого покоління для одержання енергоносіїв передбачено використання водоростей як сировини для одержання біодизельного пального. По відношенню до олійних культур водорості мають наступні переваги: можливість автоматизації процесу вирощування, керування якісним складом олії, що одержують, і, відповідно, можливість одержання біодизельного пального з заданими властивостями, розташування фотореакторів на землі не сільськогосподарського призначення, біля підприємств для утилізації скидів. В цьому випадку зменшується антропогенне навантаження на довкілля. Також, відходи виробництва біодизельного пального можливо використовувати для одержання інших енергоносіїв – біогазу, водню, спиртів тощо. Тому розробка технологій культивування мікроводоростей для одержання біодизельного пального є *актуальною проблемою сьогодення*. При цьому зменшується залежність країн від експорту традиційних енергоносіїв.

Фізико-хімічні методи утилізації CO<sub>2</sub> – дорогі і енергозатратні. При їх застосуванні виникає проблема подальшого зберігання вловленого вуглекислого газу, а також утилізації абсорбентів. У ряді робіт [1–5] показана можливість використання газових скидів для культивування мікроводоростей. Однак, у запропонованих способах викиди піддаються попередньому очищенню від домішок (NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> тощо), а вуглекислий газ переводиться у твердий стан, що значно здорожує процес культивування, і, відповідно, вартість кінцевого продукту – біодизельного пального.

У процесі фотосинтезу, використовуючи енергію світла, мікроводорості поглинають вуглекислий газ, який спричиняє парниковий ефект, та виділяють кисень, нарощуючи біомасу [6]:



При цьому константа рівня фіксації CO<sub>2</sub> складає K = 1,89, що значно вище у порівнянні з іншими рослинами і свідчить про більш високі темпи росту. Так, подвоєння біомаси у деяких штамів мікроводоростей відбувається за 3–4 години [6].

Мікроскопічні водорості здатні засвоювати CO<sub>2</sub> з різних джерел: з атмосфери, з промислових викидів газів і розчинних карбонатів (NaHCO<sub>3</sub> або Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). Атмосферне повітря містить від 0,03 до 0,06 % за об'ємом вуглекислого газу, що обмежує і сповільнює нарощування біомаси водоростей. Перспективним є культивування мікроводоростей з використанням промислових викидів газів, які містять від 3 до 20 % CO<sub>2</sub>. Їх внесок у повну світову емісію CO<sub>2</sub> складає приблизно 7 %. Завдяки толерантності багатьох видів водоростей до відносно високих температур, можна скоротити витрати на охолодження промислових викидів. Деякі види *Chlorella* можуть рости за температури до 42 °C і при подачі повітря з концентрацією CO<sub>2</sub> більшою за 40 % за об'ємом [7].

Багато видів мікроводоростей здатні використовувати карбонати, такі як Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> й NaHCO<sub>3</sub> для росту та поділу клітини. Це надає ряд переваг у їх використанні. По-перше, промислові викиди вуглекислого газу можуть бути перетворені в солі карбонату і збережені для використання водоростями. По-друге, через обмежену кількість видів мікроорганізмів, що можуть існувати за високих концентрацій карбонату, знижується потреба у асептиці. По-третє, більшість цих видів культивують за високих значень рН [2,8,9].

Метою роботи є аналіз можливості культивування мікроводоростей за використання неочищених скидів газів підприємств для одержання біодизельного пального.

**Матеріали та методи дослідження**

Базовим середовищем для культивування водоростей *Chlorella vulgaris* було середовище Тамія [10]. Як модельне джерело скидів підприємств використовували гази після спалювання деревного та кам'яного вугілля. Склад скидів залежить від виду сировини. Склад газів встановлювали за допомогою газового хроматографа ЛХМ-8МД. За літературними даними [11] середній склад газової суміші промислових підприємств: 88,5 % N<sub>2</sub>; 10 % O<sub>2</sub>; 0,5 % SO<sub>2</sub>; 0,1 NO<sub>2</sub>; 1 % H<sub>2</sub>O.

Склад ліпідів встановлювали за допомогою метода двовимірної хроматографії та газо-рідинному хроматографі Хроматэк марки Кристалл 5000.1.

Концентрацію CO<sub>2</sub> при барботуванні культурального середовища варіювали в межах 3–15 %. Також до складу газу входили оксиди нітрогену (0,01–0,3%) та сульфору (0,01–0,1 %), азот та кисень.

Культивування мікроводоростей проводили за температури 30 ± 2 °C і потужності освітлення 54 Вт за допомогою двох люмінесцентних ламп типу Т8. Режим освітлення передбачав 16 годинний світловий

день з 8 годинним темновим періодом. Підігрів культурального середовища до оптимальної температури здійснювався також за допомогою температури газових скидів.

Очищення скидів проводили за допомогою фільтрів грубого очищення повітря тільки від твердих залишків, оскільки наявність їх у культуральному середовищі знижує доступ енергії світла до клітин.

Для покращення доступу поживних речовин до клітин мікроводоростей здійснювали перемішування шляхом барботування повітрям до якого додавали газові викиди. Рівномірне розподілення вуглекислого газу по всьому об'єму фотобіореактора досягається шляхом використання спеціальної аероліфтної системи, що унеможливило травмування клітин мікроводоростей. У контрольному реакторі відбувалось барботування культурального середовища повітрям без домішки димових газів.

Кількість клітин в об'ємі підраховували за використання камери Горяєва за стандартною методикою [12].

### Результати та їх обговорення

На рис. 1. наведено зміну приросту біомаси водоростей в залежності від кількості  $\text{CO}_2$ , що подається до реактора. На початку культивування приріст біомаси мікроводоростей в усіх зразках був однаковим. На 2 добу експерименту приріст біомаси у реакторах, крізь який пропускали димовий газ, починає суттєво збільшуватися порівняно з контрольним. Пояснити це можна пристосуванням мікроводоростей до зміни умов середовища існування та постійним приростом основних поживних речовин (сполук карбону, нітрогену та сульфору) з газу.

Швидкість накопичення біомаси відбувається в 3-6 разів швидше за використання димових газів. Чим триваліше процес культивування, тим більша швидкість приросту біомаси по відношенню до контролю. При цьому приріст біомаси вищий за використання короткочасного періодичного барботування (20 хвилин барботування – 2 години перерва) з підвищеним вмістом  $\text{CO}_2$  (10–15 %), ніж за постійного (рис. 2). Збільшення часу періодичного барботування з концентрацією менше 10 % не приводить до суттєвої зміни приросту біомаси, але збільшує енергетичні витрати. Загальна кількість диоксиду карбону, що пропускали з барботажем повітрям за добу, була однаковою, але варіювалась швидкість його подачі в фотореактор. При постійному барботуванні газовими скидами приріст біомаси збільшується у 2–3 рази в залежності від концентрації  $\text{CO}_2$ , а при періодичному – у 5–6 разів. При постійному барботуванні оптимальна концентрація  $\text{CO}_2$  у газовій суміші складає 4–6 %.

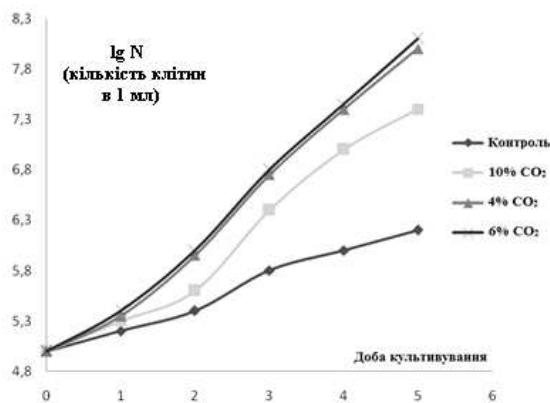


Рисунок 1 – Зміна приросту біомаси мікроводоростей в залежності від концентрації  $\text{CO}_2$  у барботажному повітрі

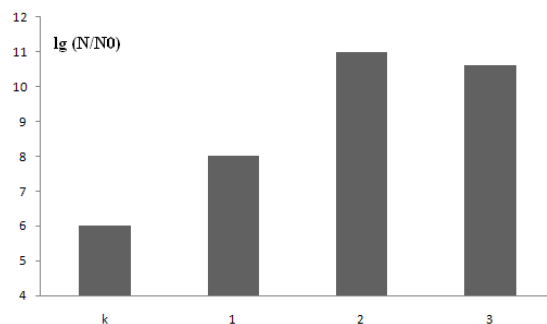


Рисунок 2 – Зміна приросту біомаси водоростей в залежності від режиму подачі  $\text{CO}_2$  до реактора за добу. К – контроль, 1 – постійне барботування повітрям з концентрацією  $\text{CO}_2$  6 %, 2 – періодичне 20 хв. барботування з концентрацією  $\text{CO}_2$  15 %, 3 – періодичне 40 хв. барботування з концентрацією  $\text{CO}_2$  8 %

При барботуванні культурального середовища повітрям з підвищеним вмістом  $\text{CO}_2$  відбувається збільшення насичених жирних кислот з кількістю атомів карбону C:16, C:18, що позитивно впливає на якість біодизельного пального, оскільки європейським стандартом EN 14214:2003 обмежується наявність левуленової кислоти на рівні 12 % і поліненасичених кислот – 1 % [13].

Барботування культурального середовища газовими скидами підвищує загальну кількість ліпідів у *Chlorella vulgaris* на 10–20 % у порівнянні з контрольною партією.

При концентрації  $\text{CO}_2$  – 10 % (рис. 1), при постійному барботуванні швидкість приросту біомаси найменша, що можна пояснити зниженням значення рН середовища до 5, що є стресовим фактором для мікрободоростей. При цьому підвищується утворення ненасичених жирних кислот, що негативно впливає на зберігання біодизельного пального, і, відповідно, його енергетичні параметри.

Таким чином, при достатньому забезпеченні елементами мінерального харчування подача газових скидів ( $\text{CO}_2$ ) у культуральне середовище збільшує приріст біомаси, час подвоєння клітин скорочується в 2–6 разів.

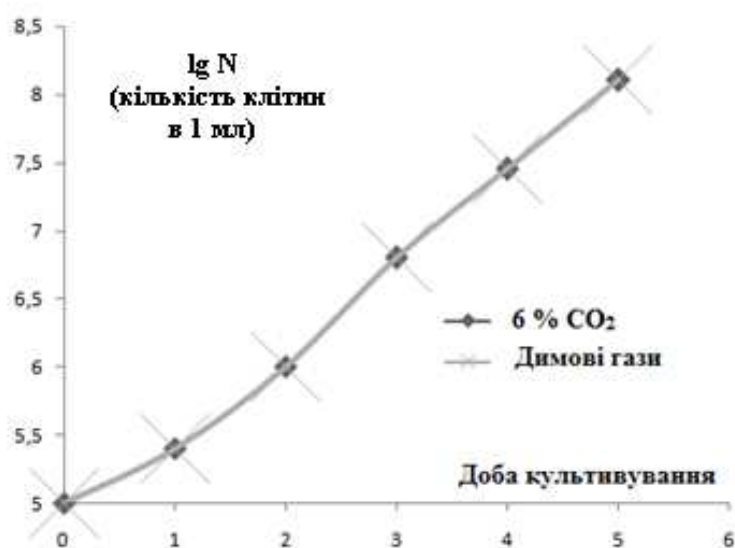


Рисунок 3 – Залежності приросту біомаси мікрободоростей *Chlorella vulgaris* при барботуванні повітрям з чистим  $\text{CO}_2$  та димовими газами

Для з'ясування впливу домішок оксидів сульфуру та нітрогену, що містяться в димових газах, проводили порівняння середовища культивування при барботуванні повітрям з додатком чистого  $\text{CO}_2$  (рис. 3). Чисте  $\text{CO}_2$  одержували при зброджуванні цукру *Saccharomyces cerevisiae*. Концентрація  $\text{SO}_2$  і  $\text{NO}_2$  у барботажному повітрі складала 0,3 і 0,1 % відповідно. При періодичному барботуванні наявність домішок оксидів сульфуру і нітрогену не впливає на приріст біомаси та розмноження клітин мікрободоростей *Chlorella vulgaris*.

### Висновки

1. Барботування культурального середовища повітрям з підвищеним вмістом  $\text{CO}_2$  позитивно впливає на приріст мікрободоростей *Chlorella vulgaris* та накопичення ними ліпідів. При цьому підвищується вихід вищих жирних кислот C:16, C:18. Найбільший приріст мікрободоростей спостерігається при барботуванні з концентрацією  $\text{CO}_2$  в повітрі 4-6%.

2. Збільшення у повітрі концентрації  $\text{CO}_2$  до 10% при постійному барботуванні знижує швидкість приросту біомаси за рахунок зниження рН розчину, що є стресовим фактором для розмноження водоростей. При цьому підвищується вміст ненасичених жирних кислот.

3. Періодичне барботування повітрям з підвищеним вмістом  $\text{CO}_2$  (10-15%) скорочує час подвоєння клітин до 6 разів.

4. Для культивування мікрободоростей *Chlorella vulgaris* можливо використовувати неочищені газові викиди.

### Література

1. John Sheehan. A look back at the U.S. Department of Energy's aquatic species program – Biodiesel from algae. – The National Renewable Energy Laboratory, Colorado: 1998. – 296 p.

2. Rengel A. Promising technologies for biodiesel production from algae growth systems / A.Rengel // 8<sup>th</sup> IFSA Symposium, France, 2008. – P. 683–692.
3. Peer M.Schenk. Second generation biofuels: high-efficiency microalgae for biodiesel production/ Peer M.Schenk, Skye R.Thomas-Hall// Bioenerg. Res. – 2008. – 1:20-43. – P. 20–43.
4. M.Prathima Devi, CO<sub>2</sub> supplementation for microalgae lipid accumulation under mixotrophic microenvironment. Effect of sparging period and interval / Devi M.Prathima, S.Venbeata Mohan // Bioresource technology. Accepted manuscript, 2012.– 29 p.
5. Wei Yiong Double CO<sub>2</sub> fixation in photosynthesis-fermentation model enhances algal lipid synthesis for biodiesel production / Yiong Wei, Gao Chunfang, Yan Dong, Wu Chao, Wu Origyu // Bioresource technology, 2010.– v.101.– P. 2287–2293.
6. Becker E.W. Microalgae: biotechnology and microbiology/ E.W.Becker. – Cambridge University Press, 1994. – 301 p. – ISBN 0521350204.
7. Senthil Chinnasamy. Biomass production potential of a wastewater alga *Chlorella vulgaris* ARC 1 under elevated levels of CO<sub>2</sub> and temperature / S.Chinnasamy, B.Ramakrishnan, A. Bhatnagar, K.C.Das // International journal of molecular sciences. – 2009. – №10. – P. 518–532. – ISBN 1422-0067.
8. Kuei-Ling Yeh pH-stat photoheterotrophic cultivation of indigenous *Chlorella vulgaris* ESP-31 for biomass and lipid production using acetic acid as the carbon source / Yeh Kuei-Ling, Chen Chun-Yen, Chang Jo-Shu // Biochemical Engineering J., 2012.– v. 64.– P. 1–79
9. Mayo A.W. Effects of temperature and pH on the kinetic growth of unialga *Chlorella vulgaris* cultures containing bacteria / A.W. Mayo // Water Environment Research. – 1997. – Vol. 69, №1. – pp. 64–72.
10. Утипис В.В. Макро- и микроэлементы в оптимизации минерального питания микроводорослей. – Рига: Зинанте, 1983. – 240 с.
11. Трифонов В.Ю. Использование дымовых газов, образующихся в процессе термической переработки твердых бытовых отходов, для выращивания микроводоросли *Spirulina platensis* / В.Ю. Трифонов // Экологический вестник России. – 2009. – №9. – С. 28–32.
12. Великая Е.И. Лабораторный практикум по курсу общей технологии бродильных производств (общин методы контроля). – 2-е изд., перераб. И доп. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1983. – 312 с.
13. prEN 14214:2002, Automotive fuels – Fatty acid methyl esters (FAME) for diesel engines – Requirements and test methods [Текст] / European committee for standartisation. – 2002. – P. 13

Bibliography (transliterated)

1. John Sheehan. A look back at the U.S. Department of Energy’s aquatic species program – Biodiesel from algae. – The National Renewable Energy Laboratory, Colorado: 1998. – 296 p.
2. Rengel A. Promising technologies for biodiesel production from algae growth systems A.Rengel 8th IFSA Symposium, France, 2008. – P. 683–692.
3. Peer M.Schenk. Second generation biofuels: high-efficiency microalgae for biodiesel production Peer M.Schenk, Skye R.Thomas-Hall Bioenerg. Res. – 2008. – 1:20-43. – P. 20–43.
4. M.Prathima Devi, CO<sub>2</sub> supplementation for microalgae lipid accumulation under mixotrophic microenvironment. Effect of sparging period and interval Devi M.Prathima, S.Venbeata Mohan Bioresource technology. Accepted manuscript, 2012.– 29 p.
5. Wei Yiong Double CO<sub>2</sub> fixation in photosynthesis-fermentation model enhances algal lipid synthesis for biodiesel production Yiong Wei, Gao Chunfang, Yan Dong, Wu Chao, Wu Origyu Bioresource technology, 2010.– v.101.– P. 2287–2293.
6. Becker E.W. Microalgae: biotechnology and microbiology/ E.W.Becker. – Cambridge University Press, 1994. – 301 p. – ISBN 0521350204.
7. Senthil Chinnasamy. Biomass production potential of a wastewater alga *Chlorella vulgaris* ARC 1 under elevated levels of CO<sub>2</sub> and temperature S.Chinnasamy, B.Ramakrishnan, A. Bhatnagar, K.C.Das International journal of molecular sciences. – 2009. – #10. – P. 518–532. – ISBN 1422-0067.
8. Kuei-Ling Yeh pH-stat photoheterotrophic cultivation of indigenous *Chlorella vulgaris* ESP-31 for biomass and lipid production using acetic acid as the carbon source Yeh Kuei-Ling, Chen Chun-Yen, Chang Jo-Shu Biochemical Engineering J., 2012.– v. 64.– P. 1–79
9. Mayo A.W. Effects of temperature and pH on the kinetic growth of unialga *Chlorella vulgaris* cultures containing bacteria A.W. Mayo Water Environment Research. – 1997. – Vol. 69, #1. – pp. 64–72.
10. Utipis V.V. Макро- i mikroelementyi v optimizatsii mineralnogo pitaniya mikrovodorosley. – Riga: Zinante, 1983. – 240 p.

11. Trifonov V.Yu. Ispolzovanie dyimovyih gazov, obrazuyuschihhsya v protsesse termicheskoy pererabotki tverdyih byitovyih othodov, dlya vyiraschivaniya mikrovodorosli *Spirulina platensis* V.Yu. Trifonov Ekologicheskii vestnik Rossii. – 2009. – #9. – p. 28–32.

12. Velikaya E.I. Laboratornyi praktikum po kursu obschey tehnologii brodilnyih proizvodstv (obschin metody kontrolya). – 2-e izd., pererab. I dop. – M.: Legkaya i pischevaya prom-st, 1983. – 312 p.

13. prEN 14214:2002, Automotive fuels – Fatty acid methyl esters (FAME) for diesel engines – Requirements and test methods [Tekst] European committee for standartisation. – 2002. – P. 13

УДК 662.767.3

Голуб Н.Б., Воевода Д.В.

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДОРОСЛЕЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ (УТИЛИЗАЦИЯ CO<sub>2</sub>)**

Показана возможность использования неочищенных газовых выбросов производств для культивирования микроводоросли *Chlorella vulgaris* с целью получения биодизельного топлива. При периодичном режиме барбатирования культуральной среды воздухом, в котором содержание CO<sub>2</sub> составляет 10–15 % , увеличивается как прирост биомассы, так и липидной фракции с преобладанием высших жирных кислот C:16, C:18, что влияет на качество биодизельного топлива.

Golub N.B., Voeyvoda D.V.

### **THE USAGE OF ALGAE FOR PRODUCTION FUELS (UTILIZATION OF CO<sub>2</sub>)**

It is shown the opportunity of usage untreated gas emissions from manufacturing for cultivation microalgae *Chlorella vulgaris* for the future biodiesel production. It was found that the periodic aeration of culture medium with the concentration of CO<sub>2</sub> in air flow of about 10–15 % increased not only the biomass productivity, but also lipid content with the predominance of higher fatty acids C:16, C:18 that affects the quality of biodiesel.



**УТОЧНЕННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОТЕРЬ  
В РАДИАЛЬНОЙ ГИДРООБЪЕМНОЙ ПЕРЕДАЧЕ С ШАРИКОВЫМИ ПОРШНЯМИ**

**Постановка проблемы.** Как отмечается в работе [1], для отечественного школы танкостроения традиционным является поперечное расположение силового агрегата и трансмиссии в моторно-трансмиссионном отделении (МТО). В сочетании с применением 2-тактных многотопливных двигателей оригинальной конструкции семейства 5ТД (6ТД), этим достигается уменьшение габаритов и силуэта украинских танков, при одновременном сохранении высокой удельной мощности по сравнению с зарубежными образцами. Оборудование перспективных отечественных боевых бронированных машин гидрообъемными трансмиссиями позволяет создать достаточно компактную конструкцию МТО, придавая таким образцам неоспоримые конкурентные преимущества. Результатом совместного труда специалистов КП ХКБМ им. А.А. Морозова, ЗАО «НИИГидропривод» и НТУ «ХПИ» стало создание гидрообъемной радиально-поршневой передачи с шариковыми поршнями ГОП-900, не имеющей аналогов в странах СНГ (рис. 1). Предел технологического совершенства гидропередачи типа ГОП-900 пока не достигнут, поэтому для более полного использования ее теоретических преимуществ, все еще очень *актуальным* вопросом остается обоснование рационального выбора конструктивных параметров и материалов.

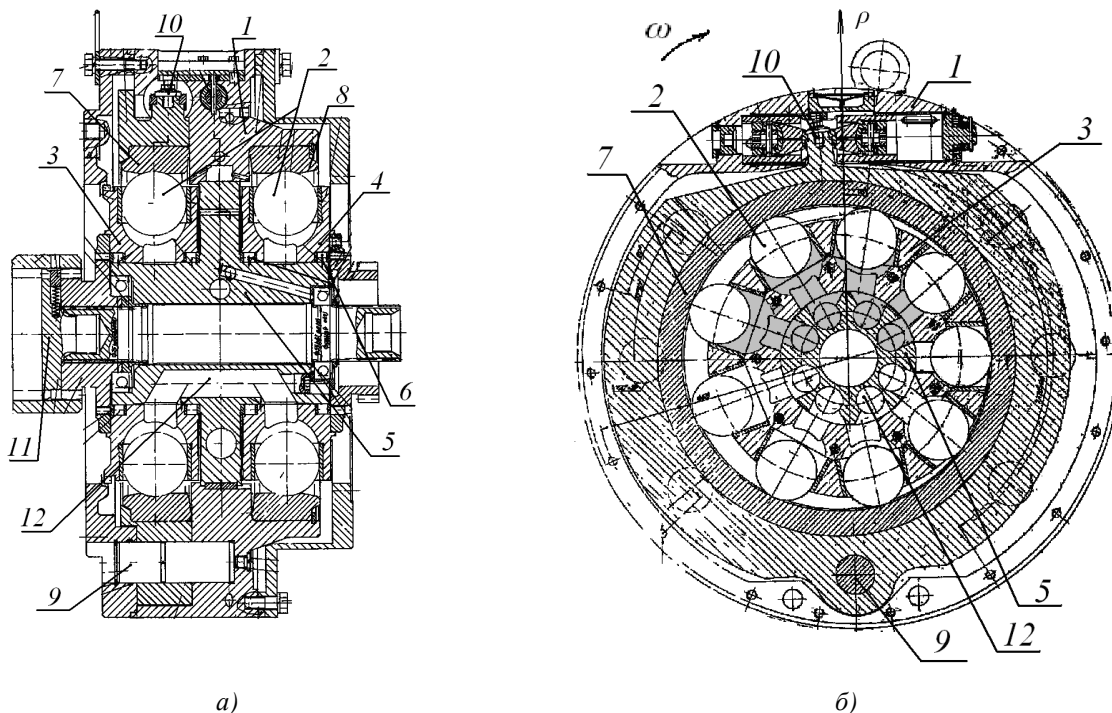


Рисунок 1 – Гидропередача ГОП-900: а) осевое сечение; б) поперечное сечение; 1 – корпус гидропередачи; 2 – шариковые поршни; 3 – блок цилиндров гидронасоса (ГН); 4 – блок цилиндров гидромотора (ГМ); 5 – блок цапфенных распределителей (БЦР); 6 – опорные роликовые подшипники; 7 – статорное кольцо гидронасоса; 8 – статорное кольцо гидромотора; 9 – ось статорного кольца гидронасоса; 10 – сервомеханизм управления; 11 – приводной вал, 12 – рабочий канал

**Анализ публикаций.** При выборе рациональных параметров гидрообъемной гидравлической машины общепринятым является подход, когда в качестве функции цели выбирается ее коэффициент полезного действия (КПД). Как предлагается в руководстве [2], под *общим* КПД ГОМТ будем понимать произведение механического КПД 1-й гидромашин (гидронасоса)  $\eta_{1М}$ , механического КПД 2-й гидромашин (гидромотора)  $\eta_{2М}$ , объемного КПД  $\eta_O$  и гидравлического КПД  $\eta_G$ :

$$\eta_{ГОМТ} = \eta_{1М} \eta_{2М} \eta_G \eta_O \quad (1)$$

Взяв за основу базовий універсальний алгоритм Самородова В.Б., приведений в роботі [3], определим факторы, определяющие потери в гидропередаче, а, следовательно, и ее КПД. Потери можно разделить на 3 группы:

- механические;
- объемные;
- гидравлические.

В свою очередь, *механические потери* имеют следующие составляющие:

- трение качения в паре шариковый поршень – статор (обойма);
- трение при вращении шарикового поршня в цилиндре;
- трение в подшипниковой опоре ротора гидронасоса / гидромотора;
- трение жидкости в зазоре между поверхностью цапфы и поверхностью ротора ГН / ГМ;

*Объемные потери* складываются из:

- напорные утечки в поршневой группе (т.е. в паре шариковый поршень – цилиндр);
- скоростные утечки в поршневой группе (вынос рабочей жидкости);
- утечки в зазорах между цилиндрическими поверхностями цапф блока цапфенных распределителей и ротора гидронасоса / гидромотора;

*Гидравлические потери* давления на преодоление местных сопротивлений обусловлены деформацией потока рабочей жидкости и преодолением прямого участка магистрали (рабочих каналов) при ее движении от гидронасоса к гидромотору через рабочие каналы блока цапфенных распределителей.

Проведенный анализ печатных работ показал, что *ни в одной из изученных методик* оценки потерь в радиальной гидрообъемной передаче с шариковыми поршнями (типа ГОП-900) не учитывались потери жидкости на разгон и торможение. Между тем, данный фактор механических потерь требует более внимательного изучения, так как с ростом угловой скорости вращения ротора этот вид потерь растет.

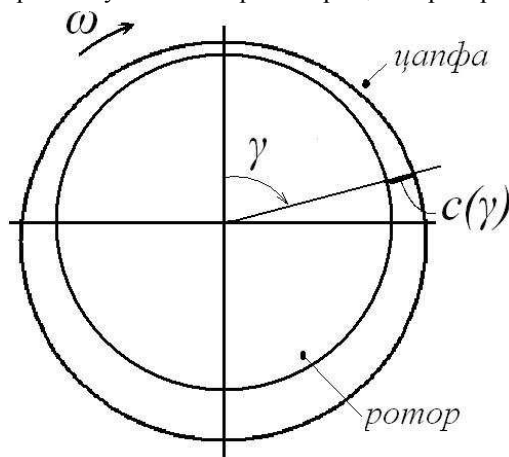


Рисунок 2 – Зазор между цапфой и ротором

При оценке потерь на трение в подшипниковой опоре ротора ГН / ГМ, а также при расчете утечек в зазорах между цилиндрическими поверхностями цапф блока цапфенных распределителей и ротора ГН / ГМ в методике Самородова В.Б. используется приближенная аналитическая зависимость для моделирования зазора  $c(\gamma)$  между поверхностью ротора и поверхностью цапфы. Согласно этой методике зазор является монотонно меняющейся величиной, зависящей от обобщенной координаты  $\gamma$ , и отражает взаимное положение поверхностей цапфы и ротора с некоторым эксцентриситетом (рис. 2).

В реальной конструкции как роторы, так и блок цапфенных распределителей являются высоконагруженными элементами, и характер распределения зазора при их совместном деформировании пока не изучен.

**Постановка задачи и цель.** Данная работа посвящена детальному изучению 2 факторов, влияющих на общий КПД гидропередачи, которые ранее не принимались во внимание:

- анализ механических потерь на разгон и торможение рабочей жидкости;
- моделирование реального зазора между поверхностями роторов и блока цапфенных распределителей.

#### Методика моделирования.

1 Разгон и торможение жидкости.

Рассмотрим расчетную схему (рис. 3). Порция жидкости  $\Delta m$ , вращающаяся в цилиндре ротора с угловой скоростью  $\omega$ , имеет кинетическую энергию  $\Delta W_{окр}$ . Будучи вытесняемой из цилиндра ротора ГН и заходя в приемное окно БЦР, порция жидкости  $\Delta m$  мгновенно меняет направление и скорость своего движения, приобретая в этот момент кинетическую энергию  $\Delta W_{кан}$ , при этом часть исходной кинетической энергии жидкости безвозвратно теряется в виде тепловых потерь. Точно также, при выходе из приемного окна БЦР и попадании в ротор ГМ, порция жидкости мгновенно раскручивается, меняя направление и скорость своего движения, отбирая часть кинетической энергии ротора.

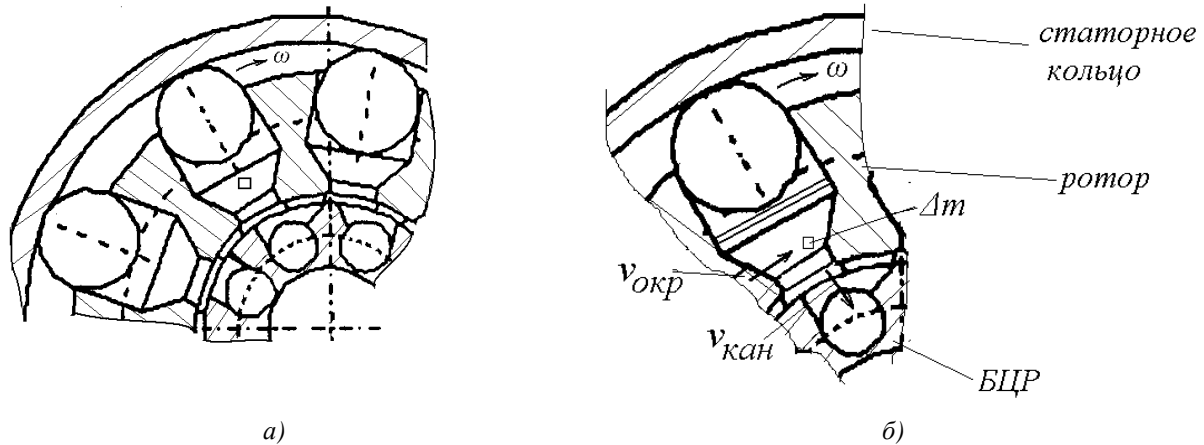


Рисунок 3 – К расчету потерь на разгон-торможение жидкости:  
а) общий вид; б) частица жидкости в полости цилиндра ротора

Потеря энергии для всей гидромашины (гидронасос либо гидромотор) составит:

$$\Delta W_{пт} = \sum_{i=1}^z \Delta W_{пт}^{(i)} \quad (2)$$

где  $i$  – номер цилиндра (в круглых скобках);  $z$  – количество цилиндров.

Оценим потери энергии на разгон-торможение жидкости по каждому цилиндру:

$$\Delta W_{пт}^{(i)} = \Delta W_{окр}^{(i)} - \Delta W_{кан}^{(i)} \quad (3)$$

$$\Delta W_{пт}^{(i)} = \frac{\Delta m^{(i)}}{2} \left[ (v_{окр}^{(i)})^2 - (v_{кан}^{(i)})^2 \right] \quad (4)$$

где  $\Delta W_{окр}$  – кинетическая энергия порции жидкости при движении в окружном направлении;  $\Delta W_{кан}$  – кинетическая энергия порции жидкости при ее движении в канале;  $\Delta m$  – масса порции жидкости, вытесняемой из цилиндра ротора в окно рабочего канала цапфы;  $v_{окр}$  – касательная составляющая скорости движения порции жидкости в окружном направлении в роторе;  $v_{кан}$  – скорость порции жидкости в перпендикулярном вращению направлении при ее движении в рабочем канале БЦР.

Масса порции жидкости:

$$\Delta m^{(i)} = \rho \pi R_3^2 h(\gamma_i) \quad (5)$$

где  $h(\gamma_i)$  – перемещение  $i$ -го поршня, зависящее от его угла поворота  $\gamma_i$  в относительной системе координат, связанной с центром вращения ротора.

Касательная составляющая скорости в окружном направлении в роторе:

$$v_{окр}^{(i)} = \omega R = \omega \left( \frac{R_1 + R_2}{2} - 2R_3 - h(\gamma_i) \right) \quad (6)$$

где  $R$  – некий усредненный радиус вращения порции жидкости, зависящий в свою очередь от геометрических параметров гидромашины  $R_1, R_2, R_3$  и перемещения поршня  $h(\gamma_i)$ .

Скорость порции жидкости в канале:

$$v_{кан}^{(i)} = \frac{dh(\gamma_i)}{dt} = -E\omega \sin \gamma_i \left( 1 + \frac{\lambda \cos \gamma_i}{\cos \alpha_i} \right), \quad (7)$$

где  $\alpha_i$  – некоторый параметр, зависящий от  $\gamma_i$ .

Следовательно, потеря кинетической энергии жидкости, находящейся в  $i$ -м цилиндре ротора за 1 оборот его вращения составит:

$$\Delta W_{pm}^{(i)} = \frac{\rho \pi R_3^2 \omega^2}{8} \int_0^{2\pi} \left[ \left( \frac{R_1 + R_2}{2} - 2R_3 - h(\gamma_i) \right)^2 - E^2 \sin^2 \gamma_i \left( 1 + \frac{\lambda \cos \gamma_i}{\cos \alpha_i} \right)^2 \right] h(\gamma_i) d\gamma_i. \quad (8)$$

Или же, потери мощности составят:

$$\Delta N = z \frac{\rho \pi R_3^2 \omega^2}{8T} \int_0^{2\pi} \left[ \left( \frac{R_1 + R_2}{2} - 2R_3 - h(\gamma_i) \right)^2 - E^2 \sin^2 \gamma_i \left( 1 + \frac{\lambda \cos \gamma_i}{\cos \alpha_i} \right)^2 \right] h(\gamma_i) d\gamma_i, \quad (9)$$

где  $T$  – период вращения ротора.

## 2. Моделирование зазора между поверхностями роторов и БЦР

В работе [4] описана специальная расчетная методика, которая позволяет оценить совместное деформирование блока цапфенных распределителей и роторов гидронасоса и гидромотора. Таким образом, эта методика дает возможность оценить деформацию цилиндрических поверхностей цапф и роторов, и, следовательно, вычислить зазор между этими элементами.

Для исследования работы ГОП используется квазистатический подход, согласно которому по методу конечных элементов исследуется напряженно-деформированное состояние деталей ГОП под действием статической нагрузки, соответствующей мгновенному значению динамической нагрузки в некоторые моменты времени.

Конечно-элементная модель, описывающая совместное деформирование БЦР и ротора приведена на рис. 4.

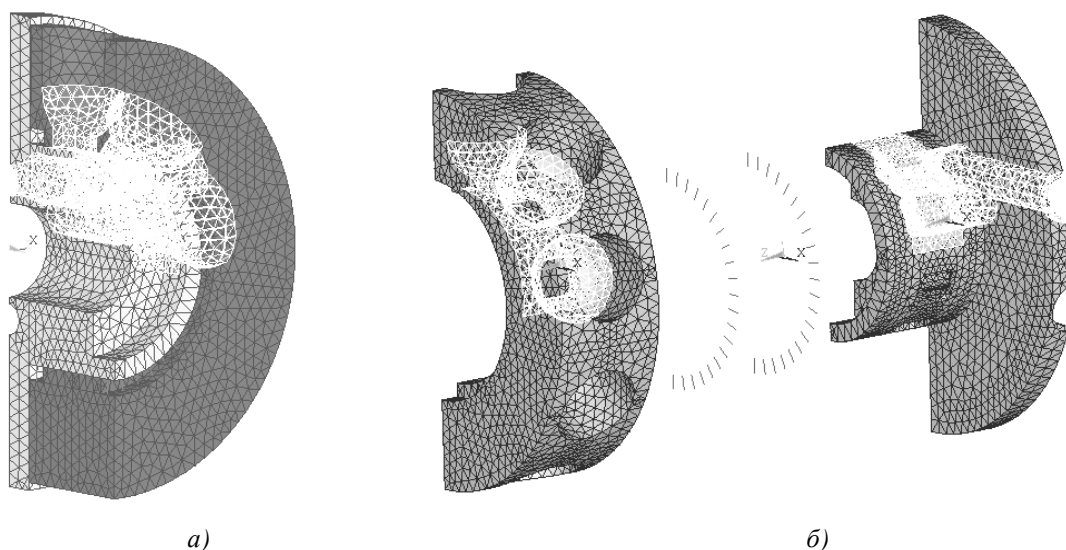


Рисунок 4 – Конечно-элементная модель: а) в сборе; б) составные части модели – 1/2 часть ротора, часть упругих элементов, 1/4 часть БЦР, распределенное давление

Она представляет собой 1/4 часть реальной конструкции. Поскольку конструкция гидронасоса и гидромотора является идентичной, в рассмотрение принимается половина БЦР вместе с ротором. Еще половина может быть отброшена в силу геометрической и силовой симметрии. БЦР по своему поперечному сечению жестко закрепляется. По поверхностям осевого сечения ротора и БЦР прикладываются симметричные граничные условия. Ротор и БЦР соединены между собой конечными элементами специального вида, имеющие нелинейную упругую характеристику идентичную опорным роликам. Нагрузка представляет собой давление, приложенное по поверхностям элементов, соответствующим зоне нагнетания:

- рабочим каналам БЦР;
- части поверхности цапфы;
- цилиндрам ротора;
- части поверхности ротора.

Модель находится в цилиндрической системе координат, в которой плоскость  $\rho O \varphi$  совпадает с поперечным сечением БЦР, а ось  $z$  совпадает с осью вращения ротора.

После проведения статического расчета формируются массивы данных с результатами радиальных перемещений, по которым вычисляются функции зазора, задаваемые в табличной форме (числовой массив):

$$c_i(\varphi_j) = u_{\rho}^{rom}(\varphi_j) - u_{\rho}^{БЦР}(\varphi_j) + \Delta, \quad (10)$$

где  $i$  – числовой идентификатор зазора (корневой или периферийный,  $i = \overline{1, 2}$ );  $j$  – номер узла, принадлежащего линии зазора;  $\varphi_j$  – угловая координата узла, принадлежащего ротору, узла, принадлежащего БЦР, которые определяют зазор;  $u_{\rho}^{rom}$ ,  $u_{\rho}^{БЦР}$ , радиальные перемещения узлов ротора и БЦР, соответственно;  $\Delta$  – значение гарантированного зазора, задаваемого по конструкторской документации.

По числовым табличным данным строятся схематические кривые изменения зазора, а также формируются массивы данных для использования в специализированном программном пакете для определения КПД гидropередачи.

**Выводы.**

*1. Потери на разгон и торможение жидкости.*

Зависимость (9) использована в специализированном программном пакете для определения КПД гидropередачи. Сравнение полученных результатов вычисления мощности механических потерь показывают, что потери мощности на разгон-торможение составляют от 47,8 % до 80,6 % мощности остальных видов механических потерь вместе взятых, определенных на базовой математической модели [3]. Таким образом, данный вид механических потерь является очень существенным фактором, и требует обязательного учета в новой уточненной математической модели потерь в ГОП.

*2. Моделирование зазора между поверхностями роторов и БЦР*

На рис. 5 приведены кривые, характеризующие изменение зазора между цилиндрическими поверхностями цапфы БЦР и ротора. Прерывистой линией показано распределение зазора, полученное расчетным путем по методу конечных элементов (зазор 1 соответствует корневой части, зазор 2 – периферийной). Сплошной линией показано условное распределение зазора, которое также схематически показано на рис. 2; такое распределение используется в базовой математической модели [3].

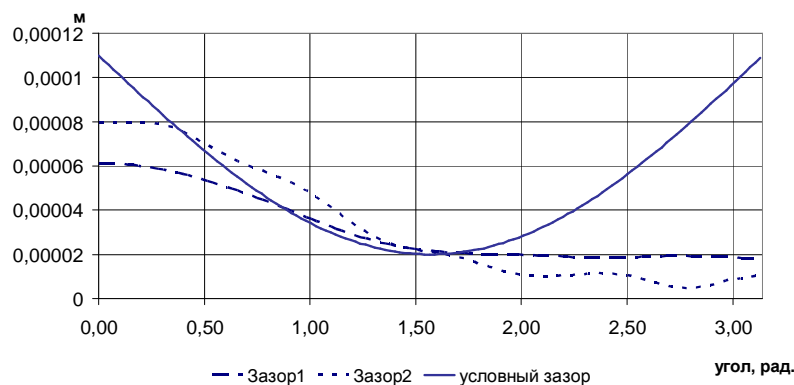


Рисунок 5 – Распределение зазора между цилиндрическими поверхностями цапфы БЦР и ротора

Численные значения объемных потерь через утечки в зазорах между БЦР и ротором ГН / ГМ, которые были полученные на базовой модели и на уточненной, показали разницу порядка 20 %. Это показывает целесообразность включения в уточненную модель возможность учета деформирования поверхностей.

Кроме того, беря во внимание, что изгибная жесткость цапф не только определяет характер распределения зазора между БЦР и ротором, но и зависит от конфигурации и сечения рабочих каналов БЦР, уточнение модели выглядит оправданным также в плане последующей оптимизации геометрии каналов БЦР.

Литература

1. Бибик Д.В. К вопросу о гидрообъемной механической трансмиссии / Д.В. Бибик // Интегровані технології та енергозбереження.– 2008 – №2.– С. 67–71.
2. Гидравлика, гидравлические машины и гидравлические приводы / Башта Т.М. и др. М.: Машиностроение, 1970. – 504 с.
3. Теоретическое обоснование и выбор конструктивных параметров радиально-поршневых гидромашин, работающих в составе ГОМТ гусеничных машин и разработка системы автоматического управления движением гусеничных машин с ГОМТ / Научно-технический отчет по этапу №1 договора №7/99 от 01.10.1999 г. Харьков: НПО «Политехник», 2000. – 242 с.
4. Бибик Д.В. Методика моделирования совместного деформирования деталей, соединенных посредством тел качения / Д.В. Бибик, О.И. Деркач, В.А. Федоров, И.В. Яловол // Вестник НТУ «ХПИ».– 2010 – вып.39.– С. 11–16.

Bibliography (transliterated)

1. Bibik D.V. K voprosu o gidroob'emnoy mehanicheskoy transmissii D.V. Bibik Integrovani tehnologiyi ta energozberezheniya.– 2008 – №2.– p. 67–71.
2. Gidravlika, gidravlicheskie mashiny i gidravlicheskie privodyi Bashta T.M. i dr. M.: Mashinostroenie, 1970. – 504 p.
3. Teoreticheskoe obosnovanie i vyibor konstruktivnyih parametrov radialno-porshnevyyih gidroma-shin, rabotayuschih v sostave GOMT gusenichnyih mashin i razrabotka sistemy avtomaticheskogo upravleniya dvizheniem gusenichnyih mashin s GOMT Nauchno-tehnicheskiiy otchet po etapu #1 dogovora #7/99 ot 01.10.1999 g. Harkov: NPO «Politehnik», 2000. – 242 p.
4. Bibik D.V. Metodika modelirovaniya sovmestnogo deformirovaniya detaley, soedinennyih posred-stvom tel kacheniya D.V. Bibik, O.I. Derkach, V.A. Fedorov, I.V. Yalovol Vestnik NTU «HPI».– 2010 – vyip.39.– p. 11–16.

УДК 539.3

Бібік Д.В.

**УТОЧНЕНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВТРАТ У РАДІАЛЬНІЙ ГІДРООБ'ЄМНІЙ ПЕРЕДАЧІ ІЗ КУЛЬКОВИМИ ПОРШНЯМИ**

В статті розглядаються фактори механічних та об'ємних втрат у радіальній гідрооб'ємній передачі, які раніше не приймалися до уваги, а саме механічні втрати на розгін та гальмування робочої рідини, а також визначення реального зазору між блоком цапфових розподільників та ротором. Зроблено висновок про необхідність врахування цих факторів в уточненій математичній моделі.

Bibik D.V.

**ADJUSTED MATHEMATICAL MODEL OF LOSSES IN A RADIAL HYDROVOLUMETRIC TRANSMISSION WITH BALL PISTONS**

Some factors of mechanical and volumetric losses are considered in the paper. They are mechanical losses on acceleration and deceleration of operation fluid, and actually defined gap between block of trunnion distributors and rotor. It is concluded that these factors should be considered in adjusted mathematical model.



УДК 629.1.032.1

Возгрин Ю.В., Герасименко В.И., Золотуха В.Н., Кузьминский В.А., Крот С.Г.

### МОЩНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА СИЛОВЫХ УСТАНОВОК БРОНЕТРАНСПОРТЕРОВ, РАЗРАБОТАННЫХ В КП ХКБМ

**Актуальность темы.** Современные военные концепции сухопутных войск выдвигают повышение требований к подвижности, проходимости, защите, огневой мощи и плавучести боевых транспортных средств мотопехотных подразделений. Учитывая мировые тенденции развития вооружения, а также запросы рынка, в конструкторском бюро им. А.А. Морозова в течение последних десяти лет проводились работы по проектированию и изготовлению четырехосных бронетранспортеров (БТР), в составе моторно-трансмиссионных установок которых были использованы отечественные и зарубежные двигатели мощностью 220...370 кВт (300...500 л.с.), а также автоматические коробки передач (АКП) собственного изготовления и фирмы Allison. В результате были созданы следующие модели:

- БТР-ДА с двигателем DEUTZ BF 6M 1015, вентиляторной системой охлаждения (СО) и 6-ти скоростной АКП Allison MD 3066;
- БТР-3Е с двигателем УТД-20С1, эжекционной СО и 5-ти скоростной КП (индекс 14.1700105);
- БТР-3Е1 с двигателем MTU 6R 106 TD 21, вентиляторной СО и 6-ти скоростной АКП Allison Transmission MD 3200SP;
- БТР-4А с двигателем IVECO Cursor 10(C10ENTC), вентиляторной СО и 5-ти скоростной АКП B1318.40.010сб-1;
- БТР-4Е с двигателем ЗТД-3А, эжекционной СО и 5-ти скоростной АКП B1318Е.40.010сб;
- БТР-4В с двигателем DEUTZ BF6M1015CP, вентиляторной СО и 6-ти скоростной АКП Allison 4500 SP.

В зависимости от создавшихся экономических и политических условий одни из них стали выпускаться серийно, а другие остались только в виде опытных образцов. Тем не менее, все они проходили полевые и стендовые испытания по подтверждению своих характеристик, в результате чего полученный исследовательский материал позволяет произвести сравнительный анализ моторно-трансмиссионных установок по основным показателям. В связи с этим весьма актуальным является вопрос о выборе эффективной моторно-трансмиссионной установки, устанавливаемой в бронетранспортёр и отвечающей всем требованиям заказчика.

**Целью статьи** является сравнительная оценка разработанных в КП ХКБМ им. А.А. Морозова моторно-трансмиссионных установок БТР по показателям качества и мощностным характеристикам. В настоящей работе приводятся экспериментальные данные по основным параметрам моторно-трансмиссионных установок и методы оценки совершенства конструктивных элементов. Эксперименты проводились на стенде комплексных испытаний моторно-трансмиссионных отделений.

**Основная часть.** Силовая установка (СУ) – это совокупность двигателя и систем, обеспечивающих его работу в заданных технических требованиях условиях. Силовая установка с трансмиссией образуют моторно-трансмиссионную установку, которая обычно размещается в изолированном объеме корпуса изделия, называемом моторно-трансмиссионным отделением (МТО). Объем МТО обычно определяется типом и конструктивными особенностями двигателя и трансмиссии, пространственным расположением их в корпусе, соединением двигателя с трансмиссией и особенностями систем СУ. Поскольку приведенные выше БТР плавающие и оборудованы водяными движителями, все они имеют завышенные объемные показатели по сравнению с объемами

МТО танков, что обусловлено требованиями к плавучести машин. Создание силовых установок связано, как правило, с исследованием их моделей, хотя такие исследования весьма трудоёмки и дороги, тем не менее они оправданы и необходимы для обеспечения надёжной конструкции с заданными тактико-техническими параметрами.

Оценка качества СУ дается по показателям назначения и конструктивным параметрам, номенклатура которых определена отраслевыми стандартами [1]. Основными из них является максимальная мощность СУ, сухая масса МТУ, удельная мощность МТУ, удельный расход топлива. Для сравнения между собой СУ различных машин целесообразно использовать также такие мощностные и габаритно – массовые показатели, как относительные потери мощности, объемную мощность МТО, удельную мощность всего БТР.

В таблице 1 приведены наименования основных показателей качества, формулы их расчета и полученные значения для моделей БТР, рассматриваемых в данной статье.



По представленным в таблице 1 значениям удельного расхода топлива видно, что дизель MTU 6R106TD21 обладает лучшей топливной экономичностью ( $g_e = 194...207$  г/кВтч), а дизели DEUTZ BF 6M 1015 и УТД-20С1 имеют несколько большие величины удельных расходов  $g_e$  по сравнению с остальными, хотя в целом эти различия между расходами незначительны (не более 10 %), что свидетельствует о высоком качестве исполнения данных двигателей с применением современных технологий.

Таблица 1

Наименование показателя	Обозначение	Наименование бронетранспортера					
		БТР-ДА	БТР-3Е	БТР-3Е1	БТР-4А	БТР-4Е	БТР-4В
Марка двигателя	---	Deutz BF6M 1015	УТД-20С1	MTU 6R106TD21	IVECO Cursor 10 C10ENTC	3ТД-3А	Deutz BF6M1015CP
Максимальная стендовая мощность двигателя, кВт (л.с.)	$N_e^{ст}$	240 (326)	220 (300)	240 (326)	316 (430)	368 (500)	330 (449)
Максимальная мощность двигателя в условиях объекта, кВт (л.с.)	$N_e^{об}$	210 (291)	191 (260)	210 (291)	286 (390)	305 (415)	300 (408)
Удельный расход топлива, г/кВт.ч : – минимальный; – на режиме максимальной мощности дизеля	$g_e$	205 230	225 238	194 207	196 216	--- 211	195 212
Сухая масса двигателя (без заправок топливом, маслом и охлаждающей жидкостью), т	$m_{дв}$	0.83	0.67	0.61	0.93	0.90	0.83
Сухая масса двигателя и его систем без наружных бронированных топливных баков, т	$m_{дв} + m_c$	1.332	1.555	1.170	1.666	1.866	1.648
Марка коробки передач	---	Allison MD 3066	14.1700 105	Allison MD 3200SP	B1318.40. 010с6-1	B1318E .40.010с 6	Allison MD 4500SP
Сухая масса коробки передач, т	$m_{кп}$	0.243	0.31	0.268	0.375	0.475	0.31
Сухая масса трансмиссии, т	$m_{тр}$	1.963	2.03	1.988	2.640	2.562	2.531
Сухая масса МТУ без наружных бронированных топливных баков, т	$m_{мту} = m_{дв} + m_c + m_{тр}$	3.295	3.585	3.158	4.306	4.428	4.179
Максимальная масса изделия, т	$m_{брт}$	14.2	15.0	16.5	21.0	21.9	21.9
Удельная мощность МТУ, л.с./т	$\frac{N_e^{об}}{m_{мту}}$	91.0	72.7	94.7	90.6	93.7	97.6
Относительные потери мощности силовой установки	$\frac{N_e^{ст} - N_e^{об}}{N_e^{ст}}$	0.11	0.13	0.11	0.09	0.17	0.09
Объем моторно-трансмиссионного отделения, м <sup>3</sup>	$V_{МТО}$	6.8	6.8	6.8	5.4	5.4	5.4
Объемная мощность МТО, л.с./м <sup>3</sup>	$\frac{N_e^{ст}}{V_{МТО}}$	47.94	44.12	47.94	79.63	92.59	83.15
Удельная мощность БТР, л.с./т	$\frac{N_e^{ст}}{m_{брт}}$	22.95	20.00	19.76	20.476	22.83	20.50

Наибольшую удельную мощность МТУ, соответствующую 97.6 л.с./т, имеет БТР-4В; удельные мощности МТУ других БТР несколько меньше и составляют 91...95 л.с./т, кроме мощности МТУ изделия БТР-3Е, у которого она значительно ниже и равна 72.7 л.с./т.

Относительные потери мощности силовых установок с отечественными двигателями УТД-20С1 и 3ТД-3А (соответственно 13 % и 17 %) превышают значения относительных потерь для силовых установок с дизелями DEUTZ, MTU и IVECO, равные 9 % и 11 %. Основными причинами здесь являются особенности потребления мощности и ее потери при функционировании систем охлаждения эжекционного типа на БТР-3Е, БТР-4Е и систем охлаждения вентиляторного типа на БТР-ДА, БТР-3Е1, БТР-4А и БТР-4В, а также тот факт, что отечественные дизели по сравнению с импортными допускают примерно в два раза большее сопротивление систем воздухопитания.

По показателю объемной мощности МТО наиболее перспективен БТР-4Е, имеющий 92.6 л.с./м<sup>3</sup>, затем идут БТР-4В и БТР-4А (соответственно 83.15 л.с./т и 79.63 л.с./т); значения данного показателя для остальных БТР примерно вдвое меньше.

Удельные мощности БТР, созданных в КП ХКБМ, укладываются в существующий диапазон 20...26 л.с./т для бронированных машин пехоты и разведывательных колесных машин основных стран – производителей [2]; при этом наибольшей удельной мощностью 22.95 л.с./т обладает БТР-ДА, затем БТР-4Е (22.83 л.с./т), у других БТР данный показатель составляет порядка 20 л.с./т.

Более реалистичную оценку созданным СУ получают в процессе проведения ходовых и стендовых испытаний БТР, причем следует отметить тот факт, что стендовые испытания моторно-трансмиссионных установок имеют качественное превосходство над полевыми в плане определения мощностных, теплотехнических, экономических и экологических показателей на соответствие стандартам и техническим требованиям, поскольку по существующим нормативам их получают при долговременной стабильной работе двигателя на режимах внешней характеристики.

Определение основных параметров силовых установок БТР производилось на существующем в КП ХКБМ стенде комплексных испытаний моторно-трансмиссионных отделений [3] с применением схемы сборки нагружающих устройств для колесных бронемашин, представленной на рис. 1.

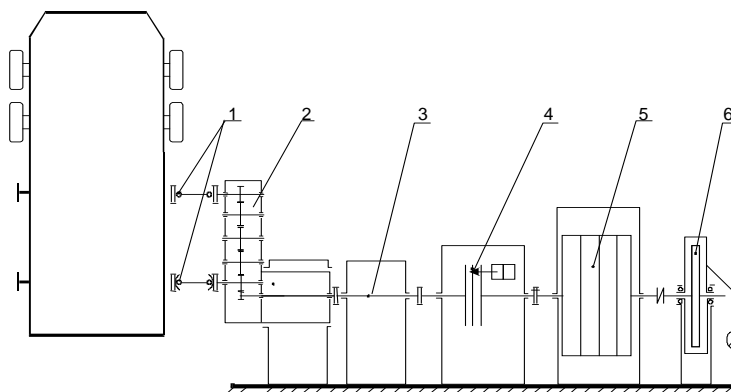


Рисунок 1 – Схема сборки нагружающего устройства для испытаний колесных БТР (на один борт)

1 – карданные валы; 2 – суммирующий редуктор; 3 – соединительный вал; 4 – фрикцион; 5 – инерционный барабан; 6 – индукторный тормоз

В данной схеме используются суммирующие редукторы, позволяющие создавать стендовыми нагружающими устройствами одновременное торможение выходных валов двух задних ведущих мостов БТР (см. рис. 2). В состав левого и правого нагружающих устройств входят: карданные валы, суммирующий редуктор, соединительный вал и индукторный тормоз типа WS-1200 мощностью 1200 кВт (1600 л.с.).

Суммирующий редуктор представляет собой рядный редуктор с одним выходным и двумя входными валами, к которым через карданные валы и переходные детали передаются крутящие моменты со ступиц ведущих колес (см. рис. 2).

Исключение в данной схеме передачи мощности парой трения «резиновая покрывка – дорожное покрытие» значительно упрощает нагружение силовой установки и не заставляет решать проблемы, связанные с имитацией дорожного полотна. Таким образом увеличивается точность измерения мощности на выходных валах ведущих колес, так как не нужно вводить в рассмотрение сложные математические модели по определению геометрии шин, коэффициентов проскальзывания и сцепления. В индукторном тормозе происходит двойное преобразование энергии: подводимый к его ротору крутящий момент тормозится магнитным полем, энергия которого преобразуется в вихревые токи, нагревающие статор. Для отвода тепла статор охлаждается водой. Инерционный барабан имитирует массу испытуемого изделия,

требуемый момент инерции обеспечивается соответствующим набором из 12-ти дисков. Фрикцион служит для предохранения механизмов испытуемого изделия от поломок путём быстрого отключения вращающихся масс инерционного барабана и ротора тормоза.



Рисунок 2 – Подключение суммирующего редуктора к ступицам колёс задних мостов бронетранспортера с помощью карданных валов и переходников

Оборудование, измерительная и управляющая аппаратура стенда позволяют проводить испытания в условиях, достаточно близких к реальным условиям работы двигателя, трансмиссии и их систем, а так же обеспечивают повторяемость этих условий при сравнительных испытаниях. В стендовом боксе предусмотрена возможность подачи на воздухозаборники силовой установки воздуха с регулируемой температурой от +20 до +55 °С, что позволяет проводить отработку систем охлаждения силовых установок для стран с жарким климатом.

Одновременно с определением мощностных характеристик на стенде осуществляется постоянный контроль за рабочим состоянием испытуемой моторно-трансмиссионной установки, заключающийся в измерении её следующих основных параметров:

- частот вращения выходного вала двигателя и выходных валов задних мостов;
- температур и давлений охлаждающей жидкости, моторного и трансмиссионного масел, топлива, воздуха на входе в радиаторы и двигатель, выпускных газов на выходе из него;
- тормозных моментов правого и левого нагружающих устройств.

Для определения этих параметров в составе комплексного стенда имеется измерительный комплекс ТН 800, который состоит из двух совместимых компьютеров, блока согласования – устройства сопряжения с объектом, печатающего устройства и набора информационных датчиков для каждого исследуемого параметра. В зависимости от требований программы испытаний разрабатываются информационные модели, которые с частотой от 1 до 100 Гц и точностью 0.5...1 % обеспечивают приём, обработку, отображение и регистрацию информации с датчиков, установленных на испытываемом изделии. В качестве исходных данных в математические модели закладываются паспортные характеристики датчиков, в особых случаях производится прямая тарировка измерительного канала.

Оценка значений этих основных параметров позволяет количественно определить потерю мощности двигателя и, соответственно, её влияние на конечную мощность силовой установки, вызванную конструктивными особенностями (в случае значительных потерь мощности – негативными) функционирования определённой системы СУ в целом. А затем, опираясь на нормативную документацию двигателя, выбрать направления и методы устранения данного негативного фактора.

Определение мощности на валах ведущих колес при работе МТУ под нагрузкой, создаваемой индукторными тормозами, производится на режимах, характеризующихся устойчивым равномерным вращением валов нагружающих устройств, при использовании следующей формулы:

$$N_{\text{вих}} = \frac{n_l \cdot (M_l + \Delta M_l) + n_{np} \cdot (M_{np} + \Delta M_{np})}{716.2}, \text{ л.с.},$$

где  $n_l$  и  $n_{np}$  – частоты вращения левого и правого тормозов ( $\text{мин}^{-1}$ );  $M_l$  и  $M_{np}$  – тормозные моменты левого и правого тормозов (кгс·м);  $\Delta M_l$  и  $\Delta M_{np}$  – потери на трение в левом и правом нагружающих устройствах (кгс·м), определённые практическим путём на стендах КП ХКБМ.

Стационарные испытания моторно-трансмиссионных установок БТР в разные периоды времени проводились на стенде, собранном по представленной выше схеме, в результате чего были получены мощностные характеристики, приведенные на рис. 3.

При получении данных результаты двигатели работали на режимах внешних характеристик, но в зависимости от требований программ испытаний и пожеланий заказчиков, либо других субъективных факторов, испытания не всегда проводились на всех высших передачах АКП и не во всем рабочем диапазоне частоты вращения коленвалов двигателей ( $n_{\text{ог}}$ ). Так, например, испытания БТР-3Е1 проводились только при включенной III передаче в двух точках внешней характеристики дизеля MTU (на режимах максимальной мощности при  $n_{\text{ог}} = 2000 \text{ мин}^{-1}$  и максимального момента при  $n_{\text{ог}} = 1600 \text{ мин}^{-1}$ ); испытания БТР-4В – при включенной III-ей передаче АКП во всем рабочем диапазоне внешней характеристики дизеля DEUTZ, а на других высших передачах – только на режимах максимальной мощности при  $n_{\text{ог}} = 1900 \text{ мин}^{-1}$ . Тем не менее, по полученным результатам, приведенным на рис. 3, можно в целом выделить следующие общие тенденции для МТУ колесных БТР:

- с увеличением номера передачи АКП происходит снижение мощности  $N_{\text{вих}}$  на валах колес 3-го и 4-го мостов, что связано с увеличением механических потерь в трансмиссиях вследствие повышения частот вращения их элементов;

- на приведенных кривых для определенных передачах АКП некоторых БТР с увеличением частоты  $n_{\text{ог}}$  происходит снижение выходной мощности, в результате чего значения  $N_{\text{вих}}$ , соответствующие режиму максимальной мощности двигателя, меньше других измеренных значений; в каждом отдельном случае это объясняется или значительным повышением потерь мощности с ростом  $n_{\text{ог}}$  в каких-то узлах трансмиссии, или нелинейным увеличением потребляемой мощности отдельными агрегатами также с повышением частоты вращения коленвала двигателя (например, вентиляторами системы охлаждения БТР-4А);

- наибольший диапазон устойчивой работы на внешней характеристике по частоте вращения коленвала, составляющий  $1000 \text{ мин}^{-1}$ , имеет дизель УТД-20С1 (от  $1600$  до  $2600 \text{ мин}^{-1}$ ); меньший диапазон  $600 \text{ мин}^{-1}$  у дизеля IVECO Cursor 10 С ENTC (от  $1500$  до  $2100 \text{ мин}^{-1}$ ); остальные дизели имеют рабочие частотные диапазоны по  $400 \text{ мин}^{-1}$ .

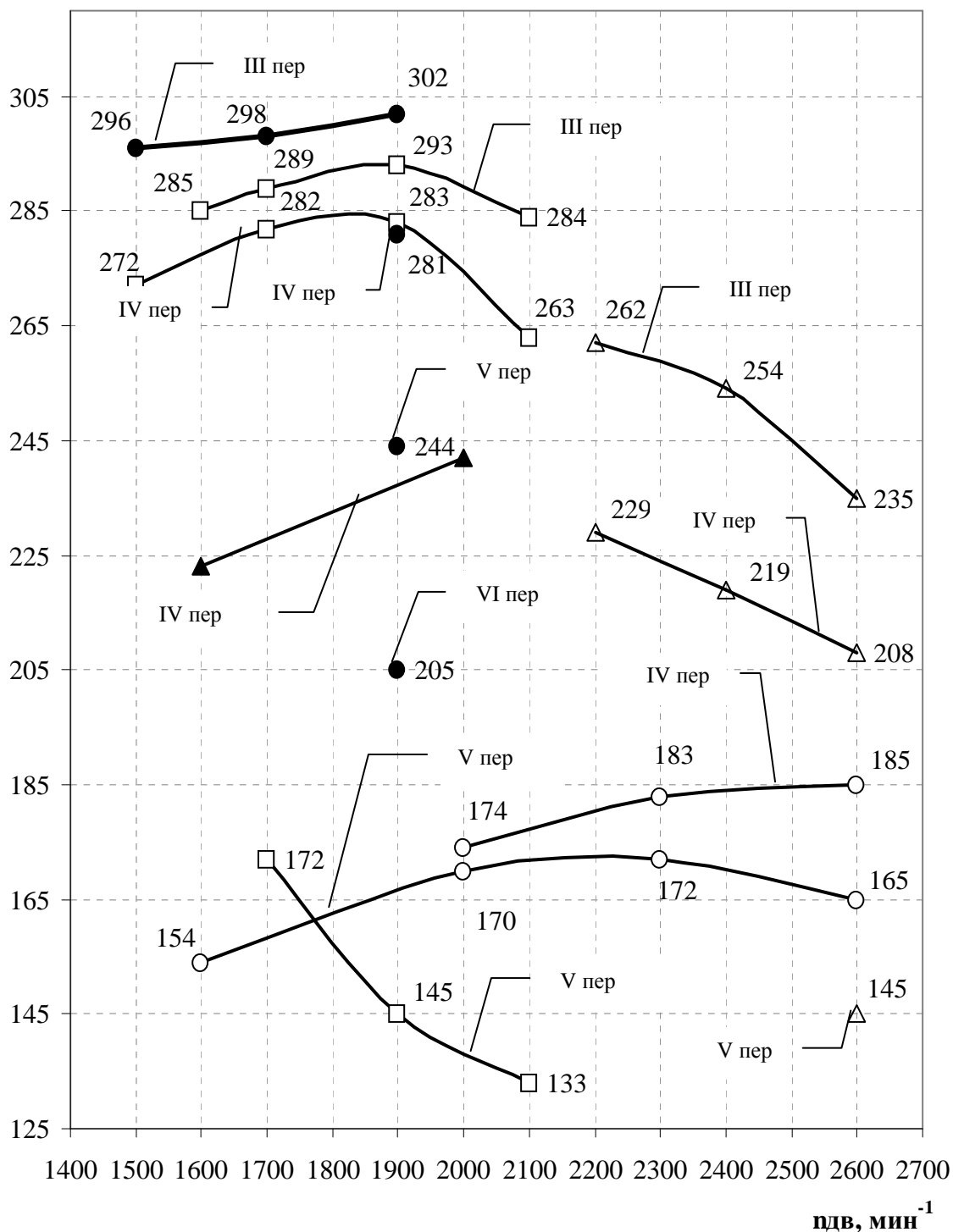
Необходимо отметить, что трансмиссии колесных БТР имеют более низкий КПД и более значительную зависимость механических потерь от частоты вращения коленвалов двигателей  $n_{\text{ог}}$  и выходных валов АКП по сравнению с танковыми вследствие примерно вдвое большего числа зубчатых соединений и подшипниковых узлов в кинематических схемах передачи крутящего момента от двигателя к колесам.

Полученные мощностные характеристики позволяют реально оценить существующие потери в моторно-трансмиссионных установках, на этапах доработок провести конструкторские мероприятия по их снижению, качественно улучшить коэффициент полезного действия трансмиссий, повысив, таким образом, тяговые, экономические и ресурсные показатели БТР.

**Выводы.** Созданные в КП ХКБМ им. А.А.Морозова колесные четырехосные бронетранспортеры имеют компактные силовые установки, в состав которых входят современные экономичные дизели отечественного и зарубежного производства, а также автоматические коробки передач планетарного типа производства фирмы Allison и собственной разработки. Полученные при стендовых испытаниях мощностные характеристики выявили общую для колесных БТР тенденцию значительного роста потерь мощности в трансмиссиях от частот вращения валов двигателей и выходных валов АКП. В целом по показателям качества силовых установок наиболее перспективными являются моторно-трансмиссионные установки БТР-ДА, БТР-4Е, БТР-3Е1 и БТР-4В.

Оптимально подобранные соотношения габаритно-массовых и мощностных показателей созданных в КП ХКБМ бронетранспортеров позволяют им обладать улучшенными характеристиками подвижности вследствие соответствия их удельных мощностей ( $20 \dots 23 \text{ л.с./т}$ ) современным требованиям для колесных объектов бронетехники, что обеспечивает их спрос на мировом рынке вооружений.

Н<sub>в<sub>их</sub></sub>, л.с.



- БТР-3Е с двиг. УТД-20С1 (300 л.с.)      □ БТР-4А с двиг. IVECO (430 л.с.)
- ▲ БТР-3Е1 с двиг. MTU (327 л.с.)      ● БТР-4В с двиг. DEUTZ (450 л.с.)
- △ БТР-4Е с двиг. ЗТД-3А (500 л.с.)

Рисунок 3 – Мощностные характеристики моторно-трансмиссионных установок бронетранспортёров, созданных в КП ХКБМ



Рисунок 4 – Установка БТР-4Е на стенде комплексных испытаний моторно-трансмиссионных отделений

#### Литература

1. Теория и конструирование танков. Том 4 – Москва, «Машиностроение», 1984, с. 39–40.
2. Бусяк Ю.М., Веретенников А.И., Завадский А.М., Корецкий Н.А., Лизунов К.М. Перспективы развития трансмиссий военных бронированных машин. «Механіка та машинобудування», – 2004, №1, с. 102–106.
3. Кудров В.Н., Кузьминский В.А., Жменько Р.В., Чучмарь И.Д., Зарянов В.А., Золотуха В.Н. Стенд для испытаний силовых установок колесных и гусеничных машин. «Вестник национального технического университета «ХПИ», тематический выпуск «Транспортное машиностроение», – 2007, №33, стр. 83–94.

#### Bibliography (transliterated)

1. Teoriya i konstruirovaniye tankov. Tom 4 – Moskva, «Mashinostroeniye», 1984, p. 39–40.
2. Busyak Yu.M., Veretennikov A.I., Zavadskiy A.M., Koretskiy N.A., Lizunov K.M. Perspektivy raz-vitiya transmissiy voennykh bronirovannykh mashin. «Mehanika ta mashinobuduvannya», – 2004, #1, p. 102–106.
3. Kudrov V.N., Kuzminskiy V.A., Zhmenko R.V., Chuchmar I.D., Zaryanov V.A., Zolotuha V.N. Stend dlya ispytaniy silovyykh ustanovok kolesnykh i gusenichnykh mashin. «Vestnik natsionalnogo tehniceskogo universiteta «HPI», tematicheskii vyipusk «Transportnoye mashinostroeniye», – 2007, #33, p. 83–94.

УДК 629.1.032.1

Возгрін Ю.В., Герасименко В.І., Золотуха В.Н., Кузьминський В.А., Крот С.Г.

#### **ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОТУЖНОСТІ ТА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ СИЛОВИХ УСТАНОВОК БРОНЕТРАНСПОРТЕРІВ, РОЗРОБЛЕНИХ У КП ХКБМ**

У статті наведена порівняльна оцінка моторно-трансмісійних відділень БТР, розроблених у КП ХКБМ ім. О.О. Морозова, за показниками потужності та якості що ґрунтуються на експериментальних даних; наведені методи оцінки досконалості моторно-трансмісійних відділень.

Vozgrin Y.V., Gerasimenko V.I., Zolotuha V.N., Kuzminskiy V.A., Krot S.G.

**POWER DESCRIPTION AND QUALITATIVE INDEXES OF ARMOURED VEHICLE POWER  
PACK, DESIGNED BY SOE KhMMBDB**

The article shows comparative estimate of power pack of armoured vehicle, designed by SOE KhMMBDB, according to power and qualitative indexes. Estimate methods of perfection of power pack are showed in this article too.

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ КЛАССА ВЯЗКОСТИ МОТОРНЫХ МАСЕЛ  
ПО ФРАКЦИОННОМУ СОСТАВУ**

Современный рынок смазочных масел Украины представлен широким спектром моторных масел, выпускаемых зарубежными фирмами-производителями автомобильных смазочных материалов. Одной из основных классификаций предлагаемых моторных масел является классификация по кинематической вязкости, в основе которой лежит стандарт SAE J300, разработанный Американской ассоциацией автомобильных инженеров (SAE).

Нередко среди моторных масел встречается фальсификат с классом вязкости, не отвечающим требованиям, заявленным в нормативно-технической документации на них. Такое положение дел обуславливает необходимость разрабатывать методы и средства, позволяющие оперативно идентифицировать класс вязкости моторных масел с целью определения возможности их применения в определенных режимах эксплуатации и температурном интервале окружающей среды.

Для производства моторных масел SAE 5W-40 в основном применяют базовое масло, полученное направленным синтезом из поли- $\alpha$ -олефинов (ПАО) и сложных эфиров. Масла SAE 15W-40 состоят из базового масла, полученного переработкой нефти с последующей селективной очисткой выделенных фракций и их компаундированием [1].

Анализ современных тенденций развития методов идентификации нефтепродуктов показал, что особенно интенсивно развиваются методы, в основу которых положено использование хроматографических и спектроскопических методов анализа. Известен способ идентификации смазочных масел [2], суть которого состоит в измерении оптической плотности образца при заданной длине волны в инфракрасном диапазоне спектра. Далее ведут расчет параметра, который характеризует близость величины оптической плотности образца, который анализируется, и стандартных образцов. В работе [3] предложена методика идентификации моторных масел методом распознавания образов на основе абсорбционных оптико-спектральных измерений с использованием серийного УВИ-спектрофотометра СФ-56.

Сущность идентификации моторных масел по критерию температурной стойкости заключается в термостатировании масел в течение 6 часов при атмосферном давлении и температуре до 300 °С с последующим измерением коэффициента поглощения светового потока, вязкости и летучести, по которым проводился расчет температурной стойкости [4].

Способ идентификации марки моторных масел, представленный в анализаторе качества нефтепродуктов SHATOX SX-300 [5], базируется на определении относительной диэлектрической проницаемости масла с дальнейшим сравнением полученных результатов со стандартными образцами.

Существенными недостатками предложенных методов идентификации в одних случаях являются дороговизна применяемого лабораторного оборудования и трудоемкость их реализации, в других малая информативность и достоверность получаемого результата. Например, на точность идентификации моторных масел методами, основанными на определении оптической плотности и диэлектрической проницаемости, существенное влияние оказывают состав и концентрация присадок.

По нашему мнению, получить более объективные результаты идентификации моторных масел позволит использование их фракционного состава. В этом случае будет непосредственно исследоваться базовое масло, что позволит без особого труда установить его природу. А влияние присадок на результат идентификации в этом случае полностью исключается.

Для лабораторного исследования было взято по 15 образцов моторных масел разных классов вязкости, наиболее часто эксплуатируемых в наших климатических условиях: SAE 5W-40, SAE 10W-40 и SAE 15W-40. Для всех масел был определен фракционный состав посредством вакуумной перегонки при остаточном давлении 1–2 мм рт. ст. на лабораторной установке, приведенной на рис. 1.

Для каждого класса вязкости испытуемых масел рассчитываем средние значения температур и оттонов с последующим построением кривых фракционного состава, приведенного на рис. 2.



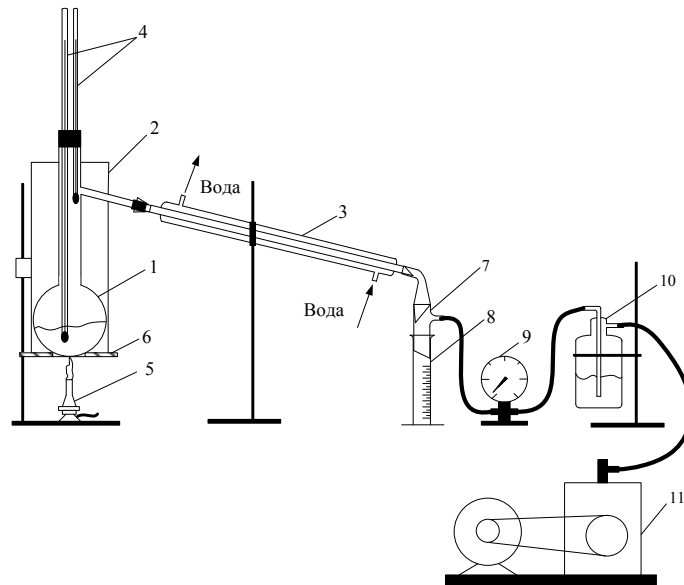


Рисунок 1 – Лабораторная установка вакуумной перегонки:  
 1 – колба; 2 – кожух; 3 – холодильник; 4 – термометры; 5 – горелка; 6 – асбестовая прокладка; 7 – аллонж;  
 8 – цилиндр; 9 – вакуумметр; 10 – очиститель; 11 – вакуумный насос

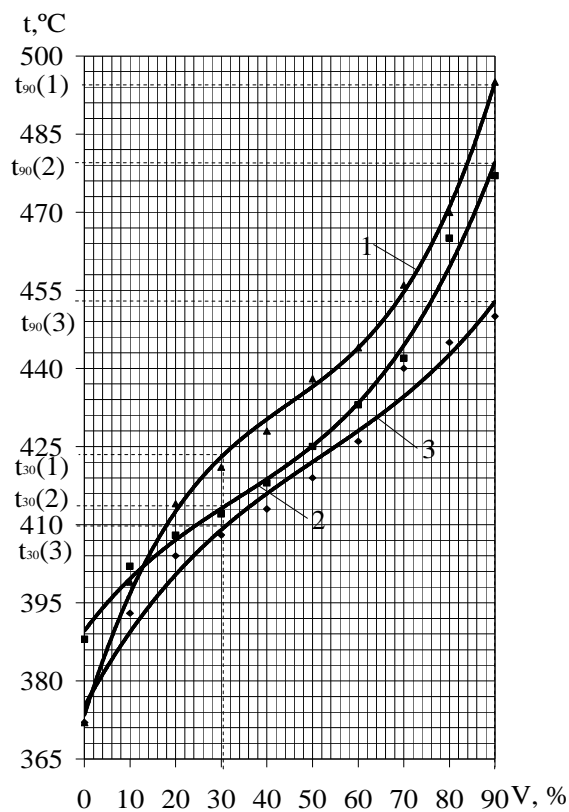


Рисунок 2 – Кривые фракционного состава испытуемых моторных масел: 1– SAE 15W-40; 2– SAE 10W-40; 3– SAE 5W-40

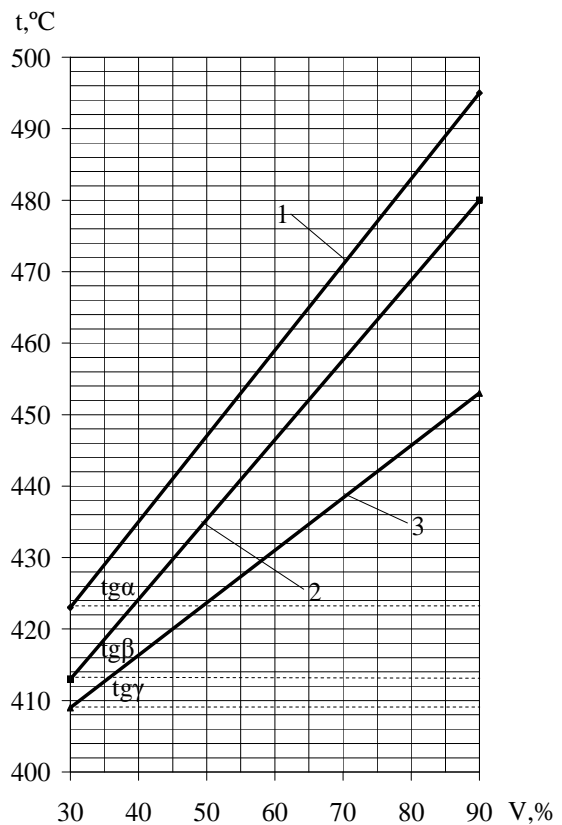


Рисунок 3 – Линии для расчета параметра идентификации: 1– SAE 15W-40; 2– SAE 10W-40; 3– SAE 5W-40

По кривым фракционного состава определяем, что наибольшее различие в температурах кипения испытуемых моторных масел приходится на точки, соответствующие 30 % и 90 % отгона. Эти точки также соответствуют выходу легкой (н.к.–420 °С) и средней (420–490 °С) масляной фракции, из которых компаундированием получают моторные масла SAE 15W-40 [6]. Основным критерием при компаундировании масляных фракций является их кинематическая вязкость. Очевидно, что легкая масляная фракция обладает гораздо меньшей вязкостью, нежели средняя, и поэтому в готовом базовом масле ее содержится почти в два раза меньше.

Масла SAE 5W-40 характеризуются более узким фракционным составом (н.к.–460 °С) по сравнению с маслами SAE 15W-40 ввиду получения при синтезе углеводородов, обладающих заданными вязкостно-температурными свойствами.

Масла SAE 10W-40 представлены смесью описанных выше базовых масел в зависимости от желаемых вязкостно-температурных свойств. Поэтому по фракционному составу они занимают промежуточное значение между маслами SAE 15W-40 и маслами SAE 5W-40.

В связи с этим в качестве идентификационного параметра для каждого класса вязкости моторных масел нами может быть предложен  $\text{tg}$  угла наклона прямых, проведенных через точки  $t_{30}$  и  $t_{90}$  (см. рис. 3).

Рассчитанное значение  $\text{tg}$  угла наклона прямых, проведенных через точки  $t_{30}$  и  $t_{90}$ , принимает следующие значения:

- для моторных масел SAE 15W-40,  $\text{tg}\alpha=1,2$ ;
- для моторных масел SAE 10W-40,  $\text{tg}\beta=1,1$ ;
- для моторных масел SAE 5W-40,  $\text{tg}\gamma=0,73$ .

### Выводы

Предложенная методика выбора по кривым фракционного состава наиболее информативных точек отгона ( $t_{30}$  и  $t_{90}$ ), которые отображают расширенную информацию о составе масла, с последующим расчетом  $\text{tg}$  угла наклона прямой, проведенной через эти точки, позволяет совершенствовать систему идентификации масел по классам вязкости (SAE).

Описанный метод может быть применён для идентификации и других смазочных материалов: гидравлических и трансмиссионных масел.

### Литература

1. Лиханов В.А. Справочник по эксплуатационным материалам: [учебное пособие] / В.А. Лиханов, Р.Р. Девятьяров. – Киров: Вятская ГСХА, 2006. –123 с.
2. Пат. 2075062 Российская Федерация, МПК<sup>8</sup> G01N21/35. Автоматизированный способ идентификации и определения кондиционности нефтепродуктов / Чечкенов И.В.; Сизов А.Б., Калинин Л.Л., Алаторцев Е.И., Вагин В.А., Балашов А.А., Веселов В.Г.; Наметкин О.П., Лазарев Е.С., Шеленин А.М.; заявитель и патентообладатель 25 Государственный научно-исследовательский институт Министерства обороны РФ (по применению топлив, масел, смазок и специальных жидкостей – ГосНИИ по химмотологии). – № 94042592/25; заявл. 29.11.1994; опубл. 10.03.1997, Бюл. № 19.
3. Борисов В.Б. Исследование особенностей формирования и возможностей аналитического применения оптических спектральных образов жидких смесей сложных соединений / В.Б. Борисов, А.М. Киселёв, И.О. Конюшенко [и др.] // Вестник Санкт-петербургского университета. – 2010.– Сер. 4, Вып. 1. – С. 56–64.
4. Малышева Н.Н. Разработка технологий идентификации и диагностирования смазочных материалов по критериям температурной стойкости: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.02.02 «Машиноведение, системы приводов и детали машин» / Н.Н. Малышева. – Красноярск, 2008. – 24 с.

5. Официальный сайт НПО «ШАТОКС» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.shatox.ru/analyzer.htm>

6. Мановян А.К. Технология первичной переработки нефти и природного газа: [учебное пособие для вузов] / А.К. Мановян. – М.: Химия, 2001. – 568 с.

Bibliography (transliterated)

1. Lihanov V.A. Spravochnik po ekspluatatsionnyim materialam: [uchebnoe posobie] V.A. Lihanov, R.R. Devetyarov. – Kirov: Vyatskaya GSHA, 2006. –123 p.

2. Pat. 2075062 Rossiyskaya Federatsiya, МРК8 G01N21/35. Avtomatizirovannyiy sposob identifikatsii i opredeleniya konditsionnosti nefteproduktov Chechkenev I.V.; Sizov A.B., Kalinin L.L., Alator-tsev E.I., Vagin V.A., Balashov A.A., Veselov V.G.; Nametkin O.P., Lazarev E.S., Shelenin A.M.; zayavitel i patentoobladatel 25 Gosudarstvennyiy nauchno-issledovatel'skiy institut Ministerstva oborony RF (po primeneniyu topliv, masel, smazok i spetsialnyih zhidkostey – GosNII po himmotologii). – # 94042592/25; zayavl. 29.11.1994; opubl. 10.03.1997, Byul. # 19.

3. Borisov V.B. Issledovanie osobennostey formirovaniya i vozmozhnostey analiticheskogo primene-niya opticheskikh spektralnyih obrazov zhidkih smesey slozhnyih soedineniy V.B. Borisov, A.M. Kiseiyov, I.O. Konyushenko [i dr.] Vestnik Sankt-peterburgskogo universiteta. – 2010.– Ser. 4, Vyip. 1. – p. 56–64.

4. Malyisheva N.N. Razrabotka tehnologiy identifikatsii i diagnostirovaniya smazochnyih materialov po kriteriyam temperaturnoy stoykosti: avtoref. dis... kand. tehn. nauk: 05.02.02 «Mashinovedenie, sistemyi privodov i detali mashin» N.N. Malyisheva. – Krasnoyarsk, 2008. – 24 p.

5. Ofitsialnyiy sayt NPO «ShATOKS» [Elektronnyiy resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.shatox.ru/analyzer.htm>

6. Manovyan A.K. Tehnologiya pervichnoy pererabotki nefiti i prirodnogo gaza: [uchebnoe posobie dlya vuzov] / A.K. Manovyan. – М.: Himiya, 2001. – 568 p.

УДК 621.892

Григоров А.Б.

**ІДЕНТИФІКАЦІЯ КЛАСУ В'ЯЗКОСТІ МОТОРНИХ ОЛИВ ПО ФРАКЦІЙНОМУ СКЛАДУ**

В статті приведені результати визначення фракційного складу моторних олив, різних класів в'язкості: SAE 15W-40; SAE 10W-40 і SAE 5W-40. Використовуючи фракційний склад моторних олив, зокрема значення крапок  $t_{30}$  і  $t_{90}$ , з подальшим розрахунком  $\text{tg}$  кута нахилу прямої, проведеної через ці крапки, пропонується ідентифікувати клас в'язкості моторних олив по SAE.

Grigorov A.B.

**IDENTIFICATION OF THE CLASS OF MOTOR OILS VISCOSITY ON A BASE OF FRACTIONAL STRUCTURE**

In article results of definition of fractional structure of motor oils of different classes of viscosity SAE 15W-40, SAE 10W-40 and SAE 5W-40 are resulted. Using fractional structure of motor oils, in particular value of points  $t_{30}$  and  $t_{90}$ , with the subsequent calculations of  $\text{tg}$  a corner of an inclination of the straight line which has been carried out through these points, it is offered to identify a class of motor oils viscosity on SAE



## ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ОБЪЕКТОВ БРОНИРОВАННОЙ ТЕХНИКИ НА ПЫЛИ РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА

### Актуальность проблемы.

Существующими стандартами на разработку систем очистки воздуха для силовых установок объектов бронированной техники предусматривается оценка их технического уровня по степени очистки воздуха при использовании стандартной пыли помола кварцевого песка по ГОСТ В18185-72. Исходя из этих соображений, разрабатывается циклонный аппарат и другие способы очистки воздуха для удовлетворения основных требований, предъявляемых к тепловым двигателям военных гусеничных машин (ВГМ). Актуальность проблемы состоит прежде всего в том, что исследования в Украине проблем очистки воздуха для силовых установок ВГМ практически не ведутся. В ХКБМ им. А.А. Морозова подобные исследования ведутся на протяжении многих лет и накоплен богатый опыт исследований различных систем очистки воздуха – одноступенчатых и многоступенчатых. Реальная эксплуатация танков проходит по трассам, имеющим дорожное покрытие с различной глубиной пыли и составом. Исходя из этого, степень очистки воздуха отличается от стандартных режимов. Изменяется и количество пыли, поступающей в двигатель. Наиболее контрастными могут быть режимы эксплуатации в Средней полосе Европейской части и пустыне.

**Целью** настоящей статьи является исследование эффективности очистки воздуха танка Т-80УД при работе на пыли различного седиментационного состава.

### Основная часть.

Основным элементом для очистки воздуха дизельных силовых установок является циклонный аппарат в одноступенчатых воздухоочистителях и циклонный аппарат в комплексе с защитными кассетами – для многоступенчатых воздухоочистителей. Использование абсолютных фильтров для силовых установок большой мощности невозможно, в силу необходимости обеспечения режима горения топлива с большим количеством воздуха и частичными ограничениями по удельной воздушной нагрузке на единицу поверхности или объема абсолютных фильтров. Степень очистки воздуха тесно связана с не менее важным параметром как гидравлическое сопротивление системы очистки воздуха. Противоречие между этими параметрами связано прежде всего в том, что высокая степень очистки воздуха будь-то циклонным аппаратом, либо абсолютным фильтром достигается увеличением гидравлического сопротивления, что отрицательно сказывается на затратах мощности силовых установок и приводит к более ранним явлениям помпажа компрессоров надувочного воздуха, либо любых других лопаточных машин двигателей.

Исходя из этого, выбор системы очистки воздуха ведется в поиске оптимальных вариантов с удовлетворением требований по степени очистки воздуха и величине гидравлического сопротивления. Сложность получения высокой степени очистки воздуха состоит именно в том, что эта задача должна быть решена при минимальном гидравлическом сопротивлении. Исходя из этого, рассмотрим работу циклонного аппарата, который очищает преимущественное количество воздуха от пыли, содержащейся в нем. Циклон следует рассматривать как элемент в котором происходит движение воздуха по сложной траектории в виде вращательного и поступательного движения от входного патрубка, расположенного под определенным углом к цилиндрической части (рис. 1).

Движение пылевоздушной массы в самом циклоне осуществляется симметрично относительно оси самого циклона. Эффективность циклонного аппарата зависит от множества факторов, главными из которых являются геометрические размеры, влияющие на аэродинамическое сопротивление и степень очистки воздуха. Течение пылевоздушной смеси в циклоне можно описать совокупностью уравнений:

$$\frac{P}{\rho} + gz + \frac{1}{2}W^2 = const ; \quad (1)$$

$$W_n R = \frac{\Gamma}{2\Pi} = 1 = const ; \quad (2)$$

$$\frac{d(W_R R)}{dR} + \frac{d(W_Z R)}{dZ} = 0 . \quad (3)$$

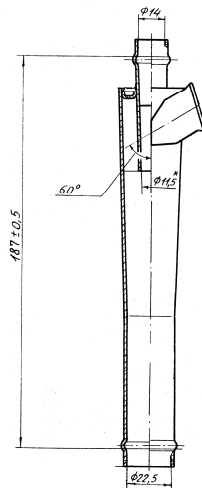


Рисунок 1 – Циклон танка Т-80УД

Выражение (1) обуславливает постоянство полной энергии пылевоздушной смеси на всем пути движения от входного патрубка до пылесборника, где энергия потока снижается из-за резкого расширения объема, для осаждения пыли. Уравнение (2) характерно для течений, удовлетворяющих условия равенства нулю компонентом вихря по осям координат. Уравнение (3) выражает неразрывность потока пылевоздушной смеси для несжимаемых жидкостей.

В уравнениях приняты следующие обозначения:

$W$  – скорость;  $W_Z, W_R, W_n$  – составляющие скорости по оси, радиусу – вектору и нормали к меридианной плоскости;  $\rho$  – плотность жидкости;  $P$  – давление;  $g$  – ускорение силы тяжести;  $\Gamma$  – циркуляция,  $R$  – радиус сечения,  $\Pi$  – плоскость расчетная.

Пропускная способность циклонного аппарата зависит от форм движения пылевоздушной смеси, которое сочетает плоское, круговое, цилиндрическое, струйное, винто-осевое, плоское спиральное.

Решение задачи определения эффективности циклонного аппарата возможно при одновременном определении аэродинамического сопротивления, которое в упрощенном виде может быть представлено в виде следующей зависимости:

$$P = \xi \frac{\rho V^2}{2} . \quad (4)$$

Сложность решения совместных условий течения пылевоздушной массы в циклонном аппарате зависит от коэффициентов  $\xi$  (коэффициент сопротивления), и  $\mu$  (коэффициент расхода).

Оба коэффициента, отнесенные к одинаковой скорости потока, связаны между собой уравнением:

$$\xi \mu^2 = 1 . \quad (5)$$

Отсюда вытекает, что необходимо определить указанные выше коэффициенты, которые позволят в дальнейшем решить задачу определения пропускной способности и аэродинамического сопротивления.

Решение задачи осуществляется для каждого сечения в отдельности, что создает определенные трудности в решении комплексной задачи.

Окончательное выражение для оценки эффективности циклонного аппарата может быть представлено в виде:

$$\eta_n = 1 - 0,139 D^{0,97} \left[ \left( \frac{W d_1 \gamma_1}{\mu} \right) - 0,87 \cdot \Phi_1 C + \dots + \left( \frac{W d_n \gamma_2}{\mu} \right)_{\Phi_n C_n}^{-0,87} \right], \quad (6)$$

где  $\Phi_1 \dots \Phi_n$  – содержание частиц пыли отдельных фракций в долях единицы,  $\gamma_{1 \dots n}$  – удельный вес пылевоздушной смеси.

Величина ( $C_n$ ) определяется для каждого выбранного значения состава фракции по следующей формуле:

$$C_n = \left( \frac{d_n \gamma_n}{\gamma_n} \right)^{-0,97} \quad (7)$$

Эта формула для определения эффективности циклона по степени очистки воздуха наиболее полно отражает взаимосвязь основных параметров циклона. Для получения действительного значения коэффициента очистки воздуха необходимо вести расчет по широкому значению параметров ( $\Phi$ ) и ( $C$ ) и соответствующим значениям  $W, d, \mu, \gamma$ . В этом состоит трудность в определении достоверных значений начальных параметров и конечного результата в определении гидравлического сопротивления и степени очистки воздуха.

Наиболее точным вариантом в определении действительных значений указанных величин являются стендовые испытания с имитацией реальных условий, соответствующих широкому значению частотных и нагрузочных характеристик. Для этого используются специальные безмоторные стенды. Погрешность определения величин сопротивления и степени очистки воздуха не превышает в этом случае  $\pm 1,0\%$ .

В таблице показаны характеристики воздухоочистителя танка Т-80УД при использовании пыли помета кварцевого песка по ГОСТ-В18185-72 и пыли, собранной с трасс пробеговых испытаний танков в пустынях Кара-Кум (Туркменистан) и Тар (Пакистан).

Таблица

Тип пыли	Удельная поверхность по Товарову см <sup>2</sup> /см <sup>3</sup>	Состав пыли по фракциям % размеры частиц, $\mu\text{к}$			
		0...5,0	0...10,0	0...25	>25
по ГОСТ В18185-72	1600	5,2 <sup>±0,7</sup>	10,5 <sup>±2,0</sup>	25,0 <sup>±3</sup>	ост.
пыль пустыни Кара-Кум	3400	–	–	–	–
пыль пустыни Тар	–	–	–	–	–

Величина удельной поверхности пыли, представляющая собой развернутую поверхность всех частиц, содержащихся в одном кубическом сантиметре, предполагая, что все частицы имеют форму шара. Из таблицы видно, что пыль пустыни Кара-Кум имеет более чем в два раза большую поверхность, что свидетельствует о том, что в ней содержится больше частиц размером 0...5  $\mu\text{к}$ .

Именно эти частицы практически полностью пропускают циклоны любого типа. Проведенные исследования воздухоочистителя при работе на трех видах пыли, показаны на графиках (рис. 2).

В рабочем диапазоне частот двигателя – от 2000 до 2600 мин<sup>-1</sup> коэффициент пропускания воздухоочистителя на пыли по ГОСТ В18185-72 составил 0,2...0,15 %, на пыли пустыни Кара-Кум – 0,43...0,38 %, на пыли пустыни Тар -0,35...0,30 %. При наличии второй ступени очистки воздуха в виде двухслойной каскады, предельное состояние их будет зависеть от района эксплуатации танка. Учитывая неизменность общего количества пыли, задерживаемой каскадами, при эксплуатации танка в пустыне Кара-Кум будет почти в 2 раза ниже в сравнении с районами Европейской части. Пыль пустыни Тар в Пакистане по своим характеристикам находится между пылью по ГОСТ В18185-72 и пылью пустыни Кара-Кум. Однако время работы воздухоочистителя до предельного сопротивления в немаловажной степени зависит от начальной запыленности воздуха, на который влияет множество факторов.

Учитывая сложность расчетных методов определения эффективности циклонного аппарата воздухоочистителя, наиболее точными могут быть результаты стендовых испытаний с имитацией объектовых условий работы воздухоочистителя.

### Выводы

1. Движение пылевоздушной смеси в циклоне инерционного типа описывается уравнениями постоянства полной энергии, неразрывности потока и равенства нулю компонентов вихря по оси координат.

2. Пропускная способность циклона зависит от целого ряда геометрических параметров и условий движения воздуха в самом циклоне. Уровень очистки воздуха неразрывно связан с величиной гидравлического сопротивления, увеличивающейся с ростом степени очистки воздуха.

3. Исследования циклонного аппарата воздухоочистителя танка Т-80УД на пыли различного состава показали, что коэффициент пропускания изменяется в зависимости от дисперсного состава пыли, что является главным фактором для оценки продолжительности эксплуатации танка до предельного состояния кассет.

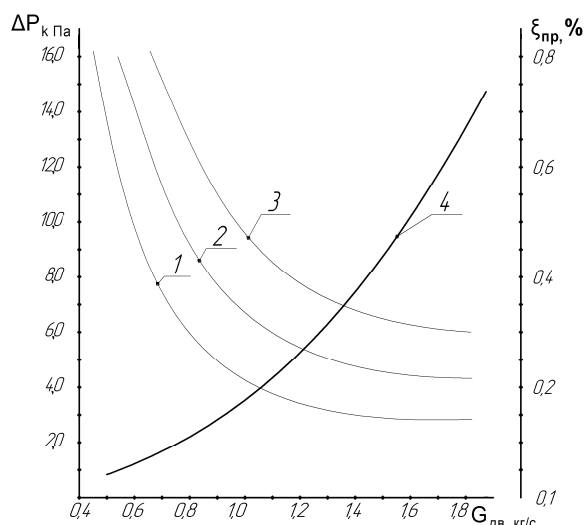


Рисунок 2 – Характеристики воздухоочистителя танка Т-80УД на пыли различного дисперсного состава [ $\xi = f(G)$ ] 1 – на пыли по ГОСТ В 18185-72, 2 – на пыли пустыни ТАР, 3 – на пыли пустыни Кара-Кум, 4 –  $\Delta P = f(G)$

Литература

1. Никитин В.Т. Расчет двухступенчатых воздухоочистителей с фильтрующими картонными элементами / В.Т. Никитин, В.Я. Ушаков. ВБТ, №6 – 1981 г.
2. Никитин В.Т. Методика расчета двухступенчатых танковых воздухоочистителей / В.Т. Никитин, В.Я. Ушаков, ВБТ №6 – 1980 г.
3. Ужов В.Н., Мягков Б.Н. Очистка промышленных газов фильтрами – М.Химия, 1970 г.
4. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. М. Наука, 1969 г. 823 стр.
5. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М. Госэнергоиздат, 1960 г.
6. Теория, конструкция и расчет танка. под редакцией П.П. Исакова. Ленинград, т.4, 1984 г.
7. Климов В.Ф. Основные направления выбора циклона для создания эффективной системы очистки воздуха объектов бронированной техники/ Климов В.Ф., Колбасов А.Н., Анипко О.Б. // ИТЭ, Харьков, НТУ «ХПИ» №3, 2007 г.

Bibliography (transliterated)

1. Nikitin V.T. Raschet dvuhstupenchatykh vozduhoochistiteley s filtruyuschimi kartonnyimi elementami V.T. Nikitin, V.Ya. Ushakov. VBT, #6 – 1981 g.
2. Nikitin V.T. Metodika rascheta dvuhstupenchatykh tankovykh vozduhoochistiteley V.T. Nikitin, V.Ya. Ushakov, VBT #6 – 1980 g.
3. Uzhov V.N., Myagkov B.N. Ochistka promyishlennykh gazov filtrami – M.Himiya, 1970 g.
4. Abramovich G.N. Prikladnaya gazovaya dinamika. M. Nauka, 1969 g. 823 str.
5. Idelchik I.E. Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam. M. Gosenergoizdat, 1960 g.
6. Teoriya, konstruksiya i raschet tanka. pod redaktsiey P.P. Isakova. Leningrad, t.4, 1984 g.
7. Klimov V.F. Osnovnyie napravleniya vyibora tsyklona dlya sozdaniya effektivnoy sistemyi ochistki vozduha ob'ektov bronirovannoy tehniky Klimov V.F., Kolbasov A.N., Anipko O.B. ITE, Harkov, NTU «HPI» #3, 2007 g.

УДК 623.438.32.

Михайлов В.В.



**ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ОЧИЩЕННЯ ПОВІТРЯ ОБ'ЄКТІВ БРОНЬОВАНОЇ ТЕХНІКИ  
ПРИ ВИКОРИСТАННІ ПИЛУ РІЗНОГО СКЛАДУ**

У статті приведені основні теоретичні положення на яких базуються розрахунки циклону, який є основою для створення повітроочисників броньованих машин. Враховуючи складність розрахунків, наводяться матеріали випробувань системи повітроочищення танка Т-80УД.

Mikhailov V.V.

**EFFORTS OF AIR CLEANING SYSTEM IN ARMORED VEHICLE OBJECTS FOR VARIOUS  
COMPOSITION DUSTS**

In the article, basic theoretical grounds, which calculations of cyclone are based on that is or represents background for design of air cleaners in armored vehicles have been given. Taking in view calculation problems, test data of the air cleaning system for tank T-80UD has been presented.

Моргунов В.В.

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОЧИСТКИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ. СИСТЕМА  $N_2 - O_2 - NO$**

**Введение.** Очистка дымовых газов от оксидов азота и серы – насущная экологическая проблема. Решить эту проблему позволяет технология электронно-лучевой очистки (ЭЛО) дымовых газов. Суть технологии ЭЛО [1] заключается в следующем: дымовые газы облучаются ускоренными электронами (с энергиями до 1 МэВ), перед облучением в газы подаются пары аммиака; в результате радиационно-химических и химических реакций вредные газообразные вещества, в частности,  $NO_x$ ,  $SO_2$  переводятся в сульфаты-нитраты аммония. Преимущество технологии ЭЛО перед химическими очистками заключается в следующем: одновременная очистка дымовых газов от  $NO_x$ ,  $SO_2$ , полиароматических углеводородов, летучих органических соединений; компактность; высокая степень очистки (степень очистки дымовых газов от  $NO_x$  и  $SO_2$  может достигать 90 %); в результате очистки дымовых газов образуются соли сульфат-нитрат аммония, которые могут быть использованы, как сельскохозяйственные удобрения.

Технология ЭЛО разрабатывается на протяжении последних 30-ти лет. Построены промышленные и опытно-промышленные установки в Китае, Польше, Болгарии. Но, несмотря на сравнительно длительное изучение этой технологии, полного понимания механизма кинетики удаления  $NO_x$ ,  $SO_2$  и других загрязняющих веществ пока еще нет. Для этой цели разработана математическая модель и программный комплекс «ELO» [2, 3], собрана база данных радиационно-химических и химических реакций (более чем 2000 реакций) для более чем 500 химических веществ. Программный комплекс «ELO» обладает следующими возможностями: на основе начального состава дымовых газов составлять механизм химических реакций; составлять и решать систему обычных дифференциальных уравнений, описывающую процессы ЭЛО дымовых газов; рассчитывать вклад отдельных химических реакций в образование или удаление тех или иных химических веществ; строить графики концентраций химических веществ в зависимости от времени облучения.

В статье представлены результаты выполненных исследований для смеси газов  $N_2 - O_2 - NO$ .

**1. Моделирование ЭЛО дымовых газов для смеси  $N_2 - O_2 - NO$**

Исходными данными для проведенных расчетов являлись следующие показатели: начальная концентрация  $NO - 250$  ppmv, концентрация  $O_2 - 3$  %,  $N_2 -$  баланс, температура  $393,15^\circ K$ . График степени удаления  $NO$  в зависимости от дозы облучения показан на рис. 1. На рис. 2. представлены графики изменения концентрации  $NO$ ,  $NO_2$  и  $N_2O$  в зависимости от поглощенной дозы. Полученные результаты моделирования хорошо согласуются с экспериментальными данными [4].

**1.1. Удаление и образование  $NO$**

Результаты расчетов по вкладам в удаление  $NO$  теми или иными химическими реакциями представлены на рис. 3. Из рис. 3. видно, что наибольшее количество  $NO$  удаляется при помощи реакции



Продуктами данной реакции являются молекулярный азот и атом кислорода, который впоследствии окисляет  $NO$  до  $NO_2$ :



Следующая реакция также принимает участие в удалении  $NO$  из смеси  $N_2 - O_2 - NO$ :



Около 30 %  $NO$  удаляется при помощи этой реакции.

Около 5 %  $NO$  удаляется при 10 кГр (типовая поглощенная доза для технологии ЭЛО) с помощью следующей реакции:



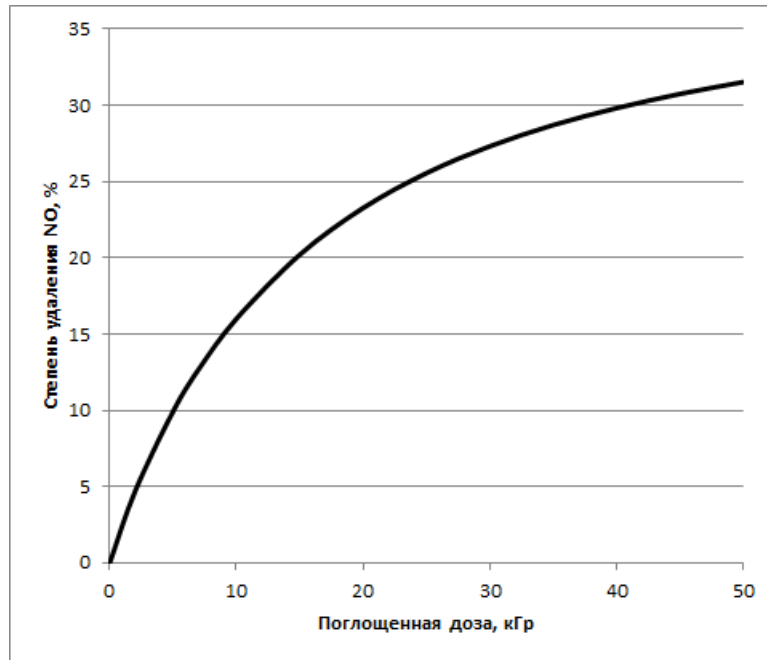


Рисунок 1 – Степень удаления NO в зависимости от поглощенной дозы

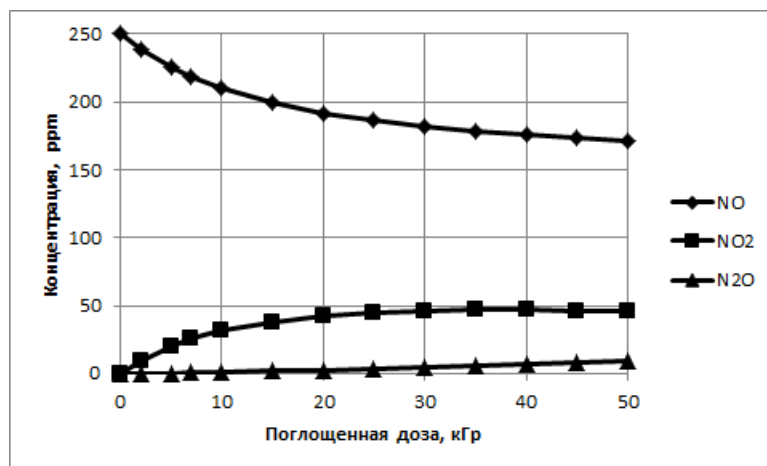


Рисунок 2 – Зависимость изменения концентрации NO, NO<sub>2</sub> и N<sub>2</sub>O в зависимости от поглощенной дозы

В основном, NO образуется в равных пропорциях при 10 кГр в процессе электронно-лучевой очистки газов в следующих реакциях:



Ети реакції являються нежелательними, так як приводять до утворенню NO і таким образом, зменшують ефективність очищення газів від NO. Тому, для підвищення ефективності очищення димових газів від NO бажано ці реакції (R5, R6, R7) придушити. Придушення цих реакцій може бути здійснено шляхом зниження концентрацій O<sub>2</sub> і O або стимулюванням реакцій, активно споживаючих ці хімічні речовини.

### 1.2. Удаление и образование NO<sub>2</sub>

Исходя из наших расчетов, около 65 % NO<sub>2</sub> потребляется реакцией (R5). И около 25 % NO<sub>2</sub> потребляется следующей реакцией:



Вклад реакций в образование  $\text{NO}_2$  представлен на рис. 4. Видно, что основными источниками  $\text{NO}_2$  являются реакции:



### 1.3. Образование и расходование O

Около 50 % атомов кислорода образуются в реакции (R1). Примерно, по 20 % O образуются в реакциях  $\text{O}({}^1\text{D}) + \text{N}_2 = \text{O} + \text{N}_2$  и  $\text{N}({}^2\text{D}) + \text{O}_2 = \text{NO} + \text{O}$ .

При 10 кГр (рабочие дозы технологии ЭЛО) около 37 % атомов O участвуют в реакции образования озона ( $\text{O} + \text{O}_2 + \text{N}_2 = \text{O}_3 + \text{N}_2$ ), около 34 %, 21 %, 8 % в реакциях (R2, R5, R8), соответственно.

### 1.4. Образование и расходование N.

Около 87 % атомов азота образуется при радиолизе  $\text{N}_2$  и около 12 % N образуются в реакции тушения возбужденных атомов азота. Основным потребителем атомов азота (более 90 % потребления N в диапазоне поглощенной дозы до 45 кГр) является реакция (R1).

### 1.5. Образование и расходование $\text{NO}_3$ .

Почти все количество  $\text{NO}_3$  образуется в реакции (R8). Также, почти все количество  $\text{NO}_3$  расходуется в реакции (R11).

### 1.6. Образование и расходование $\text{N}_2\text{O}$ .

Более 99 %  $\text{N}_2\text{O}$  образуется в реакции:



Около 92 %  $\text{N}_2\text{O}$  расходуется в реакции  $\text{N}_2\text{O} + \text{N} = \text{NO} + \text{N}_2$  и почти 7 % – в реакции  $\text{N}({}^2\text{D}) + \text{N}_2\text{O} = \text{NO} + \text{N}_2$ .

## 2. Пути повышения эффективности электронно-лучевой очистки дымовых газов от NO

Исходя из анализа кинетики образования и удаления NO можно сделать следующие выводы: с одной стороны, образование атома кислорода O является нежелательным, т.к. после окисления NO до  $\text{NO}_2$  идет образование NO за счет реакции R5 с участием O. С другой стороны, атом кислорода участвует в окислении NO до  $\text{NO}_2$ . Снизить отрицательное влияние реакции R5 на эффективность очистки газов от NO можно за счет снижения концентрации атомов кислорода. Так как около 50 % атомов O, образуется из молекулярного кислорода, то одним из путей снижения концентрации атомов кислорода является снижение концентрации молекулярного кислорода в дымовых газах. Снизить содержание кислорода можно, например, за счет предварительной обработки дымовых газов ультрафиолетом [5] с длиной волны  $\lambda=146$  нм (при такой длине волны сечение поглощения ультрафиолета молекулами кислорода максимально). Таким источником ультрафиолетового излучения могут быть эксимерные источники на основе криптона. Пик излучения такого источника приходится как раз на  $\lambda=146$  нм. В результате такой предварительной обработки под действием ультрафиолета с вышеуказанной длиной волны молекулы  $\text{O}_2$  диссоциируют на атомы кислорода. Далее, образующиеся атомы кислорода окисляют NO до  $\text{NO}_2$  и вследствие того, что концентрация молекул кислорода после предварительной обработки ультрафиолетом снизилась, то, в результате ЭЛО газов,  $\text{NO}_2$ , в основном, расходуется в реакции R8 с образованием  $\text{NO}_3$ . И таким образом, негативное влияние реакции R5 на эффективность ЭЛО газов может быть снижено. Также, вследствие того, что в результате ультрафиолетовой обработки газов с длиной волны  $\lambda=146$  нм, концентрация кислорода снижается, то негативное влияние реакций R6 и R7 на степень очистки газов от NO уменьшается.

**Выводы.** В смеси газов  $\text{N}_2 - \text{O}_2 - \text{NO}$  при электронно-лучевой обработке степень очистки газов от NO не превышает 35%, при этом образуется до 50 ppm  $\text{NO}_2$  и меньше 10 ppm  $\text{N}_2\text{O}$ . Наибольший вклад в удаление NO вносят реакции  $\text{NO} + \text{N} = \text{N}_2 + \text{O}$ ,  $\text{NO} + \text{O}_3 = \text{NO}_2 + \text{O}_2$ ,  $\text{NO} + \text{O} + \text{N}_2 = \text{NO}_2 + \text{N}_2$ ,  $\text{NO} + \text{NO}_3 = 2\text{NO}_2$ . Реакция  $\text{NO}_2 + \text{O} = \text{NO} + \text{O}_2$  является нежелательной, т.к. уменьшает эффективность удаления NO из смеси газов. Около 21% промежуточных атомов кислорода расходуется в этой реакции. Одним из способов уменьшения влияния этой реакции на эффективность очистки – введение в дымовые газы или

образование в дымовых газах химических веществ, активно взаимодействующих с O, другим способом уменьшения влияния этой реакции на эффективность очистки дымовых газов от NO является снижение концентрации кислорода в дымовых газах. Снижение содержания молекул кислорода в дымовых газах может быть достигнуто, например, в предварительной обработке дымовых газов ультрафиолетом с длиной волны  $\lambda=146$  нм. Источником такого ультрафиолетового излучения могут быть эксимерные источники на основе криптона.

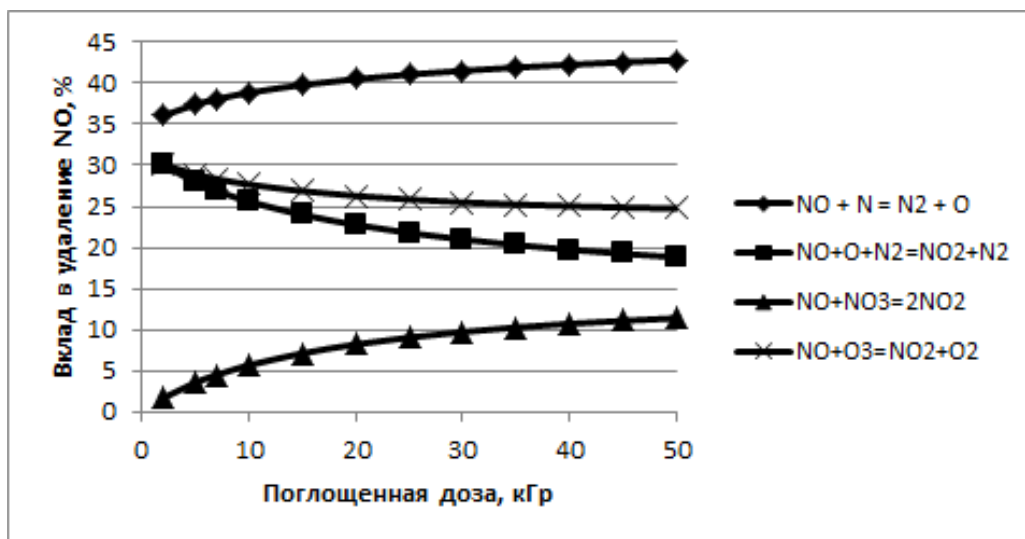


Рисунок 3 – Вклад реакций в удаление NO

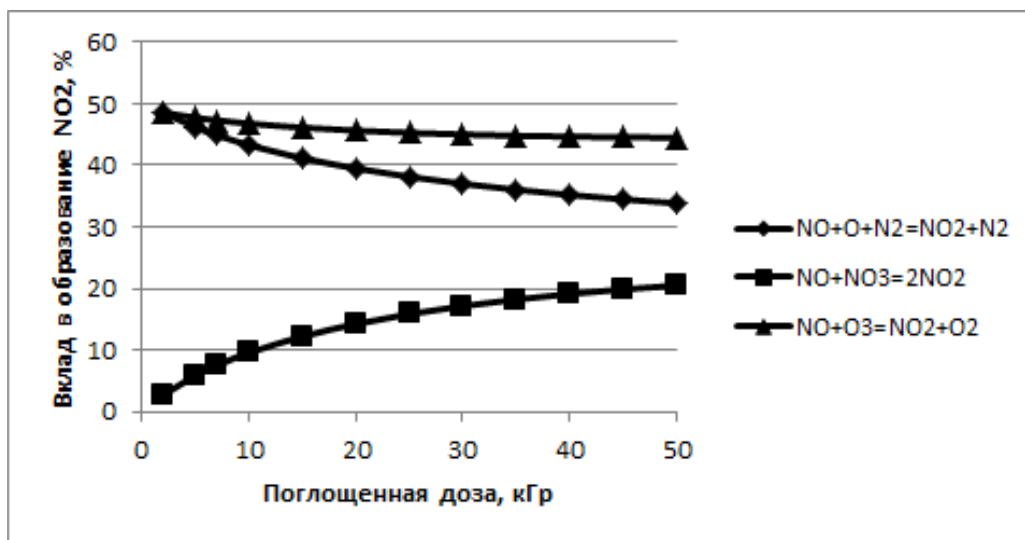


Рисунок 4 – Вклад реакций в образование NO<sub>2</sub>

Выражаю благодарность Шкилько А.М. и Файнштейну А.Л. за полезное обсуждения и сделанные замечания.

Литература

1. Fainchtein O.L. Developing wet variants of electron-beam removal of NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> and particulate from flue gas [Text] / O.L. Fainchtein, V.V. Piotrovskiy, M.V. Sagaidak / Ed. by Kevin E. O'Shea William J. Cooper, Randy D. Curry. – [S. l.] : Wiley-Interscience, 1998. – P. 123–138.

2. Morgunov V. Mathematical model of the processes of electron-beam cleaning of flue gas from SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PAHs, VOCs [Text] / V. Morgunov, A. Feinstein, A. Shkilko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2011. – Vol. 3/11(51). – P. 25–30.

3. Morgunov V. Numerical simulation of physical and technical processes under electron beam flue gas cleaning [Text] / V. Morgunov, A. Shilko // Integrated Technologies and Energy Conservation. – 2011. – Vol. 3. – P. 48–50.

4. Radiation treatment of exhaust gases – I. oxidation of NO and reduction of NO<sub>2</sub> [Text] / Okihiro Tokunaga, Koichi Nishimura, Sueo Machi, Masamitsu Washino // The International Journal of Applied Radiation and Isotopes. – 1978. – Vol. 29, No. 2. – P. 81–85.

5. Моргунов В.В. О возможности применения ультрафиолета для очистки дымовых газов от NO<sub>x</sub> и SO<sub>2</sub>. [Текст] / В.В. Моргунов, А.М. Шкилько // Сборник тезисов V Международной научно-практической конференции «Качество технологий – качество жизни» (8–12 сентября 2012 г.г. Солнечный берег, Болгария) – Харьков, УИПА, 2012. – 128 с.

Bibliography (transliterated)

1. Fainchtein O.L. Developing wet variants of electron-beam removal of NOX, SO2 and particulate from flue gas [Text] O.L. Fainchtein, V.V. Piotrovskiy, M.V. Sagaidak Ed. by Kevin E. O’Shea William J. Cooper, Randy D. Curry. – [S. l.] : Wiley-Interscience, 1998. – P. 123–138.

2. Morgunov V. Mathematical model of the processes of electron-beam cleaning of flue gas from SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PAHs, VOCs [Text] V. Morgunov, A. Feinstein, A. Shkilko Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2011. – Vol. 3/11(51). – P. 25–30.

3. Morgunov V. Numerical simulation of physical and technical processes under electron beam flue gas cleaning [Text] V. Morgunov, A. Shilko Integrated Technologies and Energy Conservation. – 2011. – Vol. 3. – P. 48–50.

4. Radiation treatment of exhaust gases – I. oxidation of NO and reduction of NO<sub>2</sub> [Text] Okihiro Tokunaga, Koichi Nishimura, Sueo Machi, Masamitsu Washino The International Journal of Applied Radiation and Isotopes. – 1978. – Vol. 29, No. 2. – P. 81–85.

5. Morgunov V.V. O vozmozhnosti primeneniya ultrafioleta dlya ochistki dyimovyih gazov ot NOX i SO2. [Tekst] V.V. Morgunov, A.M. Shkilko Sbornik tezisov V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Kachestvo tehnologiy – kachestvo zhizni» (8–12 sentyabrya 2012 g.g. Solnechnyy bereg, Bolgariya) – Harkov, UIPA, 2012. – 128 p.

УДК 519.6 : 544.54 : 537.5

Моргунов В.В.

**ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОНО-ПРОМЕНЕВОГО ОЧИЩЕННЯ ДИМОВИХ ГАЗІВ.  
СИСТЕМА N<sub>2</sub> – O<sub>2</sub> – NO**

На основі розробленого авторами програмного комплексу «ELO» розрахована ступінь видалення NO в діапазоні від 0 до 50 кГр для суміші газів N<sub>2</sub> – O<sub>2</sub> – NO. Одержано залежність внеску реакцій в ступінь видалення і освіти наступних хімічних речовин: NO, NO<sub>2</sub>, N, O, NO<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O.

Morgunov V.V.

**NUMERICAL SIMULATION OF FLUE GAS TREATMENT UNDER ELECTRON-BEAM  
PURIFICATION. N<sub>2</sub> – O<sub>2</sub> – NO SYSTEM**

On the base of the software developed by authors the efficiency of NO removal from N<sub>2</sub> – O<sub>2</sub> – NO system was simulated in the dose range 0 – 50 kGy. The dependencies of formation and sink of following species: NO, NO<sub>2</sub>, N, O, NO<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O by various reactions were received.

Огурцов А.Н., Близнюк О.Н.

**КИНЕТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗЛОЖЕНИЯ ОКСИДА АЗОТА (I)  
В ТЕХНОЛОГИЯХ ОЧИСТКИ ХВОСТОВЫХ ГАЗОВ И СТИМУЛИРОВАННОЙ  
ДИССОЦИАЦИИ БИОПОЛИМЕРОВ ДНК**

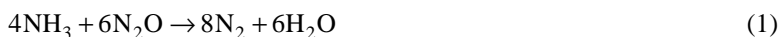
**Постановка и актуальность задачи.** Проблема селективного управления концентрацией и путями превращения оксида азота (I) (закиси азота) является как актуальной химико-технологической и экологической проблемой [1,2], так и одной из потенциальных технологий управляемой модификации свойств биоматериалов [3,4], поскольку  $N_2O$  является, с одной стороны, одним из наиболее активных парниковых газов, парниковая активность которого в 310 раз выше, чем у  $CO$  [5], а с другой стороны, закись азота обладает сильно выраженными канцерогенными свойствами [6], поскольку является прекурсором целого спектра радикалов, стимулирующих диссоциацию биополимеров ДНК [7]. Так как газообразная закись азота является наиболее распространённым ингаляционным анестетиком, то исследование возможных путей паталогического метаболизма  $N_2O$  является актуальной медицинской проблемой.

Кроме того, в связи с ужесточением требований по экологической безопасности к ракетным топливам в последнее время активно проводится поиск наиболее активных систем в реакции разложения закиси азота, которые могут стать основой при разработке катализатора разложения  $N_2O$ , как высокоэнергетического и экологически чистого однокомпонентного ракетного топлива [8]. Вместе с тем, оксид азота (I) – это, прежде всего, мощный парниковый и озоноразрушающий газ. Поэтому поиск путей уменьшения выбросов оксидов азота, включая  $N_2O$ , является актуальным и необходимым. Главными источниками поступления  $N_2O$  в атмосферу антропогенного происхождения признаны тепловые электростанции, автомобильный транспорт, сельское хозяйство и некоторые химические производства, в том числе и азотнокислотные установки.

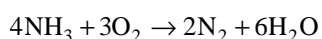
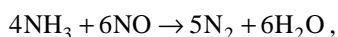
Оксид азота (I) образуется как побочный продукт в производстве азотной кислоты на стадии окисления аммиака при повышенном давлении с применением сеток из металлов платиновой группы в качестве катализатора – 2,8 до 3,8 кг  $N_2O$  / т  $HNO_3$  ( $\pm 10\%$ ) в зависимости от степени конверсии аммиака. Крупные азотно-кислотные установки в мире выбрасывают около 400 тыс. т  $N_2O$  в год. Это предопределяет необходимость исследования и разработки возможных путей сокращения образования  $N_2O$  по всей технологической линии производства  $HNO_3$ : непосредственно в контактном аппарате окисления аммиака, в газовом потоке между контактными аппаратами и абсорбционной колонной и на выходе из абсорбционной колонны в отходящем газовом потоке. Производство неконцентрированной азотной кислоты имеет технологическую схему без рецикла, поэтому отходящие газы в полном объёме сбрасываются в атмосферу. Таким образом, узел очистки "хвостовых" газов в производстве неконцентрированной азотной кислоты имеет большое значение, так как он должен обеспечивать экологическую безопасность производства в соответствии с современными требованиями.

Очистка "хвостовых" газов в производстве азотной кислоты осуществляется методами каталитического разложения или восстановления оксидов азота до элементарного азота. Наибольшее распространение получили два метода: в первом – газом-восстановителем является метан, во втором – аммиак [9].

**Результаты и обсуждение.** Каталитическое восстановление  $N_2O$  аммиаком



вместе с остальными реакциями процесса очистки хвостовых нитрозных газов



позволяют моделировать кинетику процесса селективной каталитической очистки отходящих газов от оксидов азота следующей системой дифференциальных уравнений

$$\begin{aligned} \frac{dC_{N_2O}}{dt} &= -1,5w_1; & \frac{dC_{NO_2}}{dt} &= -0,75w_2; & \frac{dC_{NO}}{dt} &= -1,5w_3; \\ \frac{dC_{CO_2}}{dt} &= -1,5w_4; & \frac{dC_{N_2}}{dt} &= 2w_1 + 0,875w_2 + 1,25w_3 + 0,5w_4; \\ \frac{dC_{NH_3}}{dt} &= -(w_1 + w_2 + w_3 + w_4); & \frac{dC_{H_2O}}{dt} &= 1,5(w_1 + w_2 + w_3 + w_4), \end{aligned} \quad (3)$$

где скорости реакций имеют вид  $w_1 = k_1(C_{NH_3})^{n_1}(C_{N_2O})^{n_2}$ ;  $w_2 = k_2(C_{NH_3})^{n_3}(C_{NO_2})^{n_4}$ ;  $w_3 = k_3(C_{NH_3})^{n_5}(C_{NO})^{n_6}$ ;  $w_4 = k_4(C_{NH_3})^{n_7}(C_{CO_2})^{n_8}$ ; а решение системы уравнений (3) проводят методом численного интегрирования задачи Коши одношаговым методом Рунге-Кутты четвертого порядка, используя в качестве подгоночных параметров константы скоростей  $k_i$ , ( $i=1 \div 4$ ) и показатели степени  $n_j$ , ( $j=1 \div 8$ ) [10]. Примером такого рода численного кинетического моделирования является зависимость степени конверсии аммиака и оксидов азота  $\alpha$  от времени контактирования  $\tau$  (рис. 1(a)).

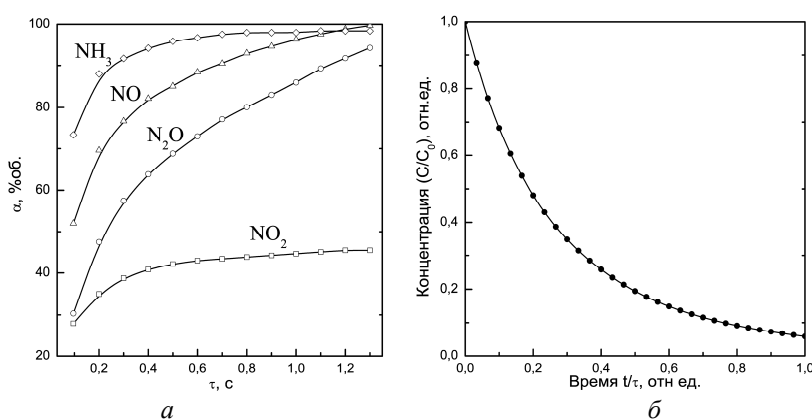
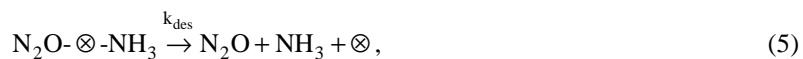
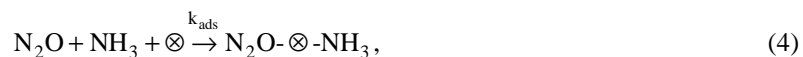


Рисунок 1 – Кинетическое моделирование каталитической очистки хвостовых нитрозных газов: а – зависимость степени конверсии от времени контактирования; б – кинетическая кривая разложения закиси азота

На рис. 1(б) точками представлена кинетическая кривая разложения закиси азота в нормированных координатах: по оси ординат –  $C/C_0$  – концентрация  $N_2O$ , нормированная на начальную концентрацию; по оси абсцисс –  $t/\tau$  – время реакции, нормированное на время контактирования. Эта кинетическая кривая разложения закиси азота в ходе реакции (1) на поверхности катализатора может быть достаточно хорошо интерполирована в рамках предложенной в предыдущей работе нестационарной кинетической модели (nonsteady kinetic model, NSK-модель) [11]. Мы можем представить элементарный акт разложения молекулы  $N_2O$  как комбинацию трёх процессов



Процесс (4) отображает иммобилизацию молекул реагентов на активном центре ( $\otimes$ ) на поверхности катализатора с константой скорости  $k_{ads}$  (adsorption) и формирование возбуждённого метастабильного локального комплекса,  $N_2O-\otimes-NH_3$ . Затем либо молекулы реагентов в процессе (5) десорбируют с активного центра ( $\otimes$ ) катализатора с константой скорости  $k_{des}$  (desorption) и система возвращается в исходное состояние, либо, в соответствии с реакцией (1), на активном центре ( $\otimes$ ) в процессе (6) с константой скорости  $k_{dec}$  происходит каталитическое разложение (decomposition) метастабильного комплекса  $N_2O-\otimes-NH_3$  на продукты  $RP$  (reaction products). В этом случае, как было показано в работе [11], кинетика разложения закиси азота описывается выражением



$$C = \frac{k_{\text{ads}} C_{\text{N}_2\text{O}}^0 C_{\text{O}}^0}{k_{\text{ads}} C_{\text{O}}^0 + k_{\text{des}} + k_{\text{dec}}} - \frac{k_{\text{ads}} C_{\text{N}_2\text{O}}^0 C_{\text{O}}^0}{k_{\text{ads}} C_{\text{O}}^0 + k_{\text{des}} + k_{\text{dec}}} \exp\left[-(k_{\text{ads}} C_{\text{O}}^0 + k_{\text{des}} + k_{\text{dec}}) \cdot t\right], \quad (7)$$

где  $C_{\text{N}_2\text{O}}^0$  – начальная концентрация закиси азота;  $C_{\text{O}}^0$  – начальная концентрация незанятых активных центров катализатора. В нормированных координатах  $C/C_0$  и  $t/\tau$  кинетика разложения сводится к выражению

$$\frac{C}{C_0} = \exp\left[-\tau(k_{\text{ads}} C_{\text{O}}^0 + k_{\text{des}} + k_{\text{dec}}) \cdot \frac{t}{\tau}\right]. \quad (8)$$

Аппроксимация кинетической кривой разложения закиси азота по формуле (8), представленная на рис.1(б) сплошной линией, демонстрирует применимость предлагаемой модели для описания кинетики рассматриваемого процесса, что может быть основой для разработки на основе NSK-модели аналитического метода сравнения результатов экспериментов с различными катализаторами [8,12,13].

Другим применением NSK-модели является анализ дозовых кривых процессов стимулированной модификации биоматериалов электронными возбуждениями [11], применительно к системам, реакционная активность которых существенно зависит от наличия закиси азота. Как было показано в работе [14], в атмосфере закиси азота электронно-стимулированные процессы диссоциации биополимеров ДНК идут в 1,5–1,9 раз эффективнее, чем в атмосфере  $\text{O}_2$  или  $\text{N}_2$  [15]. Причём эффективность именно электронно-стимулированных процессов, в которых образуются реакционно-активные азотсодержащие соединения, RNS (reactive nitrogen species), возрастает в 7,2 раза в присутствии  $\text{N}_2\text{O}$ .

Исследования биологической активности RNS существенным образом интенсифицировались после открытия в 1989-1994 гг. трёх основных изоформ фермента NO-синтаза: нейрональной (nNOS или NOS-1), индуцируемой (iNOS или NOS-2) и эндотелиальной (eNOS или NOS-3). На рис. 2 представлена общая схема образования из субстрата L-аргинина (Arg) ферментами NOS L-цитруллина (Cit) и RNS, регулируемого коферментом тетрагидробиоптерин ( $\text{BH}_4$ ), и трансформации RNS с участием фермента супероксиддисмутазы (SOD) [6].

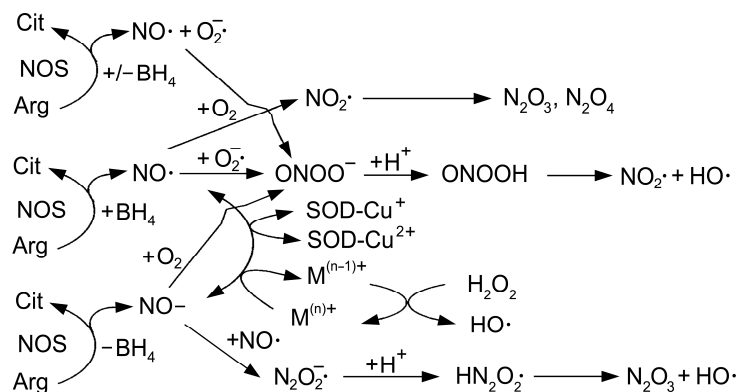


Рисунок 2 – Схема  $\text{BH}_4$ -зависимого синтеза RNS ферментами NOS

Большинство RNS, представленных на рис. 2, либо непосредственно, либо во взаимодействии с другими радикалами вызывают разрушение биополимеров ДНК. Так  $\text{N}_2\text{O}_3$  является сильным дезаминирующим агентом азотистых оснований ДНК, превращающий гуанин в ксантин и оксанозин, аденин в гипоксантин, цитозин в урацил, 5-метилцитозин в тимин.  $\text{N}_2\text{O}_3$  может взаимодействовать с вторичными аминами, образуя канцерогенные N-нитрозамины, которые разрушают биополимеры ДНК алкилированием. Пероксинитрит-анион ( $\text{ONOO}^-$ ), образующийся при взаимодействии супероксид-иона ( $\text{O}_2^-$ ) и оксида азота ( $\text{NO}$ ), разрушают ДНК вследствие формирования 8-нитрогуанина.  $\text{NO}^-$ , синтезируемый NOS в отсутствие  $\text{BH}_4$ , стимулирует образование перекиси водорода ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) и гидроксильных радикалов ( $\text{HO}$ ), которые и обеспечивают антимикробную и противоопухолевую активность клеток иммунной системы, включая нейтрофилы и макрофаги.

Кроме прямой диссоциации биополимеров ДНК RNS являются генотоксичными, прежде всего за счёт мутаций G:C и A:T вследствие дезаминирования ДНК [16]. Образование RNS стимулирует эпигенетические нарушения, прежде всего вследствие нитрирования аминокислоты тирозин с образованием 3-нитротирозина (NTYR). NTYR-белки являются маркерами множества патогенных состояний, включая диабет, гастрит и рак лёгких. Посттрансляционная модификация дезактивирует антионкобелки p53 за счёт формирования дисульфидных связей и, одновременно, активирует протоонкогены gas-p21 посредством S-нитрозилирования (образования тионитритов) и образования NTYR. Кроме того, RNS ингибируют репарационные ферменты ДНК; активируют некоторые ген-супрессорные ферменты, такие, как ДНК-метилтрансфераза, которые подавляют экспрессию генов; стимулируют ангиогенез и супрессию иммунитета, ингибируя пролиферацию лимфоцитов [6].

Альтернативой энзиматическому формированию RNS является образование RNS непосредственно в биопрепарате, стимулированное электронными возбуждениями. Так, диссоциативное присоединение DEA (dissociative electron attachment) к  $N_2O$  низкоэнергетичных электронов LEE (low energy electrons) с энергиями 0–30 эВ приводит к образованию  $O^-$  в реакции  $e^- + N_2O \rightarrow N_2 + O^-(^3P)$  с энергией диссоциации  $\sim 1$  эВ, что более чем в шесть раз меньше, чем аналогичная энергия для генерации ионов кислорода при DEA кислородом [14].

В свою очередь ионы кислорода инициируют образование RNS в реакциях  $O^- + N_2O \rightarrow NO_2^- + N$  и  $O^- + N_2O \rightarrow NO^- + NO$ . Далее  $NO^-$  в ион-молекулярной реакции  $NO^- + N_2O \rightarrow NO_2^- + N_2$  конвертируется в  $NO_2^-$ . Аналогично, при взаимодействии  $O^-$  и  $NO^-$  с  $N_2O$  образуются  $N_2O_2^-$  и  $N_3O_2^-$ . Кроме RNS результатом DEA к  $N_2O$  может быть образование реакционно-активные кислородсодержащих соединений, ROS (reactive oxygen species), например,  $O_2^-$  в реакции  $O^- + N_2O \rightarrow N_2 + O_2^-$  или молекулярного кислорода  $N_2O + O(^1D) \rightarrow N_2 + O_2$ , который разрушает ДНК, стимулируя образование пероксирадикалов ДНК- $O_2^-$  [17].

На рис. 3(а) представлены результаты экспериментов по радиационно-стимулированной диссоциации биополимеров ДНК в атмосфере  $N_2O$  при облучении X-лучами (треугольники) или комбинированном воздействии X-лучей и LEE (квадраты) [14].

Исходно плазмиды ДНК находились в суперспирализованной SC-конформации (supercoiled Cf). Одноцепочечный разрыв ДНК-нити SSB (single strand break) в такой плазмиде переводил плазмиду в релаксированную кольцевую конформацию – С-конформацию (circular Cf). Одновременный разрыв двух нитей ДНК DSB (double strand break) переводил плазмиду в линейную L-конформацию (LC).

На рис. 3(а) представлена кинетика синхронного уменьшения процентного содержания ДНК в SC-конформации и увеличения процентного содержания ДНК в С-конформации вследствие SSB-диссоциации двойной спирали ДНК для случаев облучения образца X-лучами (1,5 кэВ) (треугольники) или одновременного облучения как X-лучами (1,5 кэВ), так и низкоэнергетичными электронами LEE (0–30 эВ) (квадраты) в атмосфере  $N_2O$ . На рисунке 3(б) представлены экспериментальные результаты исследования кинетики роста ДНК в L-форме вследствие DSB-диссоциации ДНК при облучении в атмосфере  $N_2O$  образца X-лучами (1,5 кэВ) (окружности) или при одновременном облучении как X-лучами (1,5 кэВ), так и низкоэнергетичными электронами LEE (0–30 эВ) (чёрные круги) [14]. Плотности потока X-фотонов, J, падающих на образец, отображены на рис.3 на осях абсцисс.

Поглощение X-лучей и LEE образцом в атмосфере  $N_2O$  приводит к формированию RNS и ROS, которые соответствуют мобильным локализованным возбуждениям MTE (mobile trapped excitations), кинетика которых в модели NSK рассматривалась в предыдущих работах как для случая модельных кристаллов [18], так и для случая биополимеров ДНК [11].

В NSK-модели кинетика накопления продуктов диссоциации описывается уравнением

$$C = C_{\text{макс}} \left( 1 - \exp \left[ - \left( k_{\text{лок}} C_{\text{DNA}}^0 + k_{\text{дел}} + k_{\text{дис}} \right) \cdot t \right] \right), \quad (9)$$

где  $k_{\text{лок}}$  – константа скорости локализации возбуждения на ДНК;  $k_{\text{дел}}$  – константа скорости делокализации возбуждения с ДНК;  $k_{\text{дис}}$  – константа скорости диссоциации ДНК;  $C_{\text{DNA}}^0$  – исходная концентрация ДНК [11]. Сплошные кривые на рис. 3 представляют результат моделирования процесса электронно-стимулированной диссоциации биополимеров ДНК в NSK-модели. Из сравнения результатов моделиро-

вания с экспериментальными данными можно определить фактор усиления  $EF$  (enhancement factor) процессов диссоциации ДНК за счёт низкоэнергетичных электронов

$$EF = \frac{K_{X+LEE}}{K_X}, \quad (10)$$

где  $K = k_{\text{лок}} C_{\text{DNA}}^0 + k_{\text{дел}} + k_{\text{дис}}$ . Для SC-конформации ДНК:  $EF_{\text{SC}} = 1,88 \pm 0,05$  (кривые 1 и 2 на рис. 3(a)). Для C-конформации ДНК:  $EF_C = 1,59 \pm 0,07$  (кривые 3 и 4 на рис. 3(a)). Для L-конформации ДНК:  $EF_L = 1,51 \pm 0,08$  (рисунок 3(б)). Эти значения в пределах погрешности совпадают с экспериментально полученными значениями для SC, C и L конформаций ( $1,9 \pm 0,2$ ,  $1,6 \pm 0,3$  и  $1,5 \pm 0,4$ , соответственно) [14].

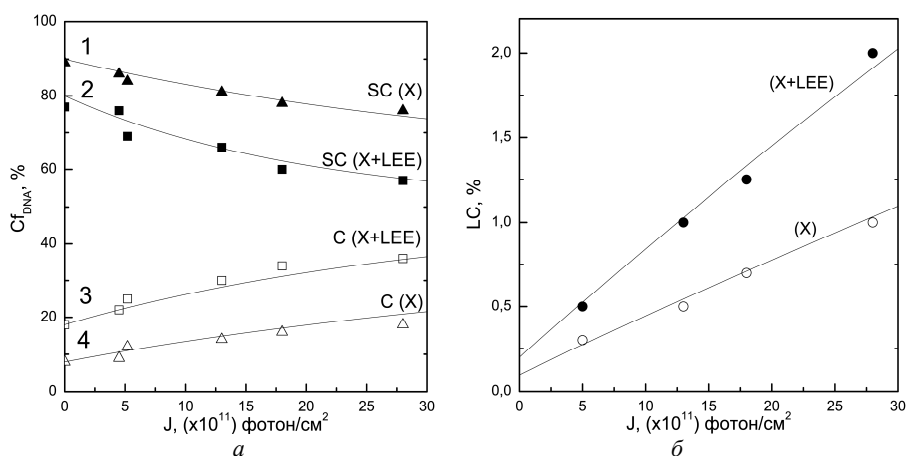


Рисунок 3 – Кинетика электронно-стимулированной диссоциации ДНК в атмосфере  $N_2O$ :  
 $a$  – SC и C-формы ДНК;  $b$  – линейная форма ДНК

**Выводы.** Разработка новых высокоэффективных технологий радиационной модификации материалов электронными возбуждениями принадлежит к актуальным направлениям современного поиска в области высоких технологий, и использование облучения пучками фотонов и низкоэнергетичных частиц для управляемой модификации свойств молекулярных материалов позволяет как непосредственно стимулировать разрыв межатомных связей за счёт локализации электронного возбуждения на этой связи, так и генерировать вблизи атакуемых связей реакционно-активные радикалы, например, атмосферных газов, которые и выполняют функцию молекулярного скальпеля, стимулирующего диссоциацию необходимой связи. Для контроля процессов диссоциации необходим сайт-специфический дистанционный непрерывный аналитический метод контроля состояния образцов под облучением, в качестве составной части которого предлагается использовать предложенный ранее нестационарный кинетический метод, применение которого в данной работе позволило достаточно точно описать как кинетику разложения закиси азота в технологии очистки "хвостовых" газов в производстве азотной кислоты, так и кинетику диссоциации биополимеров ДНК, стимулированную реакционно-активными азотсодержащими соединениями, образующимися в результате электронно-стимулированного разложения молекул закиси азота в образце биопрепарата.

#### Литература

1. Близнюк О.М. Дослідження кінетичних закономірностей низькотемпературного окиснення аміаку до  $N_2O$  на Mn-Ni-Bi-Li-O каталізаторі / О.М. Близнюк, А.С. Савенков, О.М. Огурцов // ІТЕ. – 2011. – №1. – С. 18–22.
2. Nitrous Oxide and Climate Change / Ed. by K. Smith. – London : Earthscan Ltd., 2010. – 232 p.
3. Polymeric Biomaterials / Ed. by S. Dumitriu. – Basel : Marcel Dekker, Inc., 2002. – 1168 p.
4. Modern Biopolymer Science. Bridging the Divide between Fundamental Treatise and Industrial Application / Ed. by S. Kasapis, I.N. Norton, J.B. Ubbink. – London : Elsevier Inc., 2009. – 627 p.
5. Global Anthropogenic Non- $CO_2$  Greenhouse Gas Emissions: 1990–2030 / Office of Atmospheric Programs. – Washington : Climate Change Division, 2011. – 182 p.

6. Ohshima H. Genetic and Epigenetic Damage Induced by Reactive Nitrogen Species: Implications in Carcinogenesis / H. Ohshima // *Toxicology Letters*. – 2003. – V. 140–141. – P. 99–104.
7. Hussain S.P. Radical Causes of Cancer / S.P. Hussain, L.J. Hoseth, C.C. Harris // *Nature Reviews Cancer*. – 2003. – V. 3. – P. 276–286.
8. Гайдей Т.П. Каталитическая активность металлических и нанесённых оксидных катализаторов в реакции разложения закиси азота / [Т.П. Гайдей, А.И. Кокорин, Н. Пиллет, и др.] // *Журнал Физической Химии*. – 2007. – Т. 81, № 6. – С. 1028–1033.
9. Pérez-Ramírez J. Formation and Control of N<sub>2</sub>O in Nitric Acid Production. Where do We Stand Today? / J. Pérez-Ramírez, F. Kapteijn, K. Schöffel, J.A. Moulijn // *Applied Catalysis B: Environmental*. – 2003. – V. 44. – P. 117–151.
10. Близнюк О.Н. Каталитические процессы в технологии оксидов азота и азотной кислоты: дис. на соискание уч. степени доктора тех. наук / О.Н. Близнюк. – Х., 2009. – 375 с.
11. Огурцов А.Н. Моделирование нестационарной кинетики радиационной модификации материалов электронными возбуждениями: Эволюция характеристической люминесценции модельных кристаллов и диссоциация биополимеров ДНК / А.Н. Огурцов, О.Н. Близнюк, Н.Ю. Масалитина // *ITE*. – 2012. – № 1. – С. 43–51.
12. Kondratenko E.V. Micro-kinetic Analysis of Direct N<sub>2</sub>O Decomposition over Steam-activated Ferrihydrite From Transient Experiments in the TAP Reactor / E.V. Kondratenko, J. Pérez-Ramírez // *Catalysis Today*. – 2007. – V. 121. – P. 197–203.
13. Xu W. Single-Molecule Kinetic Theory of Heterogeneous and Enzyme Catalysis / W. Xu, J.S. Kong, P. Chen // *The Journal of Physical Chemistry C*. – 2009. – V. 113, № 6. – P. 2393–2404.
14. Alizadeh E. Induction of Strands Breaks in DNA Films by Low Energy Electrons and Soft X-ray Under Nitrous Oxide Atmosphere / E. Alizadeh, L. Sanche // *Radiation Physics and Chemistry*. – 2012. – V. 81. – P. 33–39.
15. Alizadeh E. Soft X-ray and Low Energy Electron-Induced Damage to DNA under N<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> Atmospheres / E. Alizadeh, P. Cloutier, D. Hunting, L. Sanche // *The Journal of Physical Chemistry B*. – 2011. – V. 115. – P. 4523–4531.
16. Огурцов А.Н. Основы молекулярной биологии : в 2-х ч. – Ч. 2. Молекулярные генетические механизмы / А.Н. Огурцов. – Харьков : НТУ "ХПИ", 2011. – 240 с.
17. Bertout J.A. The Impact of O<sub>2</sub> Availability on Human Cancer / J.A. Bertout, S.A. Patel, M.C. Simon // *Nature Reviews Cancer*. – 2008. – V. 8, № 12 – P. 967–975.
18. Огурцов А.Н. Модификация кристаллов электронными возбуждениями: монография / А.Н. Огурцов. – Харьков : НТУ "ХПИ", 2009. – 368 с.

Bibliography (transliterated)

1. Bliznyuk O.M. Doslidzhennya kinetichnih zakonmirnostey nizkotemperaturnogo okisnennya amiaku do N<sub>2</sub>O na Mn-Ni-Bi-Li-O katalizatori O.M. Bliznyuk, A.S. Savenkov, O.M. Ogurtsov *ITE*. – 2011. – #1. – p. 18–22.
2. Nitrous Oxide and Climate Change Ed. by K. Smith. – London : Earthscan Ltd., 2010. – 232 p.
3. Polymeric Biomaterials Ed. by S. Dumitriu. – Basel : Marcel Dekker, Inc., 2002. – 1168 p.
4. Modern Biopolymer Science. Bridging the Divide between Fundamental Treatise and Industrial Application Ed. by S. Kasapis, I.N. Norton, J.B. Ubbink. – London : Elsevier Inc., 2009. – 627 p.
5. Global Anthropogenic Non-CO<sub>2</sub> Greenhouse Gas Emissions: 1990–2030 Office of Atmospheric Programs. – Washington : Climate Change Division, 2011. – 182 p.
6. Ohshima H. Genetic and Epigenetic Damage Induced by Reactive Nitrogen Species: Implications in Carcinogenesis H. Ohshima *Toxicology Letters*. – 2003. – V. 140–141. – P. 99–104.
7. Hussain S.P. Radical Causes of Cancer S.P. Hussain, L.J. Hoseth, C.C. Harris *Nature Reviews Cancer*. – 2003. – V. 3. – P. 276–286.
8. Gaydey T.P. Kataliticheskaya aktivnost metallicheskih i nanesyonnyih oksidnyih katalizatorov v reaktzii razlozheniya zakisi azota [T.P. Gaydey, A.I. Kokorin, N. Pilet, i dr.] *Zhurnal Fizicheskoy Himii*. – 2007. – T. 81, # 6. – p. 1028–1033.
9. Pérez-Ramírez J. Formation and Control of N<sub>2</sub>O in Nitric Acid Production. Where do We Stand Today? J. Pérez-Ramírez, F. Kapteijn, K. Schöffel, J.A. Moulijn *Applied Catalysis B: Environmental*. – 2003. – V. 44. – P. 117–151.
10. Bliznyuk O.N. Kataliticheskie protsessy v tehnologii oksidov azota i azotnoy kisloty: dis. na soiskanie uch. stepeni doktora teh. nauk O.N. Bliznyuk. – H., 2009. – 375 p.

11. Ogurtsov A.N. Modelirovanie nestatsionarnoy kinetiki radiatsionnoy modi-fikatsii materialov elektronnyimi vzbuzhdeniyami: Evolyutsiya harakteristicheskoy lyuminestsentsii modelnyih kristallov i dissotsiatsiya biopolimerov DNK A.N. Ogurtsov, O.N. Bliznyuk, N.Yu. Masalitina ITE. – 2012. – # 1. – S. 43–51.
12. Kondratenko E.V. Micro-kinetic Analysis of Direct N<sub>2</sub>O Decomposition over Steam-activated Ferrihydrite From Transient Experiments in the TAP Reactor E.V. Kondratenko, J. Pérez-Ramírez Catalysis Today. – 2007. – V. 121. – P. 197–203.
13. Xu W. Single-Molecule Kinetic Theory of Heterogeneous and Enzyme Catalysis W. Xu, J.S. Kong, P. Chen The Journal of Physical Chemistry C. – 2009. – V. 113, # 6. – P. 2393–2404.
14. Alizadeh E. Induction of Strands Breaks in DNA Films by Low Energy Electrons and Soft X-ray Under Nitrous Oxide Atmosphere E. Alizadeh, L. Sanche Radiation Physics and Chemistry. – 2012. – V. 81. – P. 33–39.
15. Alizadeh E. Soft X-ray and Low Energy Electron-Induced Damage to DNA under N<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> Atmospheres E. Alizadeh, P. Cloutier, D. Hunting, L. Sanche The Journal of Physical Chemistry B. – 2011. – V. 115. – P. 4523–4531.
16. Ogurtsov A.N. Osnovy molekulyarnoy biologii : v 2-h ch. – Ch. 2. Molekulyarnye geneticheskie mehanizmy A.N. Ogurtsov. – Harkov : NTU "HPI", 2011. – 240 p.
17. Bertout J.A. The Impact of O<sub>2</sub> Availability on Human Cancer J.A. Bertout, S.A. Patel, M.C. Simon Nature Reviews Cancer. – 2008. – V. 8, # 12 – P. 967–975.
18. Ogurtsov A.N. Modifikatsiya kriokristallov elektronnyimi vzbuzhdeniyami: monografiya A.N. Ogurtsov. – Harkov : NTU "HPI", 2009. – 368 p.

УДК 544.542.2; 577.34; 661.566

Огурцов О.М., Близнюк О.М.

**КІНЕТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗКЛАДУ НІТРОГЕН (I) ОКСИДУ  
В ТЕХНОЛОГІЯХ ОЧИСТКИ ХВОСТОВИХ ГАЗІВ ТА СТИМУЛЬОВАНОЇ  
ДИСОЦІАЦІЇ БІОПОЛІМЕРІВ ДНК**

За допомогою нестационарного кінетичного методу досліджено кінетику розкладу нітроген (I) оксиду в технології очистки хвостових газів у виробництві нітратної кислоти та кінетику дисоціації біополімерів ДНК, стимульовану реакційно-активними нітрогенвмісними сполуками, що утворюються внаслідок розкладу молекул N<sub>2</sub>O в зразках. Одержані значення фактору підсилення дисоціації низькоенергійними електронами, що добре узгоджуються з експериментально отриманими даними.

Ogurtsov A.N., Bliznjuk O.N.

**KINETIC MODELING OF NITROUS OXIDE DECOMPOSITION  
IN TECHNOLOGIES OF TAIL GAS CLEANING AND STIMULATED  
DISSOCIATION OF DNA BIOPOLYMERS**

Kinetics of nitrous oxide decomposition in cleaning technologies of tail gases from nitric acid production and kinetics of DNA biopolymer dissociation, stimulated by reactive nitrogen species produced by N<sub>2</sub>O decomposition in samples, were studied using nonsteady kinetic method. The values of low energy electrons dissociation enhancement factors were obtained which are in good agreement with experimental data.

Слюсаренко Ю.А.

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВРАЩЕНИЯ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ  
ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ КРИВОЛИНЕЙНОГО ДВИЖЕНИЯ  
ВОЕННЫХ ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН**

**Постановка задачи.** На протяжении последних десятилетий в Харьковском конструкторском бюро по машиностроению им. А.А. Морозова (КП ХКБМ) ведутся работы по созданию автоматизированных систем управления движением военных гусеничных машин (ВГМ). В настоящее время специалистами КП ХКБМ для перспективного танка и для модернизации существующих ВГМ, создан целый ряд автоматизированных информационно-управляющих систем (ИУС), которые состоят из двух основных подсистем: автоматизированного управления поворотом (САУП) и автоматизированного управления переключением передач (САУПП) в трансмиссии.

Исследование параметров работы с целью предварительной настройки систем автоматизированного управления, а так же определение оптимальных значений коэффициентов усиления законов управления, может быть выполнено путём математического моделирования динамических процессов криволинейного движения ВГМ под управлением ИУС на каждой  $n$ -й передаче, что позволит сэкономить материальные средства, за счёт уменьшения объёма проведения ходовых испытаний.

Для практического выполнения цифрового математического моделирования динамических процессов движения танка на местности требуется разработка математических моделей его составных частей (корпуса, двигателя, трансмиссии, электрогидравлических исполнительных механизмов, ходовой части, взаимодействия гусеничного движителя с грунтом и т.д.), представленных в виде системы совместно интегрируемых дифференциальных уравнений.

Таким образом, разработка математических моделей составных частей ВГМ для параметрического синтеза систем управления, является актуальной.

**Цель и задачи исследования.** Целью работы является разработка и адаптация математической модели вращения коленчатого вала поршневого дизельного двигателя ВГМ, достаточной для математического моделирования динамических процессов движения танка на местности.

Для достижения поставленной цели необходимо составить, решаемую совместно, систему дифференциальных и алгебраических уравнений составных частей поршневого дизельного двигателя ВГМ, включающую:

- дифференциальное уравнение движения (вращения) коленчатого вала двигателя  $\frac{d\omega_\delta(t)}{dt}$  в зависимости от эффективного крутящего момента двигателя в сочетании с величиной момента нагрузки;
- алгебраические уравнения динамических характеристик: (внешней  $M_{\delta BH}(\omega_\delta)$ , регуляторных –  $M_{\delta P}(\omega_\delta, \omega_{XX})$  и тормозной  $M_{\delta T}(\omega_\delta)$ ) в зависимости от частоты вращения коленчатого вала двигателя под нагрузкой и на холостом ходу;
- алгебраические уравнения эффективного крутящего момента  $M_\delta^c(\omega_\delta)$  двигателя в зависимости от частоты вращения коленчатого вала и типа динамической характеристики;
- дифференциальное уравнение движения (динамических свойств) регулятора  $M_\delta$ ;
- алгебраическое уравнение величины момента  $M_{pot}$  потерь в зависимости от частоты вращения коленчатого вала.

**1. Математическая модель вращения коленчатого вала дизельного двигателя ВГМ**

Коленчатый вал двигателя можно представить в виде одной сосредоточенной массы, тогда дифференциальное уравнение движения коленчатого вала двигателя можно записать как вращение эквивалентной массы вокруг неподвижной оси [1]:

$$J_1 \frac{d\omega_\delta(t)}{dt} = M_\delta(\omega_\delta, \alpha_{ППТ}) - M_{pot} - M_H(t), \quad (1)$$

где  $M_{\delta}(\omega_{\delta}, \alpha_{ППТ})$  – эффективный крутящий момент двигателя;  $M_H(t)$  – реакция связи, характеризующая крутящий момент внешней нагрузки, приведенный к коленчатому валу двигателя;  $M_{pot}$  – величина момента внутренних потерь в дизельном двигателе;  $J_1$  – момент инерции масс двигателя, вращающихся с угловой скоростью коленчатого вала двигателя  $\omega_{\delta}(t)$ .

Эффективный крутящий момент двигателя определяется как функция текущего значения частоты вращения коленчатого вала двигателя  $\omega_{\delta}(t)$  и положения привода подачи топлива в цилиндры двигателя.

Неравномерностью крутящего момента двигателя для решения задачи исследования внешней динамики движения ВГМ можно пренебречь.

## 2. Определение динамических характеристик поршневого дизельного двигателя

Динамическими характеристиками поршневого дизельного двигателя являются:

- $M_{\delta BH}(\omega_{\delta})$  внешняя [2],
- $M_{\delta T}(\omega_{\delta})$  тормозная [2],
- $M_{\delta P}(\omega_{\delta}, \omega_{XX})$  регуляторные [3].

На рисунке 1. приведены динамические характеристики поршневого дизельного двигателя.

Регуляторные  $M_{\delta P}(\omega_{\delta}, \omega_{XX})$  характеристики двигателя ограничены «сверху» внешней  $M_{\delta BH}(\omega_{\delta})$ , а «снизу» тормозной  $M_{\delta T}(\omega_{\delta})$  динамическими характеристиками.

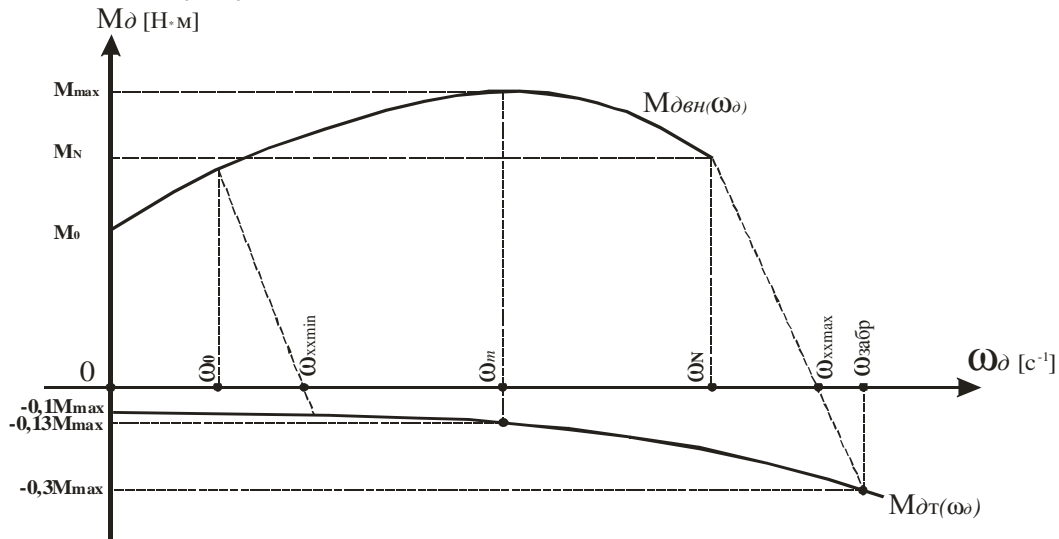


Рисунок 1 – Динамические характеристики поршневого дизельного двигателя:

$M_0$  – условная точка пересечения экстраполированной внешней характеристики с осью моментов  $M_0 = 0,5 \cdot M_N$ , [Н·м];  $M_{max}$  – максимальный крутящий момент двигателя, [Н·м];  $M_N$  – момент двигателя при максимальной рабочей частоте  $\omega_N$  вращения коленвала [Н·м];  $\omega_0$  – условная точка пересечения предельной левой регуляторной характеристики двигателя, с экстраполированной в зону низких частот вращения внешней характеристикой, [с<sup>-1</sup>];

$\omega_m$  – частота вращения двигателя, соответствующая расчетной точке максимального момента двигателя, [с<sup>-1</sup>];

$\omega_N$  – максимальная рабочая частота вращения двигателя /режим максимальной мощности/, [с<sup>-1</sup>];

$\omega_{XX \min}$  – минимальная частота вращения на «холостом ходу», [с<sup>-1</sup>];

$\omega_{XX \max}$  – максимальная частота вращения двигателя на «холостом ходу», [с<sup>-1</sup>];

$\omega_{забр}$  – максимальная частота вращения коленвала двигателя при «забросе» частоты вращения коленвала, [с<sup>-1</sup>]

При работающем двигателе каждому положению привода подачи топлива  $\alpha_{ППТ}$  соответствует своя регуляторная характеристика. Регуляторные характеристики полагаются прямыми линиями, точки пересечения которых, с осью частот вращения  $\omega_{\delta}$  представляют собой соответствующие этим характеристикам частоты вращения вала двигателя на холостом ходу  $\omega_{XX}$ .

Каждому положению привода подачи топлива соответствует своё значение  $\omega_{XX}$  и своя регуляторная характеристика.

$$\omega_{XX} = \omega_{XX \min} + (\omega_{XX \max} - \omega_{XX \min}) \cdot \alpha_{ПППТ}(t), \quad (2)$$

где  $\omega_{XX \min}$ ,  $\omega_{XX \max}$  – минимальная и максимальная частоты вращения коленчатого вала двигателя на холостом ходу;  $\alpha_{ПППТ}(t)$  – закон изменения положения привода подачи топлива – заданная функция, изменяющаяся во времени.

Параметр  $\alpha_{ПППТ}(t)$  нормируется таким образом, что значению  $\omega_{XX \min}$  соответствует  $\alpha_{ПППТ}(t) = 0,0$ , а значению  $\omega_{XX \max}$  соответствует  $\alpha_{ПППТ}(t) = 1,0$ .

Уравнение регуляторной характеристики двигателя, соответствующее текущему значению  $\omega_{XX}$ , имеет вид:

$$M_{\partial P} = K_{\partial P} \cdot (\omega_{\partial} - \omega_{XX}), \quad (3)$$

где  $K_{\partial P}$  – коэффициент наклона регуляторной характеристики к оси частот вращения.

Формула (3) соответствует случаю, когда регуляторные характеристики параллельны друг другу.

Внешняя  $M_{\partial BH}(\omega_{\partial})$  динамическая характеристика поршневого дизельного двигателя [3] является заданной функцией частоты вращения коленчатого вала двигателя  $\omega_{\partial}$  и аппроксимируется параболой по трем заданным точкам  $M_{0(\omega=0)}$ ,  $M_{\max(\omega_m)}$ ,  $M_{N(\omega_N)}$ :

$$M_{\partial BH}(\omega_{\partial}) = a \cdot \omega_{\partial}^2 + \nu \cdot \omega_{\partial} + c, \quad (4)$$

где  $a$ ,  $\nu$ ,  $c$  – коэффициенты.

Тормозная  $M_{\partial T}(\omega_{\partial})$  динамическая характеристика поршневого дизельного двигателя является заданной функцией частоты вращения коленчатого вала двигателя  $\omega_{\partial}$  и, по трем заданным точкам, в долях от максимального значения крутящего момента двигателя:  $-0,1 \cdot M_{\max(\omega=0)}$ ,  $-0,13 \cdot M_{\max(\omega_m)}$ ,  $-0,3 \cdot M_{\max(\omega_{забр})}$  так же аппроксимируется параболой:

$$M_{\partial T}(\omega_{\partial}) = a_T \omega_{\partial}^2 + \nu_T \omega_{\partial} + c_T, \quad (5)$$

где  $a_T$ ,  $\nu_T$ ,  $c_T$  – настроечные коэффициенты.

### 3. Определение эффективного крутящего момента поршневого дизельного двигателя

**3.1.** Последовательность определения текущего установившегося значения эффективного крутящего момента поршневого дизельного двигателя  $M_{\partial}^c(\omega_{\partial})$  следующая:

- по формулам (4) и (5) определяются  $M_{\partial BH}(\omega_{\partial})$  и  $M_{\partial T}(\omega_{\partial})$ ;
- по формуле (2) определяется  $\omega_{XX}$ ;
- по формуле (3) определяется  $M_{\partial P}(\omega_{\partial}, \omega_{XX})$ ;
- $M_{\partial}^c$  определяется по следующему алгоритму:

$$M_{\partial}^c = \begin{cases} M_{\partial BH}(\omega_{\partial}), & \text{если } M_{\partial BH}(\omega_{\partial}) < M_{\partial P}(\omega_{\partial}, \omega_{XX}); \\ M_{\partial T}(\omega_{\partial}), & \text{если } M_{\partial T}(\omega_{\partial}) > M_{\partial P}(\omega_{\partial}, \omega_{XX}); \\ M_{\partial P}(\omega_{\partial}, \omega_{XX}), & \text{если } M_{\partial T}(\omega_{\partial}) \leq M_{\partial P}(\omega_{\partial}, \omega_{XX}) \leq M_{\partial BH}(\omega_{\partial}). \end{cases} \quad (6)$$

Рассмотренная методика определения крутящего момента двигателя соответствует так называемому идеальному регулятору, свойства которого отображаются статической характеристикой.



3.2. Динамические свойства регулятора поршневого дизельного двигателя могут быть учтены путём введения инерционного (апериодического) звена первого порядка вида:

$$T \cdot \frac{dM_{\delta}}{dt} + M_{\delta} = M_{\delta}^c, \quad (7)$$

где  $M_{\delta}$  – текущее значение крутящего момента двигателя с учетом динамических свойств регулятора;  $M_{\delta}^c$  – статический эффективный крутящий момент двигателя, определяемый в соответствии с (6);  $T$  – постоянная времени регулятора, [с].

#### 4. Определение момента потерь поршневого дизельного двигателя

Величина момента внутренних потерь в дизельном двигателе зависит от частоты вращения коленчатого вала и определяется параболой [4]:

$$M_{pot} = 0,3 \cdot 10^{-3} \cdot \omega_{\delta}^2 - 0,039 \cdot \omega_{\delta} + 10,26, \quad (8)$$

где  $\omega_{\delta}$  – частота вращения коленчатого вала двигателя.

#### 5. Выводы

Таким образом, синтезирована и адаптирована для практических вычислений математическая модель (9) вращения коленчатого вала поршневого дизельного двигателя ВГМ при его эксплуатации на всех режимах работы, представленная в виде решаемой совместно системы дифференциальных и алгебраических уравнений, достаточная для математического моделирования динамических процессов движения изделия на местности.

$$\left. \begin{aligned} J_1 \frac{d\omega_{\delta}(t)}{dt} &= M_{\delta}(\omega_{\delta}, \alpha_{ППТ}) - M_{pot} - M_H(t); \\ \omega_{XX} &= \omega_{XX \min} + (\omega_{XX \max} - \omega_{XX \min}) \cdot \alpha_{ППТ}(t); \\ M_{\delta P} &= K_{\delta P} \cdot (\omega_{\delta} - \omega_{XX}); \\ M_{\delta BH}(\omega_{\delta}) &= a \cdot \omega_{\delta}^2 + \epsilon \cdot \omega_{\delta} + c; \\ M_{\delta T}(\omega_{\delta}) &= a_T \omega_{\delta}^2 + \epsilon_T \omega_{\delta} + c_T; \\ M_{\delta}^c &= \begin{cases} M_{\delta BH}(\omega_{\delta}), & \text{если } M_{\delta BH}(\omega_{\delta}) < M_{\delta P}(\omega_{\delta}, \omega_{XX}); \\ M_{\delta T}(\omega_{\delta}), & \text{если } M_{\delta T}(\omega_{\delta}) > M_{\delta P}(\omega_{\delta}, \omega_{XX}); \\ M_{\delta P}(\omega_{\delta}, \omega_{XX}), & \text{если } M_{\delta T}(\omega_{\delta}) \leq M_{\delta P}(\omega_{\delta}, \omega_{XX}) \leq M_{\delta BH}(\omega_{\delta}); \end{cases} \\ T \cdot \frac{dM_{\delta}}{dt} + M_{\delta} &= M_{\delta}^c; \\ T \cdot \frac{dM_{\delta}}{dt} + M_{\delta} &= M_{\delta}^c; \\ M_{pot} &= 0,3 \cdot 10^{-3} \cdot \omega_{\delta}^2 - 0,039 \cdot \omega_{\delta} + 10,26. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Данная математическая модель адекватна реальному объекту и нашла практическую реализацию при математическом моделировании динамических процессов движения ВГМ на местности с целью исследования режимов переключения передач и управления поворотом при работе автоматизированной системы управления движением ВГМ [5], [6].

Математическое моделирование динамических процессов криволинейного движения боевой гусеничной машины на горизонтальной местности с различными типами грунта, выполнялось автором на персональном компьютере под управлением ОС Microsoft Windows Vista SP2. Программное обеспечение разработано автором на языке программирования – Delphi 7 [7].

На рисунке 2 и 3, соответственно, приведены результаты математического моделирования разгона и торможения двигателем при прямолинейном движении по ровному асфальтобетонному покрытию ВГМ, оборудованной автоматизированной системой переключения передач в трансмиссии.

На рисунке 4 приведены результаты математического моделирования криволинейного движения ВГМ, оборудованной автоматизированной системой управления поворотом, при движении по ровному

асфальтобетонному покриттю на третій передачі переднього ходу і виконанні правого повороту. На рисунку 5 приведена відповідуюча траєкторія руху ВГМ.

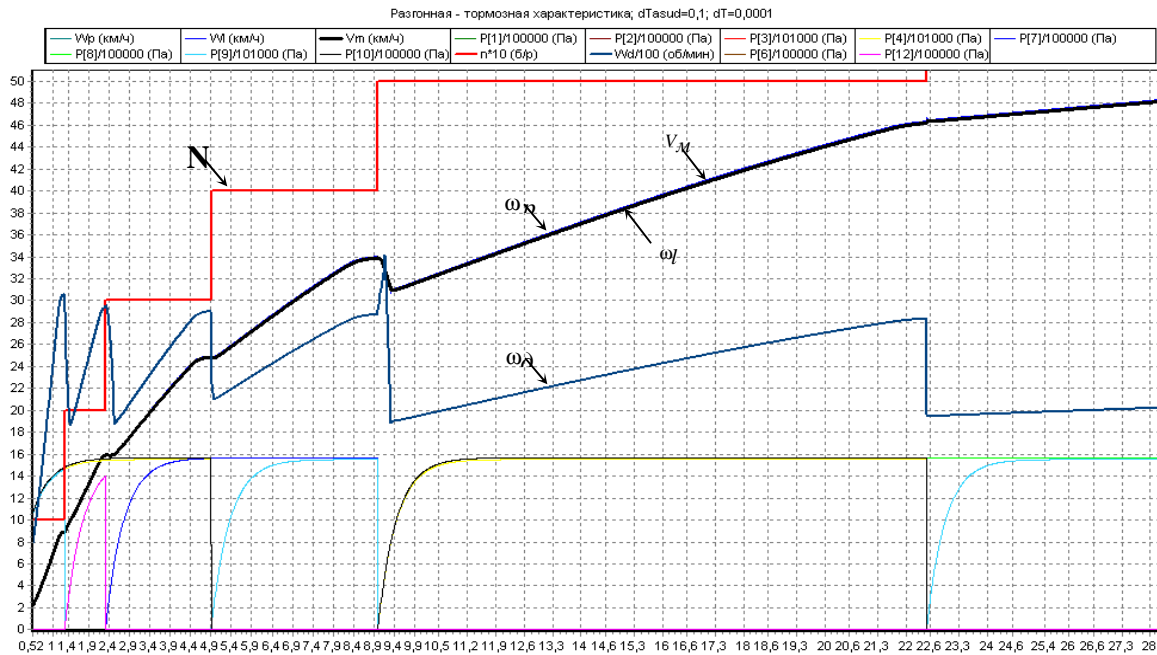


Рисунок 2 – Прямолинейное движение, разгонная характеристика ВГМ (с 1-й до 6-й передачи) при движении по асфальтобетону  $\alpha_{ППТ}(t) = 1,0$ .  $\omega_d$  – частота вращения коленчатого вала  $\frac{1}{100} \left[ \frac{1}{\text{мин}} \right]$ ;  $\omega_l / \omega_p$  – частота вращения левого/правого ведущего колеса;  $V_M$  – скорость движения ВГМ  $\left[ \frac{\text{км}}{\text{час}} \right]$ ; N – номер передачи (для наглядности значение N выведено с коэффициентом 10)

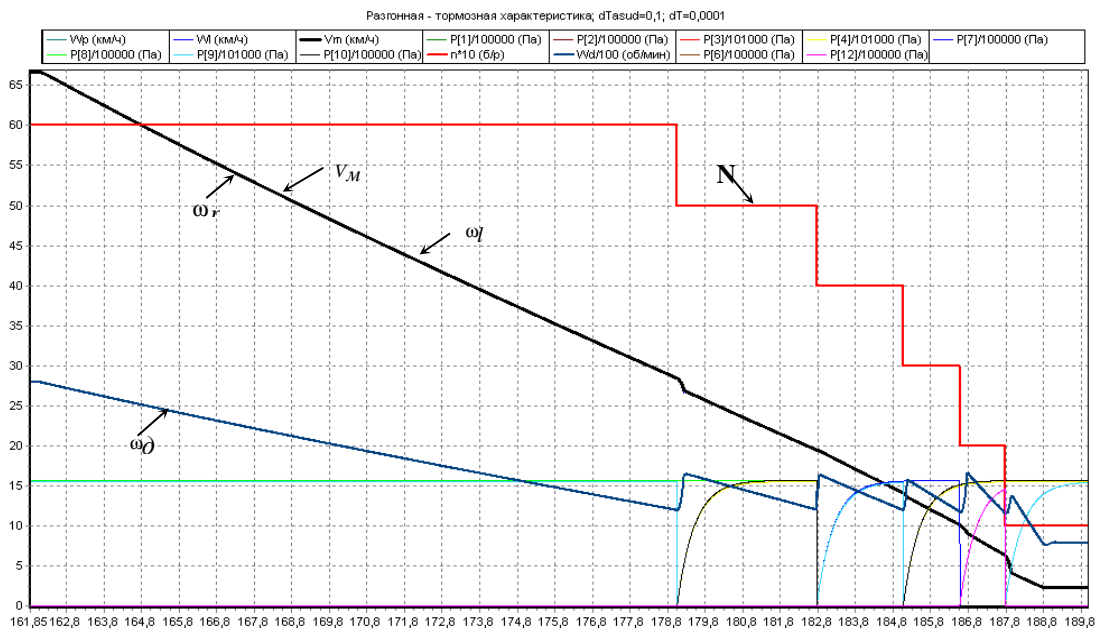


Рисунок 3 – Прямолинейное движение, тормозная характеристика ВГМ (с 6-й до 1-й передачи) при движении по асфальтобетону  $\alpha_{ППТ}(t) = 0,0$ .  $\omega_d$  – частота вращения коленчатого вала  $\frac{1}{100} \left[ \frac{1}{\text{мин}} \right]$ ;  $\omega_l / \omega_p$  – частота вращения левого/правого ведущего колеса;  $V_M$  – скорость движения ВГМ  $\left[ \frac{\text{км}}{\text{час}} \right]$ ; N – номер передачи (для наглядности значение N выведено с коэффициентом 10)

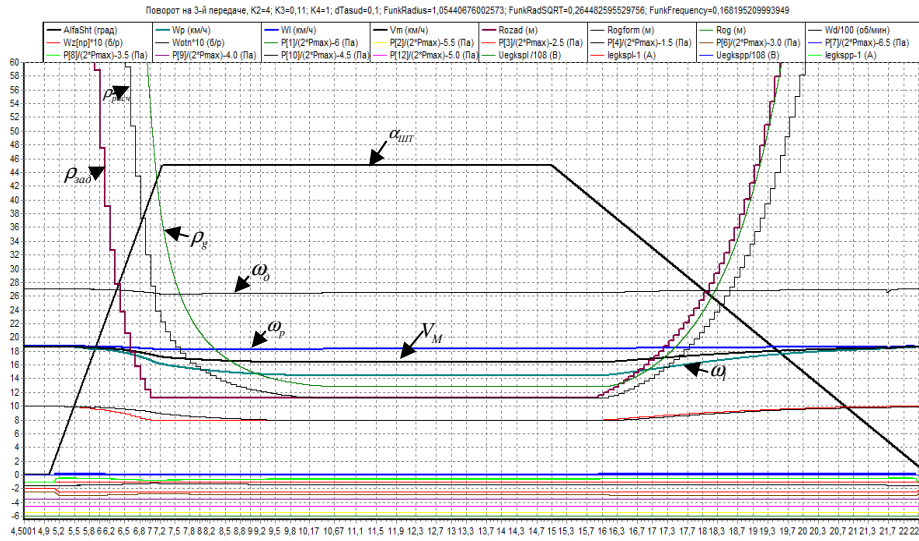


Рисунок 4 – Поворот ВГМ на асфальтобетоне вправо на третьей передаче.  $\alpha_{шт}(t) = 1,0$ .  $\omega_d$  – частота вращения коленчатого вала  $\frac{1}{100} \left[ \frac{1}{\text{мин}} \right]$ ;  $\omega_l / \omega_p$  – частота вращения левого/правого ведущего колеса  $\left[ \frac{\text{км}}{\text{час}} \right]$ ;  $V_M$  – скорость движения центра масс ВГМ  $\left[ \frac{\text{км}}{\text{час}} \right]$ ;  $\rho_g$  – действительный радиус поворота;  $\rho_{зад}$  – заданное штурвалом значение радиуса поворота;  $\alpha_{шт}$  – угол поворота штурвала [град]

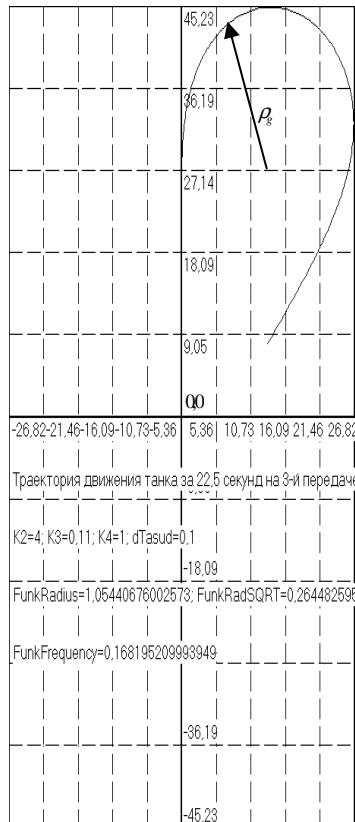


Рисунок 5 – Траектория криволинейного движения ВГМ при прямолинейном движении и повороте вправо на третьей передаче по асфальтобетонному покрытию  
Начало траектории движения ВГМ в точке с координатами (0,0).  
Единица измерения – [м]

Литература

1. Аврамов В.П., Александров Е.Е., Кононенко В.А. Об определении моментов нагрузки на коленчатом валу двигателя внутреннего сгорания при криволинейном движении гусеничной машины. // Динамика и прочность машин, 1979, Вып. 29. – с. 111–114.
2. Крутов В.И. Двигатель внутреннего сгорания как регулируемый объект. – М.: Машиностроение, 1978. – 471 с.
3. Крутов Н.К. Автоматическое регулирование двигателей внутреннего сгорания. – М.: Машиностроение, 1968. – 550 с.
4. Трансмиссии военных гусеничных машин. Метод расчета динамических процессов в МТУ в переходных режимах работы, Ост В3–5971-85.
5. Слюсаренко Ю.А., Галушка Ю.В. Улучшение плавности движения военных гусеничных машин в повороте за счёт синтеза цифрового регулятора, обеспечивающего гладкие переходные процессы в гидросистеме управления ступенчатыми бортовыми коробками передач. – //Механіка та машинобудування, 2010, №1. – с. 141–164.
6. Слюсаренко Ю.А. Вариационный метод решения задачи поиска оптимальных параметров закона управления, в процессе синтеза системы автоматизированного управления поворотом боевой гусеничной машины. – //Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України, 2011, №1. – с. 54–62.
7. Хомоненко А., Гофман В., Мещеряков Е., Никифоров В. // Delphi 7. // СПб.: БХВ-Петербург, 2003. –1216 с.

Bibliography (transliterated)

1. Avramov V.P., Aleksandrov E.E., Kononenko V.A. Ob opredelenii momentov nagruzki na kolenchatom valu dvigatelya vnutrennego sgoraniya pri krivolineynom dvizhenii gusenichnoy mashiny. Dinamika i prochnost mashin, 1979, Vyip. 29. – p. 111–114.
2. Krutov V.I. Dvigatel vnutrennego sgoraniya kak reguliruemyy ob'ekt. – M.: Mashinostroenie, 1978. – 471 p.
3. Krutov N.K. Avtomaticheskoe regulirovanie dvigateley vnutrennego sgoraniya. – M.: Mashinostroenie, 1968. – 550 p.
4. Transmissii voennykh gusenichnykh mashin. Metod rascheta dinamicheskikh protsessov v MTU v perhodnykh rezhimakh raboty, Ost V3–5971-85.
5. Slyusarenko Yu.A., Galushka Yu.V. Uluchshenie plavnosti dvizheniya voennykh gusenichnykh mashin v povorote za schyot sinteza tsifrovogo regulyatora, obespechivayuschego gladkie perehodnyie protsessy v gidrosisteme upravleniya stupenchatyimi bortovyimi korobkami peredach. –Mehanika ta mashinobuduvannya, 2010, #1. – ps. 141–164.
6. Slyusarenko Yu.A. Variatsionnyiy metod resheniya zadachi poiska optimalnykh parametrov zakona upravleniya, v protsesse sinteza systemy avtomatizirovannogo upravleniya povorotom boevoy gusenichnoy mashiny. –Zbirnik naukovih prats Akademiyi vnutrishnih viysk MVS Ukrayini, 2011, #1. – p. 54–62.
7. Homonenko A., Gofman V., Mescheryakov E., Nikiforov V. Delphi 7. SPb.: BHV-Peterburg, 2003. – 1216 p.

УДК 681.527

Слюсаренко Ю.О.

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОБЕРТАННЯ КОЛІНЧАСТОГО ВАЛУ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА  
ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ КРИВОЛІНІЙНОГО РУХУ ВІЙСЬКОВИХ  
ГУСЕНИЧНИХ МАШИН**

Синтезована математична модель обертання колінчастого валу поршневого дизельного двигуна ВГМ, який експлуатується на всіх режимах роботи. Модель представлена у вигляді системи диференціальних і алгебраїчних рівнянь та адаптована для практичних обчислень при математичному моделюванні динамічних процесів руху ВГМ на місцевості.

Sljusarenko J.A.

**MATHEMATICAL MODEL OF ROTATION THE BENT SHAFT DIESEL ENGINE FOR  
MODELLING DYNAMIC PROCESSES OF CURVILINEAR DRIVING THE MILITARY  
CATERPILLAR MACHINE**

The mathematical model of rotation the bent shaft piston diesel engine of the military caterpillar machine maintained on all modes of behavior is synthesized. The model is presented in the form of system differential and algebraic equations and adapted for practical evaluations at mathematical modeling dynamic processes driving of the military caterpillar machine on district.

УДК 623.592

Смоляков В.А., Мушинский Ю.М., Нефёдов А.В., Гулевский Ю.В., Карпов Д.А.

**РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ТРЕНАЖЕРНЫХ КАЧАЮЩИХСЯ ПЛАТФОРМ  
В КП ХКБМ им. А.А. МОРОЗОВА**

Самые первые тренажеры механика-водителя изделия Т-80УД были разработаны, изготовлены в КП ХКБМ и поставлены Инозаказчику в 1997 году. Данные тренажеры были статическими, т.е. не имели подвижного качающегося основания, что является большим недостатком с точки зрения адекватности обучения оператора. Вместе с тем, уже к началу 80-х годов был накоплен успешный мировой опыт по внедрению динамических платформ различных схем для многих тренажеров наземной техники и авиационных тренажеров. Таким образом, и в КП ХКБМ встал вопрос о разработке унифицированной качающейся платформы для тренажеров различных боевых машин.

Основными требованиями, выдвинутыми к платформе были следующие:

- реализация не менее трёх степеней свободы (продольно-угловые колебания, поперечно-угловые колебания, линейные вертикальные колебания);
- наличие уравнивающего механизма;
- грузоподъемность до 1000 кг.

Все эти требования были успешно реализованы в конструкции (рис. 1), разработанной и внедренной в серийное производство в КП ХКБМ.

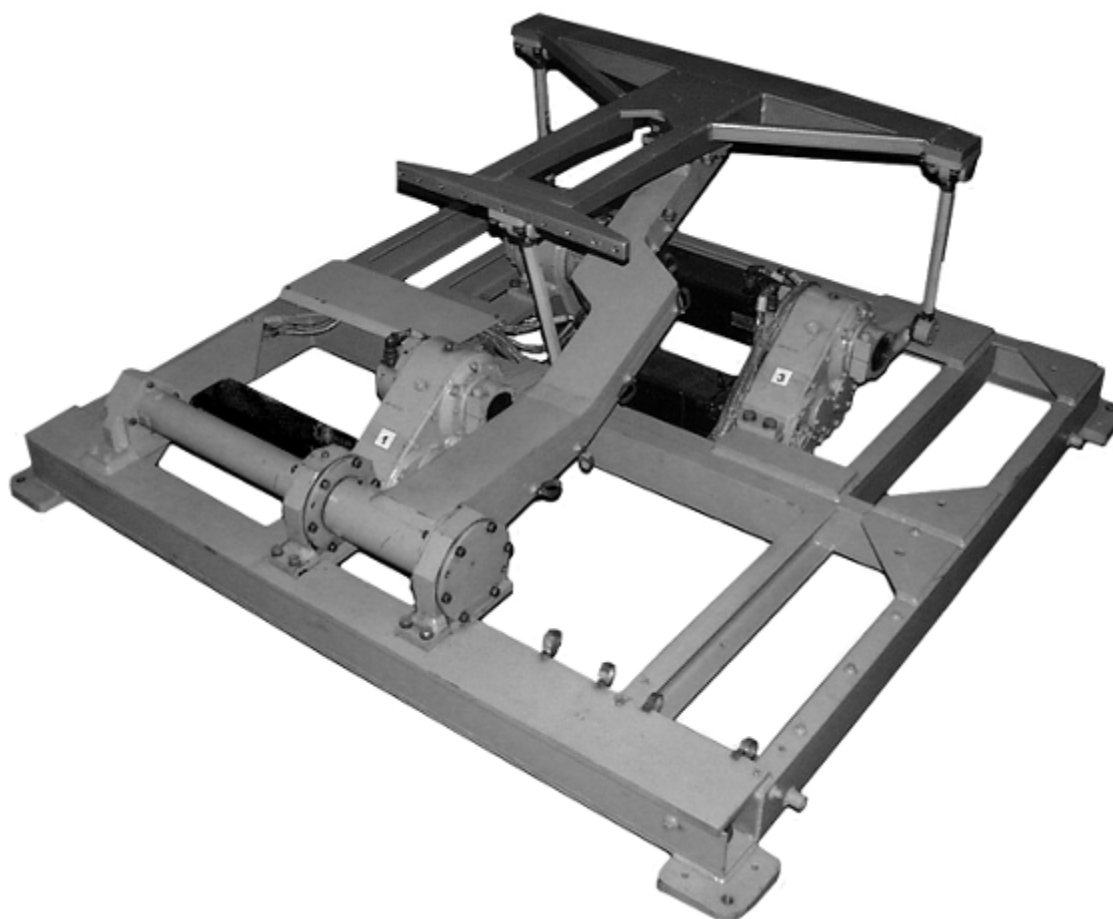


Рисунок 1

Данная платформа является универсальной и применяется как для тренажеров механиков-водителей, так и для тренажеров боевых отделений, имеет цилиндрические прямозубые редукторы с передаточным числом 29,387 и торсионный уравнивающий механизм.

Отдельным серьёзным вопросом являлся выбор привода для качающейся платформы. В первых тренажерных платформах такого типа доминировал гидравлический привод. К середине 90-х годов прошлого столетия мировые производители для этих целей в равной степени применяли электрический привод и гидравлический привод, однако к концу 90-х годов наметилась устойчивая тенденция к вытеснению гидропривода электроприводом. Кроме того, использование гидропривода предполагает наличие дорогостоящей гидроаппаратуры высокого давления и специальной системы охлаждения, что делает его обслуживание в эксплуатации технически сложным и экономически невыгодным. Тренажеры, изготовленные в КП ХКБМ, очень часто эксплуатируются фактически в полевых условиях при высоких температурах, значительной запылённости и отсутствии регулярного сервисного технического обслуживания. Данные факторы делают применение гидропривода неприемлемым.

Учитывая изложенные доводы, выбор был сделан в пользу электрического привода, к которому были выдвинуты следующие требования:

- частота вращения приводного двигателя до 2000 об/мин;
- плавность регулирования частоты вращения во всём диапазоне от нулевой до максимальной;
- перегрузочная способность по моменту не менее 3-х;
- приемлемая стоимость.

Известно, что асинхронный двигатель значительно дешевле синхронного, но по возможности плавного регулирования частоты вращения уступает синхронному двигателю, кроме того, обычно производители систем управления для асинхронных двигателей ограничивают кратность перегрузки по крутящему моменту значениями не более 2–2,5. Для систем управления синхронными двигателями значения перегрузки по моменту составляют 3–4. Кроме того, в силу принципа действия асинхронного электродвигателя крайне сложно обеспечить его устойчивую работу и приемлемый температурный режим без принудительного охлаждения в области нулевых скоростей. Таким образом, в качестве приводного был выбран синхронный вентильный двигатель ДВУ2М165 мощностью 2,7 кВт производства Днепропетровского электроаппаратного завода. Система управления для электропривода была разработана и в дальнейшем изготавливалась в НПО «Политехник». Данная система управления применялась на многих тренажерах в течение 10-ти лет. Электродвигатель ДВУ2М165 имел достаточный запас по мощности и очень хорошо зарекомендовал себя в эксплуатации.

В 2008 году электродвигатель ДВУ2М165 был снят с производства и его пришлось заменить на двигатель 5ДВМ115L мощностью 1,5 кВт производства Чебоксарского электроаппаратного завода. Данный двигатель являлся единственным на то время приемлемым вариантом для замены, но запаса по мощности практически не имел и в эксплуатации оказался ненадёжным. Кроме того, к этому времени разработанная система управления морально устарела и перестала удовлетворять требованиям по качеству регулирования, программной диагностике, шумности и ремонтпригодности. Поэтому встал вопрос о замене всего комплекса – приводных электродвигателей и системы управления.

В настоящее время на рынке присутствует ряд крупных, хорошо зарекомендовавших себя производителей электроприводов – Siemens, Mitsubishi, Fukuta и др. При этом производитель, как правило, предлагает комплексное решение – синхронный двигатель + сервоусилитель + дополнительное оборудование или асинхронный двигатель + частотный преобразователь + дополнительное оборудование, т.е. отпадает необходимость искать отдельного разработчика и производителя для системы управления электроприводом. Кроме того, на сегодняшний день отдельное приобретение электродвигателя и системы управления значительно дороже комплексного решения или хуже по техническим параметрам. При этом к выбираемому варианту были выдвинуты дополнительные требования:

- развёрнутая хорошо документированная система программной диагностики оборудования;
- наличие подробной документации по командам управления;
- обеспечение поставщиком полного цикла разработки (подбор всей номенклатуры основного и вспомогательного оборудования, разработка документации, сборка и первичная наладка системы);
- техническое сопровождение системы управления в процессе её установки и настройки в составе тренажерного комплекса.

Многие поставщики могут обеспечить выполнение первых двух требований, однако региональные представительства соответствующих производителей, как правило, являются исключительно торговыми организациями и их персонал не имеет соответствующей технической квалификации. Тем не менее, был найден поставщик, который обеспечил выполнение третьего и четвертого пунктов требований – КСК «Автоматизация». Данное предприятие является официальным дилером фирмы Mitsubishi на Украине, имеет квалифицированный персонал и обеспечивает полный цикл разработки и сборки соответствующих систем управления. Кроме того, производство необходимого оборудования фирмой Mitsubishi полностью сосредоточено на территории Японии, что является немаловажным фактором и дополнительным подтверждением качества выпускаемой продукции.

КСК “Автоматизация” для проведения испытаний предоставила КП ХКБМ комплект оборудования на основе серводвигателя HF-SP1524В мощностью 1,5 кВт и сервоусилителя MR-J3-А. Данная серия предусматривает обмен данными между персональным компьютером и системой управления по протоколу RS-232, который очень хорошо документирован. Разработанное программное обеспечение обеспечило обмен данными с тактом не более 20 мс. Был изготовлен опытный образец системы управления, который был испытан на динамической платформе тренажера механика-водителя изделия БМП-2. На основе полученных результатов было принято решение о закупке для серийного производства системы управления электроприводом Mitsubishi на основе серводвигателей HF-SP2024В мощностью 2,0 кВт и сервоусилителей MR-J3-А. Данная система управления в настоящее время применяется для серийно выпускаемых в КП ХКБМ тренажеров экипажа изделия БТР-4.

КП ХКБМ не ограничилось одним вариантом кинематической схемы динамической платформы. Параллельно была разработана документация на облегченную платформу, которая может применяться в мобильных тренажерных центрах. В настоящее время проводятся исследования в области разработки платформы с шестью степенями свободы, для которой соответственно необходимы шесть электроприводов. Выше уже упоминалось о том, что асинхронный привод в целом дешевле синхронного, кроме того, к настоящему времени производители электрооборудования достигли определенных успехов в вопросах обеспечения нулевых и околонулевых частот вращения в асинхронных двигателях и поддержания приемлемого теплового режима при этих скоростях. Поэтому, не исключена возможность применения в будущем для динамических платформ асинхронного привода наряду с синхронным, особенно для платформ с шестью степенями свободы. При этом возникнет необходимость повышения скорости обмена данными между персональным компьютером и системой управления, т.к. увеличится число каналов. Для решения этой проблемы существуют более высокоскоростные протоколы обмена. Например, фирма Mitsubishi выпускает сервоусилители серии В с интерфейсом SSCNET III, скорость обмена у которого как минимум на порядок выше, чем для интерфейса RS-232, но и стоит данное решение дороже.

Таким образом, в КП ХКБМ им. А.А. Морозова успешно проводятся исследования и внедряются перспективные конструкторские решения как в части разработки новых кинематических схем платформ, так и в части выбора оптимальных вариантов системы управления электроприводом динамической платформы.

УДК 623.592

Смоляков В.А., Мушинский Ю.М., Нефьодов А.В., Гулевский Ю.В., Карпов Д.А.

#### **РОЗРОБКА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ТРЕНАЖЕРНИХ КОЛИВАЛЬНИХ ПЛАТФОРМ В КП ХКБМ ім. О.О. МОРОЗОВА**

В статті розглянуті особливості розробки та впровадження конструкції уніфікованої тренажерної коливальної платформи в КП ХКБМ, а також особливості вибору та впровадження системи керування електричними приводами платформи.

Smolyakov V.A., Mushshinskiy Yu.M., Nefyodov A.V., Gulevskiy Yu.V., Karpov D.A.

#### **DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF SIMULATOR MOTION SYSTEMS IN SOE KMDB**

In this paper, some features of development structure and its implementation in the unified motion system designed at SOE KMDB as well as distinctive features for selection and implementation of control system by motion electric drives have been considered.



**МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**Вступление.** Композиционные материалы (КМ) находят все более широкое применение в различных областях техники. Существует большое многообразие видов и типов КМ универсального и специального применения. К первым относят классические КМ армированные длинными волокнами или жгутами, ко вторым – КМ с металлической матрицей и керамическим связующим. В практике механической обработки КМ отличаются твердостью и имеют высокие абразивные свойства. Эти, и некоторые другие качества [1], приводят к наличию серьезных трудностей при обработке, которые в основном сводятся к сильному изнашиванию режущего инструмента и низкой точности обработки. Эти обстоятельства приводят к существенным энергетическим затратам на полную обработку детали и, как следствие, к высокой стоимости обработки. Кроме того, присутствие мелкодисперсной стружки при обработке, требует организации мер по экологической безопасности и утилизации продуктов разрушения. Все это приводит к удорожанию технологических операций и использованию дополнительной энергии на обработку.

**Состояние проблемы и формулировка задачи.** Присутствие в КМ материалов с резко отличающимися механическими свойствами при обработке, например, резанием приводит к нарушению фактической целостности обрабатываемой поверхности. Имеет место появление шероховатости, которую трудно контролировать, остаточных напряжений и повреждений материала на некоторой глубине, вызванных ростом трещин различной длины и ориентации. В связи с этим в последнее десятилетие проблемы, связанные с точностью и эффективностью резания КМ обрели особую актуальность также с точки зрения себестоимости обработки, которая связана с износом инструмента, выбором параметров обработки и осуществлением контроля качества обработанной поверхности.

Обсуждению теоретических вопросов и инженерных проблем посвящены работы [2,3], где исследованы процессы обработки резанием КМ армированных длинными волокнами. Главный вывод, который был сделан авторами, состоит в том, что степень разрушения обработанной поверхности и обрабатываемость КМ определяется в основном ориентацией волокон по отношению к направлению резания. Также в работе [4] были рассмотрены вопросы влияния геометрии режущего инструмента и ориентации волокон. Достаточно большие усилия исследователей были уделены прогнозированию величины силы резания [5,6], где был использован энергетический подход для ортогонального резания. Кроме сугубо аналитических и экспериментальных методов активно применялись численные методы, такие как метод конечных элементов (МКЭ) [7,8]. Были проведены расчеты по усредненной модели и рассмотрено резание отдельных волокон как разрушение волокна при взаимодействии с инструментом.

**Постановка задачи и цель работы.** Как было обобщено в [9] все методы изучения механической обработки КМ в целом можно разделить на три категории: экспериментальные, в основном изучающие макро- и микрообрабатываемость композитов; методы, основанные на принципах механики резания и направленные на создание простых инженерных моделей и численные методы моделирования, которые рассматривают модели резания КМ как анизотропные макроматериалы или исследуют контактное взаимодействие матрицы и инструмента. Фактически, методы, работающие на макроуровне, в большинстве случаев игнорируют основные характеристики композитов. Методы микроуровня не дают возможности интегрировать какие-либо инженерные и практические формулы. Поэтому по-прежнему остается актуальным вопрос объединения и совместного использования имеющихся достижений на макро- и микроуровне и создания простых инженерных решений для промышленного применения. Главной целью настоящей работы является попытка обобщения некоторых моделей резания композитов для предсказания сил резания и изнашивания вершины режущего инструмента.

**Теоретические положения.** Наиболее важной и наименее предсказуемой величиной является сила резания, которая определяет не только качество обработанной поверхности и величину изнашивания режущего инструмента, но и общие прямые затраты энергии на обработку и косвенные затраты, связанные с последующей обработкой или доводкой поверхности детали. В литературе имеется множество публикаций посвященных экспериментальному изучению сил резания [1,4,9,10]. Эти исследования еще раз показали, что главную роль при обработке композитов играет ориентация направления движения инструмента и армирующих волокон. Их взаимно перпендикулярное положение является предельным, за которым при обработке резко ухудшается качество обработки, и возникают тяжелые повреждения поверхности. При резании композитов армированных длинными волокнами или жгутами (рис. 1) принято различать три зоны деформации. Зона разрушения перед передней поверхностью режущего клина инст-

румента, превращающаяся в стружку, происходит в двух взаимно перпендикулярных направлениях – поперек волокон и вдоль них. Непосредственно впереди острия вершины инструмента происходит контактное разрушение материала. Эту зону обычно называют зоной сжатия. Третья зона, определяется упругим отжатием инструмента, и она располагается под задней поверхностью режущего инструмента.

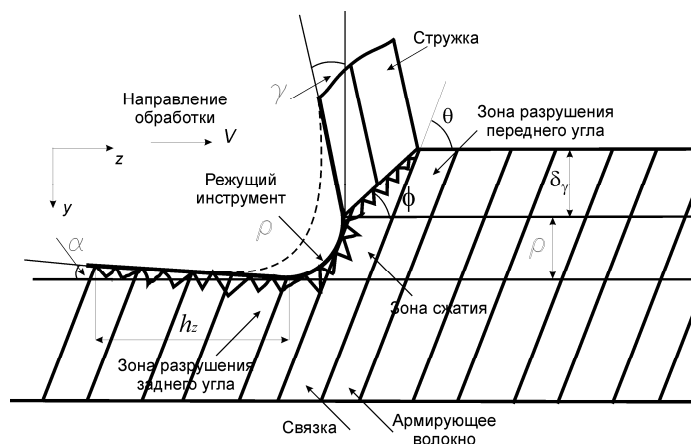


Рисунок 1 – К определению силы резания и зон разрушения

Наибольший интерес представляет определение силы, действующей по задней поверхности инструмента. Эта сила ответственна за интенсивность и величину износа инструмента и, как следствие, за качество обработанной поверхности. При резании композитов в качестве критерия износостойкости принимают технологический критерий – величину износа по задней поверхности [11]. Для вычисления силы, действующей по задней поверхности, воспользуемся аналитическим выражением для составляющих силы резания, полученным в [12]. Составляющие силы резания вдоль оси z и y вычисляются как сумма сил, возникающих в каждой из трех зон разрушения, как описано выше

$$\begin{aligned} F_y &= F_{ych} + F_{yst} + F_{yback}; \\ F_z &= F_{zch} + F_{zst} + F_{zback}, \end{aligned} \quad (1)$$

где

$$\begin{aligned} F_{ych} &= \tau_1 \cdot h \cdot \delta_\gamma \frac{\sin \phi \cdot \tan(\phi + \beta - \gamma) + \cos \phi}{(\tau_1 / \tau_2) \cos(\theta - \phi) \sin \theta - \sin(\theta - \phi) \cos \theta}, \\ F_{zch} &= \tau_1 \cdot h \cdot \delta_\gamma \frac{\cos \phi \cdot \tan(\phi + \beta - \gamma) - \sin \phi}{(\tau_1 / \tau_2) \cos(\theta - \phi) \sin \theta - \sin(\theta - \phi) \cos \theta}, \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} F_{yst} &= K \cdot P \cdot (\cos \theta - \mu \cdot \sin \theta), \\ F_{zst} &= K \cdot P \cdot (\sin \theta - \mu \cdot \cos \theta), \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} F_{yback} &= 0,5 \cdot \rho \cdot E_z \cdot h \cdot (1 - \mu \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha), \\ F_{zback} &= 0,5 \cdot \rho \cdot E_z \cdot h \cdot \cos^2 \alpha. \end{aligned} \quad (4)$$

Значения входящих в выражения (2)–(4) величин следующие:  $\tau_1, \tau_2$  – значение сил среза в направлениях, МПа;  $h$  – ширина среза, м;  $\delta_\gamma$  – величина зоны разрушения переднего угла, м;  $\gamma$  – передний угол;  $\phi = \arctan[\cos \gamma / (1 - \sin \gamma)]$ ;  $\alpha$  – задний угол;  $\beta$  – угол трения для передней поверхности вершины инструмента;  $\theta$  – угол ориентации волокон или жгутов в КМ;  $K$  – коэффициент, зависящий от ориентации волокон в КМ, определяемый экспериментально;  $\mu$  – коэффициент трения;  $\rho$  – радиус закругления

вершины режущего инструмента, м;  $E_z$  – модуль упругости материала в зоне разрушения заднего угла, Па.

С другой стороны известное соотношение из работы [1] для составляющих силы резания имеет вид:

$$\begin{aligned} F_y &= N_\gamma \cdot \cos \gamma + F_\gamma \cdot \sin \gamma + F_\alpha; \\ F_z &= F_\gamma \cdot \cos \gamma - N_\gamma \cdot \sin \gamma + N_\alpha, \end{aligned} \quad (5)$$

где  $N_\gamma$ ,  $N_\alpha$  – нормальные силы на передней и задней поверхности, Па;  $F_\gamma$ ,  $F_\alpha$  – силы трения передней и задней поверхности, Па. Значения этих сил определяются в [1] через нормальные и касательные напряжения с учетом ширины среза и длины контакта по передней поверхности.

Заметим, что в выражениях (1)–(4) фигурирует угол ориентации волокон армирующего материала композита, но отсутствует длина контакта по передней и задней поверхности. С другой стороны в (5) отсутствует какое-либо участие угла ориентации волокон при вычислении составляющих силы резания.

**Результаты и обсуждения.** Рассмотрим решение по каждой из методик и их согласование с экспериментальными данными, приведенными в [12] для композитов с различной ориентацией волокон. В качестве исходных данных примем:  $\tau_1=90$  МПа;  $\tau_2=20$  МПа;  $\beta=30^\circ$ ;  $E_z=10$  ГПа;  $\mu=0,026$ ;  $K=\arctan(30/\theta)/2$ ;  $h=4$  мм;  $\alpha=20^\circ$ ;  $\gamma=5^\circ$ ,  $\theta=10-80^\circ$ .

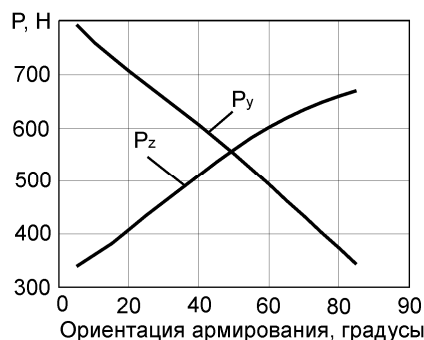


Рисунок 2 – Расчетные значения сил резания

Расчет составляющих сил резания представлен на рис. 2. В выражении (4) угол ориентации армирующих волокон не входит и силы, возникающие на задней плоскости, которые зависят от значения заднего угла  $\alpha$ . Кроме того, по данным [1] значение силы по задней поверхности находится в пределах от 3 до 50 % от силы  $P_z$ , что не согласуется с данными на рис. 2. Количественные значения составляющих силы резания существенным образом зависят от ширины среза и свойств обрабатываемого материала, и провести какое-либо сравнение не представляется возможным. Однако по данным [1], например, для стеклопластиков, расчетные и экспериментальные значения этих сил практически на порядок меньше.

**Заключение.** Расчет составляющих силы резания при обработке армированных композитов является важным фактором для оценки качества обработанной поверхности и оценки стойкости режущего инструмента. Предложенные в работе [12] соотношения отражают качественное распределение сил для различных углов ориентации армирования. С увеличением угла армирования величина силы среза  $P_z$  возрастает,  $P_H$  уменьшается. Однако количественные значения этих сил не согласуются с имеющимися в литературе данными. Поэтому использование приведенных формул, для расчета силы трения при изнашивании вершины инструмента является не совсем корректным.

#### Литература

1. Степанов А.А. Обработка резанием высокопрочных композиционных полимерных материалов.– Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1987.– 176 с.
2. Machining of fibre reinforced plastics/ König, W., Wulf, Ch., Gra P., Willerscheid, H. // Annals of the CIRP, 1985. –34.– P. 537–548.
3. Wang, X.M., Zhang, L.C. Machining damage in unidirectional fibre-reinforced plastics. / In: Wang J., Scott W., Zhang, L.C. Abrasive Technology—Current Development and Applications. World Scientific, 1999, Singapore, pp. 429–436.

4. Wang D.H., Ramulu, M., Arola, D. Orthogonal cutting mechanisms of graphite/epoxy composite // Part I: unidirectional laminate. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 1995. –35. – P. 1623–1638.
5. Kishawy, H.A., Kannan, S., Balazinski, M. An energy based analytical force model for orthogonal cutting of metal matrix composites // *Annals of the CIRP*, 2004. –53. – P. 91–94.
6. Pramanik A., Zhang L.C., Arsecularatne J.A. Prediction of cutting forces in machining of metal matrix composites // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2006.–46.– P. 1795–1803.
7. Arola D., Ramulu M. Orthogonal cutting of fiber-reinforced composites: a finite element analysis // *International Journal of Mechanical Science*, 1997. – 39.– P. 597–613.
8. Mahdi, M., Zhang, L.C. A finite element model for the orthogonal cutting of fibre-reinforced composite materials // *Journal of Materials Processing Technology*, 2001. – 113.– P. 373–376.
9. Assessment of the exit defects in carbon fibre-reinforced plastic plates caused by drilling /Zhang H.J., Chen W.Y., Chen D.C., Zhang L.C. // *Key Engineering Materials*, 2001.– 196.– P. 43–52.
10. Zhang L.C., Zhang H.J., Wang X.M. A new mechanics model for predicting the forces of cutting unidirectional fibre-reinforced composite // *Machining Science and Technology*, 2001. – 5.– P. 293–305.
11. Хавин Г.Л. Моделирование абразивного износа инструмента при точении армированных композиционных материалов // *Вісник НТУ “ХПІ”*. Зб. наук. праць. Тематичний вип.: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ “ХПІ”.– 2008.– №22.– С. 66–76.
12. Zhang L.C. Cutting composites: A discussion on mechanics modeling // *Journal of Materials Processing Technology*, 2009.–209. – P. 4548–4552.

Bibliography (transliterated)

1. Stepanov A.A. Obrabotka rezaniem vyisokoprochnykh kompozitsionnykh polimernykh materialov.– L.: Mashinostroenie, Leningr. otd-nie, 1987.– 176 p.
2. Machining of fibre reinforced plastics König, W., Wulf, Ch., Gra P., Willerscheid, H. *Annals of the CIRP*, 1985. –34.– P. 537–548.
3. Wang, X.M., Zhang, L.C. Machining damage in unidirectional fibre-reinforced plastics. In: Wang J., Scott W., Zhang, L.C. *Abrasive Technology—Current Development and Applications*. World Scientific, 1999, Singapore, pp. 429–436.
4. Wang D.H., Ramulu, M., Arola, D. Orthogonal cutting mechanisms of graphite/epoxy composite Part I: unidirectional laminate. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 1995. –35. – P. 1623–1638.
5. Kishawy, H.A., Kannan, S., Balazinski, M. An energy based analytical force model for orthogonal cutting of metal matrix composites *Annals of the CIRP*, 2004. –53. – P. 91–94.
6. Pramanik A., Zhang L.C., Arsecularatne J.A. Prediction of cutting forces in machining of metal matrix composites *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2006.–46.– P. 1795–1803.
7. Arola D., Ramulu M. Orthogonal cutting of fiber-reinforced composites: a finite element analysis *International Journal of Mechanical Science*, 1997. – 39.– P. 597–613.
8. Mahdi, M., Zhang, L.C. A finite element model for the orthogonal cutting of fibre-reinforced composite materials *Journal of Materials Processing Technology*, 2001. – 113.– P. 373–376.
9. Assessment of the exit defects in carbon fibre-reinforced plastic plates caused by drilling Zhang H.J., Chen W.Y., Chen D.C., Zhang L.C. *Key Engineering Materials*, 2001.– 196.– P. 43–52.
10. Zhang L.C., Zhang H.J., Wang X.M. A new mechanics model for predicting the forces of cutting unidirectional fibre-reinforced composite *Machining Science and Technology*, 2001. – 5.– P. 293–305.
11. Havin G.L. Modelirovanie abrazivnogo iznosa instrumenta pri tochenii armirovannykh kompozitsionnykh materialov *Visnik NTU “HPI”*. Zb. nauk. prats. Tematichnyi vip.: Tehnologiyi v mashinobuduvanni. – Harkiv: NTU “HPI”.– 2008.– #22.– p. 66–76.
12. Zhang L.C. Cutting composites: A discussion on mechanics modeling *Journal of Materials Processing Technology*, 2009.–209. – P. 4548–4552.

Работа выполнена по проекту M2132, который финансируется Министерством образования и науки, молодежи и спорта Украины

УДК 621.91

Хавін Г.Л.

**МОДЕЛЮВАННЯ МЕХАНІЗМУ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Розглянуто питання визначення складових сили різання при точінні композиційних матеріалів, армованих волокнами або джгутами. Досліджується можливість використання співвідношення для підрахунку сил різання по задній поверхні, що враховують кут орієнтації волокон. Зроблено висновок про те, що запропоноване співвідношення не зовсім точно кількісне співпадає з експериментальними даними і їх використання для прогнозування зношування інструменту проблематичне.

Khavin G.

**MODELLING OF FIBRE REINFORCED MATERIALS CUTTING MECHANISM**

The problem of defined of the cutting force components for reinforce composite materials turning is considered. The possibility to use correlation for cutting force of back surface with take account of orientation angle is researched. The resume about correct correlations and theirs coincides with experimental data and using for wearing tool is problematical.

**МЕТОД РЕНТГЕНОВСКОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИЧЕСКОЙ ПЛОТНОМЕТРИИ  
ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ БОЕПРИПАСОВ**

Рентгеновская компьютерная томография (РКТ), получившая впервые свою аппаратную реализацию к началу 1970-х годов и, задуманная как один из методов медицинской диагностики, уже к началу 1980-х годов начала использоваться в промышленности [1]. Одним из первых ее приложений в военном деле стала дефектоскопия твердотопливных ракетных двигателей [2, 3]. С появлением высокоточного управляемого (корректируемого) артиллерийского оружия РКТ и цифровая рентгеноскопия начали использоваться для контроля артиллерийских боеприпасов [4] на этапах их производства и эксплуатации.

Ввиду того, что при долговременном хранении средств поражения в их материалах протекают трансформации, связанные с изменением плотностных характеристик, то использование РКТ, обеспечивающую проведение бесконтактного и неразрушающего зондирования, является наиболее рациональным способом оценки плотности взрывчатых веществ (бризантных и метательных) на различных сроках эксплуатации.

Целью работы является описание возможностей и способов использования метода рентгеновской компьютерной томографической плотнометрии (РКТП) в качестве инструмента экспресс контроля состояния артиллерийских выстрелов.

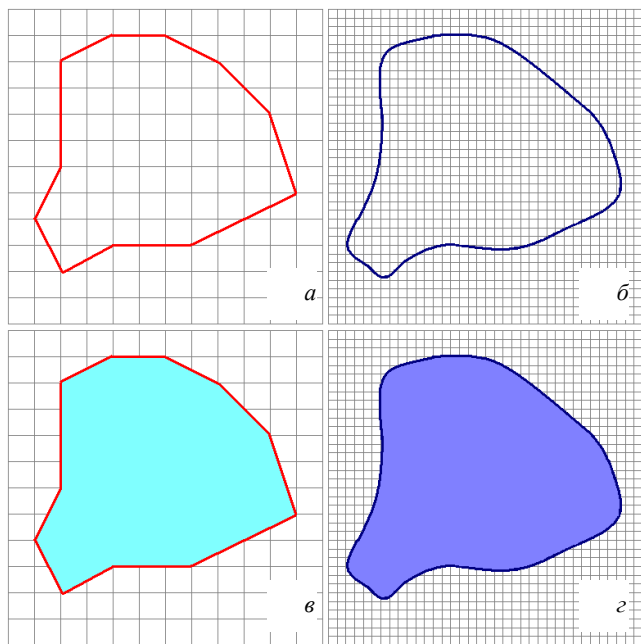


Рисунок 1 – Две задачи РКТП на плоскости

Основной метода РКТП является проведение постобработки томографических проекций исследуемого объекта (элементов боеприпаса) с целью выявления функциональных зависимостей в распределении плотности. РКТП дает возможность решать задачи оценок плотности объекта (элементов боеприпаса), как на плоскости, так и в пространстве.

Основными задачами на плоскости являются:

- получение плоскостной геометрической фигуры, на краях которой плотность равна заданному значению;
- определение статистических характеристик, например, средней плотности вещества находящегося внутри контура найденной плоской фигуры.

Графическая интерпретация первых двух задач приведена на рисунке 1. Допустим для каждого из узлов квадратной сетки известно значение плотности. Тогда если задаться определенным значением плотности  $\rho$  и найти все точки с этим значением на сетке и соединить их линиями, получим контурную геометрическую фигуру (рис. 1 а). Внутри нее плотность увеличивается или уменьшается по некоторому закону, но не равна заданному на ее контуре значению. Если произвести интерполяцию на более частую сетку получим сглаживание границ (рис. 1 б). Определение средней плотности на всех узлах сетки внутри полученного контура (рис. 1 а) совершим на основе выражения:

$$\bar{\rho} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \rho_j = \frac{1}{n} (\rho_1 + \dots + \rho_n) \Big|_{contour},$$

где  $\bar{\rho}$  – вычисленное среднее значение плотности;  $n$  – общее количество узлов сетки внутри контура;  $j$  – номер узла сетки в диапазоне от 1 до  $n$ ; *contour* – обозначение суммирования элементов, находящихся внутри контура.

Серый цвет, которым закрашена фигура рисунка 1 *в* характеризует величину полученного среднего значения. Если ту же операцию произвести со значениями, приведенными на рисунке 1 *б*, то ввиду большего их числа (большого количества узлов) и иного контура, получим отличное от рисунка 1 *в* значение средней плотности  $\bar{\rho}$ , что и иллюстрируется другим оттенком.

К задачам РКТП в пространстве следует отнести:

- идентификацию в пространстве поверхности, плотность в каждой точке, которой постоянна и равна заданной величине;
- определение статистических характеристик величины усредненной плотности внутри объема ограниченного полученной поверхностью.

Далее рассмотрим последовательность действий при РКТП исследованиях плотностных аномалий применительно к взрывчатым веществам артиллерийских выстрелов.

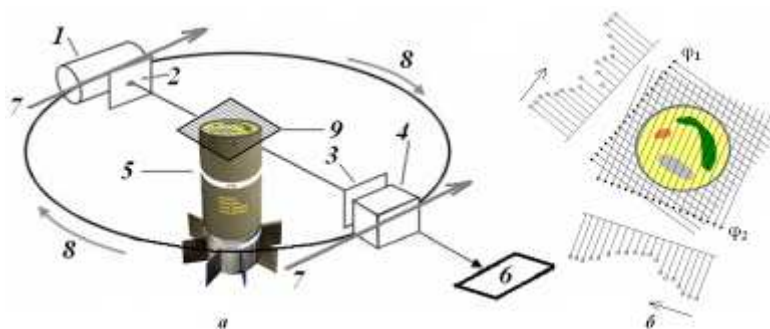


Рисунок 2 – Принцип рентгено-томографического сканирования боеприпаса

Рентгено-томографическое изображение боеприпаса создается при его сканировании рентгеновским томографом. В качестве примера рассмотрим томографическую систему второго поколения (рис. 2 *а*) состоящую из: источника ионизирующего излучения (1) формирующего коллиматора (2), системы детектирования тонкого луча (приемный коллиматор и датчик ионизирующего излучения – 3, 4), вертикально находящегося боеприпаса (5), блока регистрации проекций (6).

Для получения аксиальной проекции боеприпаса под углом  $\varphi_1$  (рис. 1 *б*) блоки (1–4) равномерно, синхронно, прямолинейно (7) перемещаются относительно боеприпаса (5), который из соображений безопасности неподвижен. На рисунке (рис. 2 *б*) факт перемещения в направлении слева направо показан стрелкой, а проекция по углу  $\varphi_1$  есть в данном случае совокупность 19-ти значений интенсивности излучения, которые замерены с некоторой дискретностью, определяемой шагом перемещения блоков (1–4). Для получения проекции под углом  $\varphi_2$  блоки (1–4) первоначально совершают оборот на заданный угол (8), а после совершают прямолинейное равномерное движение относительно боеприпаса (5) в направлении слева направо (рис. 2 *б*).

Результатом сканирования является совокупность аксиальных томографических проекций. Каждая, из которых характеризуется углом  $\varphi$  и состоит из  $n$  дискретных отсчетов. Если дискретность сканирования по углу  $\varphi$  составляет  $1^\circ$ , а каждая проекция состоит из 19 отсчетов как показано на рисунке 2, то за полный оборот  $360^\circ$  для слоя  $k$  имеет место 359 проекций ( $1^\circ, 2^\circ, 3^\circ, \dots, 359^\circ$ ) и будет зарегистрировано  $19 \times 359 = 6821$  значений интенсивности зондирующего сигнала. Эти данные, поступая на вход блока реконструкции, являются входной информацией для реконструктивных алгоритмов, задача которых восстановить структуру аксиального среза.

На вход блока реконструкции подается информация о всех зафиксированных проекциях (в нашем случае 359) и о 6821-м значении интенсивности зондирующего сигнала. Параметрами реконструирующего алгоритма являются характеристики геометрии сканирования и пространственно-энергетические данные блока детекторов и рентгеновской трубки. В результате реконструкции аксиального среза (рис. 3. *а*) получим квадратную матрицу (для нашего случая  $19 \times 19 = 361$  элемент или узлов сетки) (рис. 3 *б*). Ее элементами (узлами сетки) являются пиксели содержащие данные о линейном коэффициенте ослабления, выраженном в единицах денситометрического показателя, так называемых единицах Хаунсфилда (Hounsfield unit, HU). Как правило, изображение томографического среза является монохромным (серым), что определяется принятой системой кодирования денситометрического показателя, в которой каждому оттенку базового цвета (серого) соответствует некоторое его значение. Если серый цвет кодируется 1024 градациями, то такое же их количество имеет и денситометрический показатель. Каждому значению пикселя (2) в матрице (1) соответствует один разрешающий объем томографа (3), который опре-

деляется дискретностью аксиальной томографической проекции и толщиной среза. Если эти значения равны 0,5 мм и 1 мм, то величина разрешающего объема равна  $0,5 \times 0,5 \times 1 = 0,01 \text{ мм}^3$ .

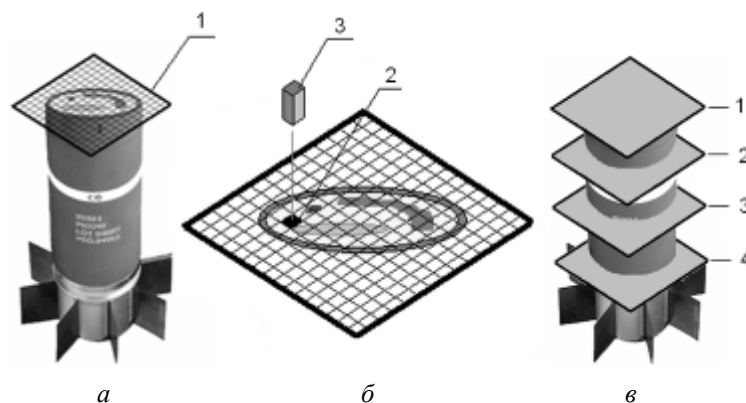


Рисунок 3 – Элементы томографического сканирования:

*a* – томографический срез №1; *б* – матрица оценок плотности; *в* – томографические срезы № 1–4:  
1 – совмещение матрицы с местом «физического» среза; 2 – пиксель изображения; 3 – разрешающий объем

Для получения аналогичной совокупности проекций, но для другого среза, система источник и детектор должны переместиться относительно боеприпаса на расстояние  $\Delta L$  вдоль его продольной оси. На рисунке 3 эти перемещения показаны в виде срезов 1–4, относительно уже обработанного верхнего среза 1. Если боеприпас имеет длину 500 мм, а установленная оператором дискретность томографических срезов равняется 1 мм, с дискретностью регистрации проекций  $1^\circ$ , то для получения информации о 500 слоях ( $k=500$ ) необходимо совершить 500 сдвигов и получить  $500 \times 359 = 179.500$  проекций. Если каждая из них состоит из 19 отсчетов, то общее количество равно  $179.500 \times 19 = 3.410.500$  шт. Таким образом, при наличии 500 томографических срезов алгоритм реконструкции будет проводить восстановление 500 раз, используя каждый раз 359 новых проекций.

В случае необходимости получения трехмерного изображения используются алгоритм рендеринга, который реализуется на основе уже полученных томографических срезов. В нашем случае этот алгоритм потребует 500 восстановленных томографических срезов, полученных на предыдущих 500 шагах, т.е. такого же количества реализаций алгоритма реконструкции сечений.

Так как в рассмотренном примере каждое сечение имело 19 отсчетов, а современные сканеры фиксируют 512 и 1024 элемента и обрабатывают матрицы размером  $512 \times 512$ ,  $1024 \times 1024$ , то напряженность поступления измерительной информации и объем вычислений значительно возрастают. Для матрицы с шириной в 1024 элементов, 356 проекций и 500 срезах количество измерений равно 182.272.000. Если время сканирования боеприпаса приравнять равным 5-ти минутам, то скорость измерений должна равняться 607.353 измерениям в секунду.

Лучевая нагрузки на взрывчатое вещество боеприпаса полученная им от РКТ сканера не наносит ему негативного эффекта, поэтому боеприпасы могут многократно подвергаться такого рода «просвечиваниям». Выходной информацией прибора является послойные аксиальные срезы и трехмерный образ исследуемого объекта, которые дополняют друг друга.

Современная аппаратура медицинских рентгено-томографических исследований позволяет анализировать внутреннюю структуру предмета с диаметром 1–500 мм при разрешающей способности 0,1–0,5 мм. Характеристики томографических сканеров позволяют получать удовлетворительные характеристики реконструированных изображений объектов в полимерных оболочках и оболочках из металла толщиной до 0,2 мм.

На рис. 4 представлены последовательности действий при определении усредненной плотности в томографическом срезе и по совокупности срезов. На фрагменте *a* (рис. 4) изображен аксиальный срез пучка, состоящего из 7-ми вертикально расположенных цилиндрических семиканальных пороховых элементов без внешней оболочки. «Виртуальное» разделение элементов пучка на 7-мь сечений равного уровня, но 7-ми разных пороховых элементов представлено на фрагменте *б* в виде частей 1–7. Усредненная плотность по сечению будет найдена после усреднений плотностей в каждом из 1–7 частях. Последовательность получения усредненной плотности по совокупности срезов представлено на рисунке 4 *в*. В этом случае усреднение ведется по срезам 1–4.

Последовательность выявления плотностных аномалий показана на рисунке 5. Для этого были взяты три образца трубчатого пороха 16/1 ТР, их фотографии представлены на фрагментах *a–в*.



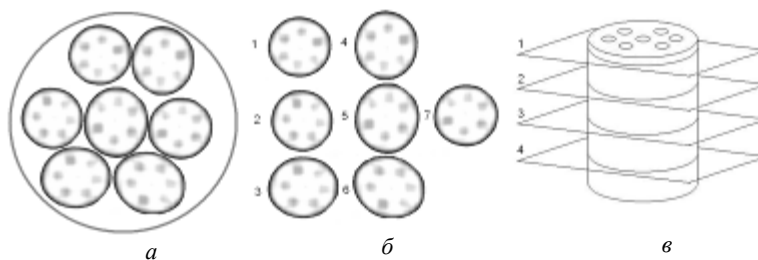
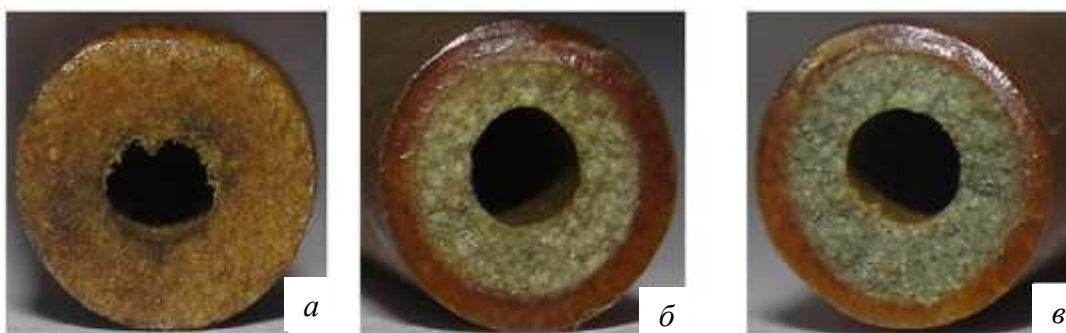
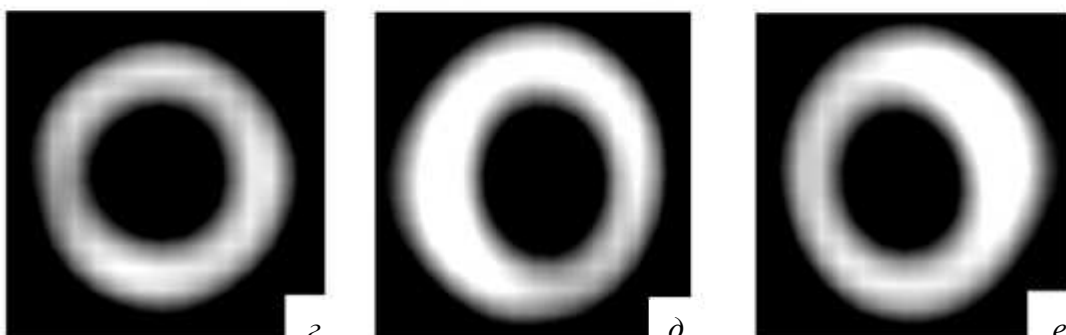


Рисунок 4 – Определение плотности в сечении и по объему порохового элемента

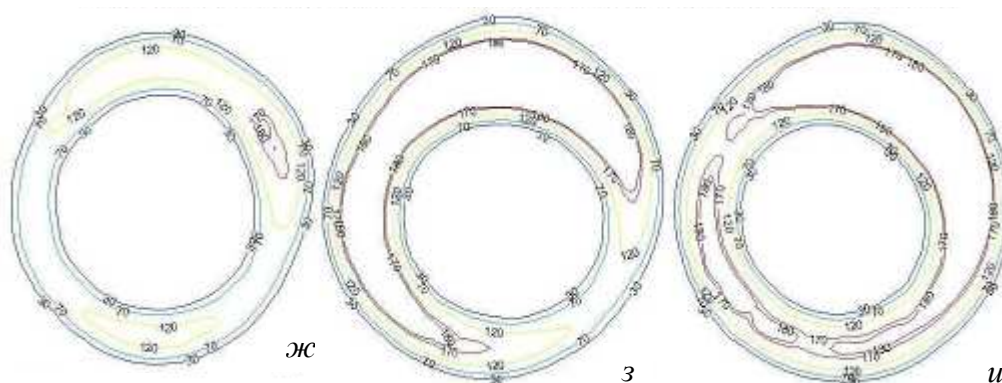
Фотографии трех срезов различных трубок пороха 16/1 ТР



Томограммы (сечения) трех разных трубок пороха 16/1 ТР



Реконструкция геометрических и плотностных характеристик



© В.Л. Хайков

Рисунок 5 – Рентгено-томографическое исследование плотностных аномалий трубчатого пороха 16/1 ТР

Результаты проведения РКТ сканирования трех трубок представлены на фрагментах з–е. Трубки пороха были расположены на гентри РКТ сканера двумя вариантами: друг за другом; одна около другой. Сравнение отсканированных изображений показало отсутствие взаимного негативного влияния пороховых элементов друг на друга. Результаты обработки томограмм с выявлением областей равной плотности

представлено на фрагментах *ж*–*и*. Чем больше толщина горящего свода, тем выше плотность в центре пороховой массы. Нарастание плотности в толщу порохового элемента имеет примерно одинаковую тенденцию для разных трубок. При равной толщине горящего свода фиксируются аномалии плотности на одинаковой глубине относительно внешней поверхности порохового элемента. Например, если направление  $0^\circ$  совпадает с вертикалью к фотографиям, то тогда для фрагмента *ж* имеет место область уплотнения по азимуту  $50^\circ$ , которая не фиксируется более ни в по каким направлениям. На фрагменте *ж* аномалии имеют место по азимуту  $90^\circ$  и в диапазоне  $180^\circ$ – $190^\circ$ , на фрагменте *и* фиксируются две аномальных области по азимуту  $190^\circ$ – $200^\circ$  и  $290^\circ$ – $310^\circ$ .

На рисунке 6 показана последовательность постобработки томографических срезов. На фрагментах *а*–*в* представлены первичные гистограммы значений денситометрического параметра полученные в результате РКТ сканирования. Данные хранятся в трех матрицах размером  $17 \times 17$  элементов. Их линейная двумерная интерполяция представлена на фрагментах *г*–*е*. В результате такого преобразования получаем поверхности, которые характеризуют изменение плотности в томографическом сечении. Результат пересчета значений плотности из матрицы размером  $17 \times 17$  в матрицу  $161 \times 161$  элемент с заменой линейной интерполяции промежуточных данных кубической, показан на фрагментах *ж*–*и*. Поверхность ПЭ по сравнению с линейной интерполяцией стала более плавной, введена цветовая шкала плотности. Далее к каждой из кратероподобной поверхности был применен алгоритм построения линий равного уровня, в результате чего были получены фрагменты *ж*–*и* рисунка 6.

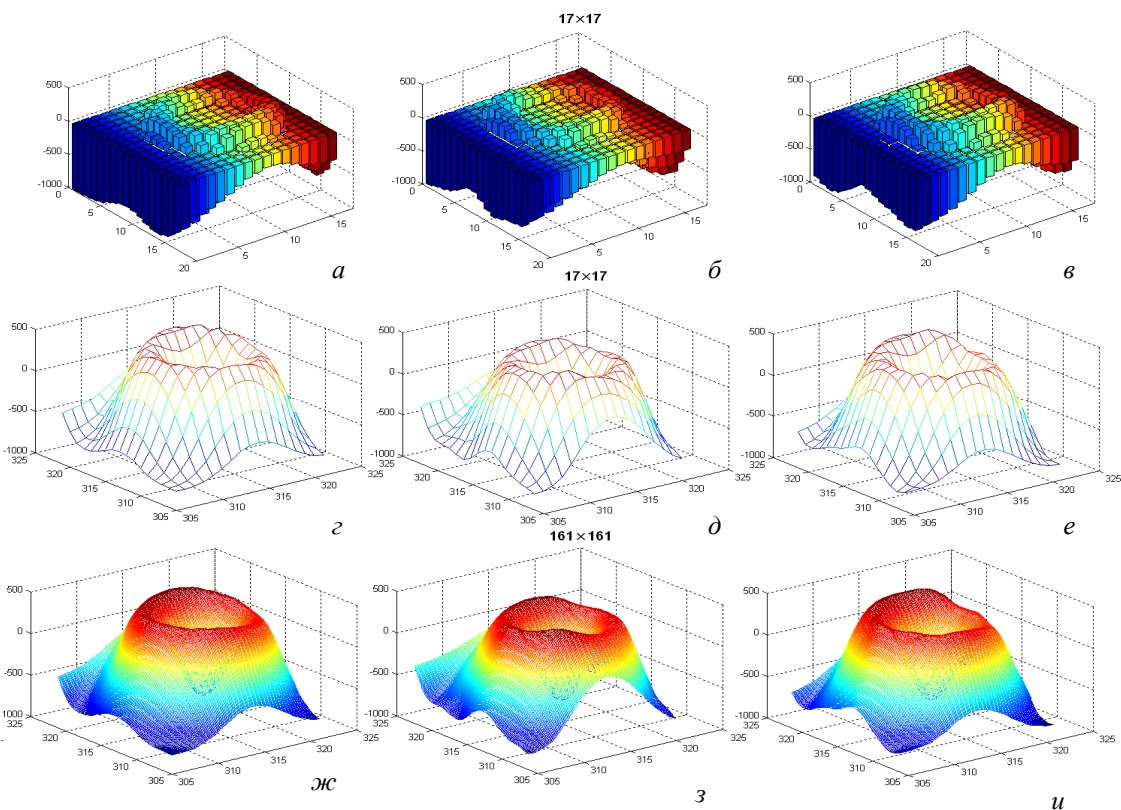


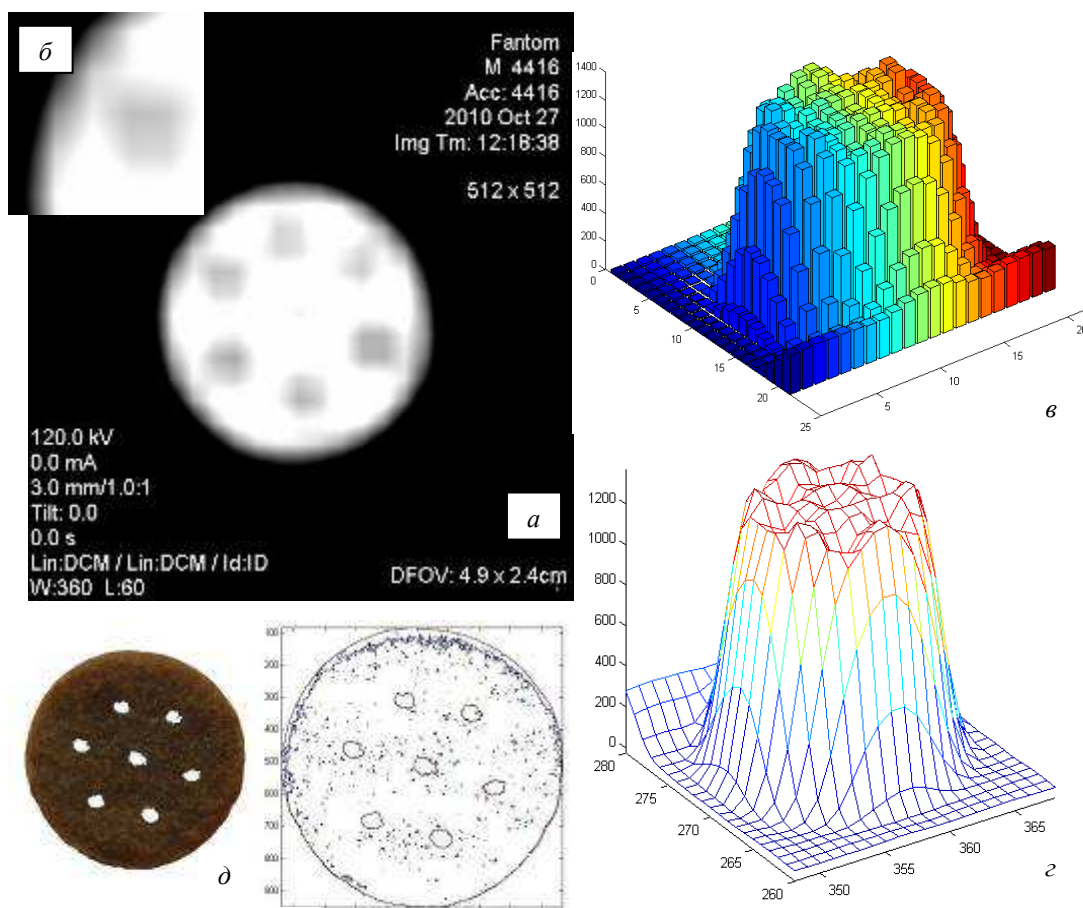
Рисунок 6 – Последовательность постобработки томографических срезов трубчатого пороха 16/1 ТР

На рисунке 7 показаны результаты рентгено-томографического исследования плотностных аномалий зерненного пороха 12/7 БП. Томографическое сечение порохового элемента представлено на фрагменте *а*, а его увеличенный сегмент показан на фрагменте *б*. Распределение денситометрического параметра в виде гистограммы (матрица  $17 \times 17$ ) иллюстрируется на фрагменте *в*. Совокупный эффект увеличения плотности сетки и использование кубической интерполяции позволяют перейти от гистограммы к поверхности (фрагмент *г*), которая также может быть обработана алгоритмом поиска линии одинакового уровня. Результат оптических исследований ПЭ с использованием фотографирования на просвет иллюстрирует фрагмент *д* (в качестве сравнения с томографией).

РКТП при исследовании пороховых метательных зарядов может быть реализован двумя способами.

*Способ 1.* Сущностью первого способа является проведение оценок усредненной плотности в пороховом метательном заряде без отождествления срезов с пороховыми элементами. Допустим

выполнено 50 аксиальных срезов порохового метательного заряда. Размер анализируемой матрицы 1024×1024. С использованием плотностных и морфологических особенностей заряда и базовых пороховых элементов в каждой из 50-ти матриц «выбраковываются» элементы (пиксели) не относящиеся к пороховым элементам (гильза, воспламенитель, газовая среда и т.д.). Эта процедура может быть реализована за счет амплитудного дискриминатора, который отсеивает все значения больше, меньше установленных порогов. Далее в каждом сечении, для оставшихся точек, суммируются значения денситометрического показателя и делятся на количество рассматриваемых элементов матрицы. Следующим этапом усреднения является определение среднего значения по каждому из сечений. В результате получаем  $\bar{\rho}$  являющееся оценкой усредненной плотности пороха порохового метательного заряда.



© Анипко О.Б., Хайков В.Л.

Рисунок 7 – Рентгено-томографическое исследование плотностных аномалий гранулированного пороха 12/7 БП

*Способ 2.* Отличием второго способа РКТП является операция отождествления 3–4 последовательных областей (отдельных частей) сечений различного уровня с пороховым элементом, и нахождение его усредненной плотности, а не усредненной плотности всех пороховых элементов в некотором сечении гильзы, как в первом способе. Далее необходимо построить гистограмму накопленных частот усредненных плотностей ПЭ, рассматриваемого заряда. Размах гистограммы (ширина) и ее высота определяются, как плотностными, так и количественными характеристиками ПЭ заряда.

Ввиду того, что количество ПЭ в заряде превышает 500, при дальнейшей статистической обработке гистограммы накопленных частот возможна оценка закона распределения усредненных плотностей, и определение таких его характеристик как среднее значение, дисперсия. Таким образом, в способе 2 пороховой метательный заряд рассматривается в его естественном виде как совокупность ПЭ. После обработки и определения усредненной плотности каждого ПЭ всю их совокупность можно разделить на несколько плотностных фракций, влияние которых может быть учтено при решении основной задачи внутренней баллистики.

Периодическое проведение РКТП с некоторым интервалом позволяет рассматривать усредненную плотность заряда как случайную функцию времени (срока хранения), которая для артиллерийского выстрела является единичной реализацией, а для партии выстрелов ансамблем реализаций. На основе такого подхода могут быть определены корреляционные характеристики, вплоть до спектральных. Анализ доступных литературных публикаций показал, что такой подход применительно к метательным зарядам артиллерийских боеприпасов при изучении их геронтологии ранее не использовался.

На рисунке 8 отображены модельные примеры, рассматриваемые как результаты реализаций первого и второго способов РКТП. Ориентация и направление осей на рисунках 8 а, 8 б и 8 в одинаковая.

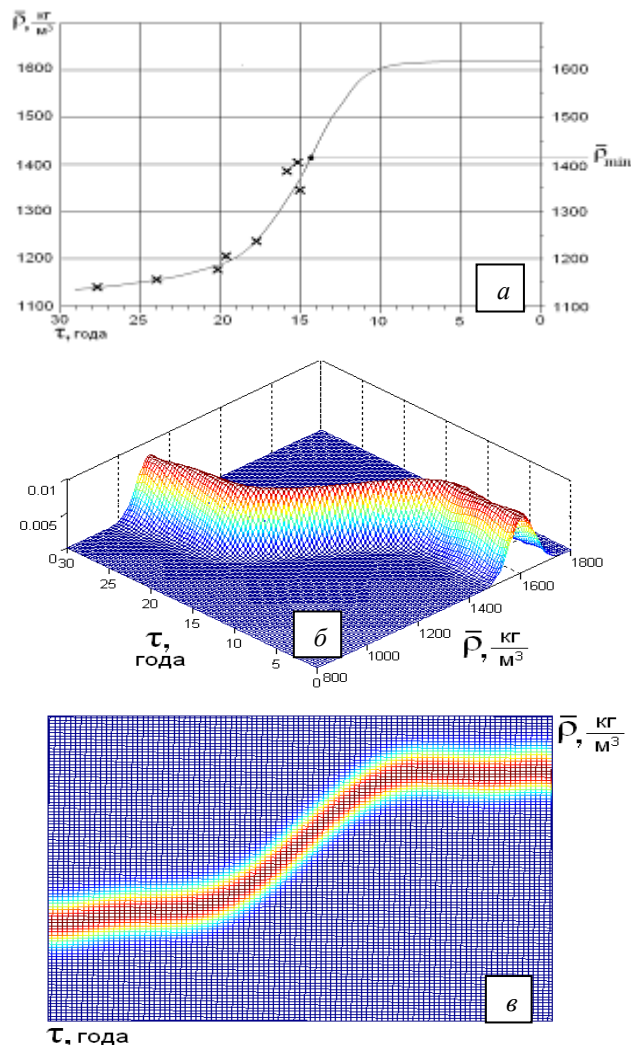


Рисунок 8 – Способы реализации метода РКТП

На фрагменте а (рис. 8) показаны оценки усредненной плотности пороха порохового метательного заряда, выполненные по способу 1 [6]. Значения  $\bar{\rho}$  являются убывающей функцией времени. Периодическое проведение РКТП позволит определить динамику плотностных трансформаций, прогнозировать изменение усредненной плотности на перспективу. Решение основной задачи баллистики для фактических характеристик порохового метательного заряда позволит оценить степень влияния достигнутых плотностных изменений на боевой эффект и на безопасность стрельбы.

При допущении того, что усредненная плотность пороха порохового метательного заряда является средней плотностью по ПЭ, а закон ее распределения является нормальным, модель фрагмента а рис. 8 становится частным случаем более общей модели геронтологических изменений в пороховом заряде (рис. 8 б). Изображенная поверхность, является трансформацией закона распределения усредненных плотностей ПЭ порохового заряда. В данном случае оценка математического ожидания меняется в

соответствии с (рис. 8 а), а дисперсия во времени постоянна. На рисунке (рис. 8 в) показана проекция сверху и «корридор» ширина которого равна 6-ти среднеквадратическим отклонениям.

Введение закона распределения плотности позволяет определять вероятностные характеристики физической плотности порохового заряда. Так например, можно оценить вероятность ее нахождения в заданном интервале и ее изменение во времени. Такой подход делает возможным установление корреляционных связей во времени, а, следовательно, закладывает основы научно обоснованных прогнозов изменения состояния пороховой массы, основанных на статистических оценках.

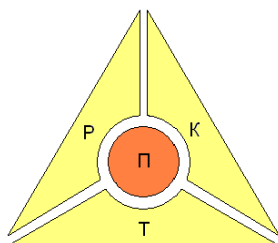


Рисунок 9 – Основы метода РКТП

#### **Выводы.**

Метод РКТП (рис. 9), разработан с целью получения усредненных плотностей (литера «П») пороховых элементов и дальнейшей статистической обработки плотнометрической информации в интересах контроля текущего состояния порохового заряда и прогнозирования его состояния на определенный временной интервал.

Основой РКТП является совокупность трех технологий, каждая из которых является необходимым, но недостаточным условием при реализации этого вида плотнометрических исследований:

- рентгеноскопия (литера «Р») обеспечивает неконтактный, неразрушающий способ зондирования исследуемого объекта;
- компьютерная обработка данных (литера «К»), делающая возможным переработку значительного объема измерений в режиме реального времени;
- томография (литера «Т») является программно-аппаратным способом организации взаимодействия рентгеноскопии и компьютерной обработки ее данных.

Информационные возможности РКТП позволяют определять, как частные характеристики (контур плотностной аномалии), так и общие (усредненная плотность среза и усредненная плотность ПЭ), что позволяет производить анализ разных иерархических уровней: например,

- порохового заряда и партии артиллерийских выстрелов;
- фактического состояния и прогноза состояния на перспективу.

#### Литература

1. Lampe David. CIT scanners. Popular science. September 1983. Vol. 223. №3. p.p. 52–56.
2. Bakke Timothy. Giant scanner inspects rocket motor. Popular science. March 1984. Vol. 224. №3. p.p. 95.
3. Вайнберг И.А., Вайнберг Э.И. Компьютерные томографы для неразрушающего контроля и количественной диагностики изделий аэрокосмической промышленности. Двигатель. Том 56, 2 2008 с. 19–21.
4. X-ray imaging technology development laboratory. U.S. Armament Research, Development, and Engineering Center, Picatinny. Электронный интернет ресурс – [http://www.pica.army.mil/TechTran/facilities/xray\\_imaging.asp](http://www.pica.army.mil/TechTran/facilities/xray_imaging.asp).
5. Anderson J., Jackson A., Martin H., Schubert J. Nondestructive evaluation of naval munitions using X-Ray CT. Research in Nondestructive Evaluation. Vol. 22, Issue 1, 2011. p. 16–30.
6. Анипко О.Б., Бусяк Ю.М. Внутренняя баллистика ствольных систем при применении боеприпасов длительных сроков хранения. – Харьков.: Изд-во академии внутр. войск МВД Украины, 2010. – 130 с.

#### Bibliography (transliterated)

1. Lampe David. SIT scanners. Popular science. September 1983. Vol. 223. #3. p.p. 52–56.
2. Bakke Timothy. Giant scanner inspects rocket motor. Popular science. March 1984. Vol. 224. #3. p.p. 95.
3. Vaynberg I.A., Vaynberg E.I. Kompyuternyie tomografy dlya nerazrushayuschego kontrolya i kolichestvennoy diagnostiki izdeliy aerokosmicheskoy promyishlennosti. Dvigatel. Tom 56, 2 2008 p. 19–21.
4. X-ray imaging technology development laboratory. U.S. Armament Research, Development, and Engineering Center, Picatinny. Elektronnyiy internet resurs – [http://www.pica.army.mil/TechTran/facilities/xray\\_imaging.asp](http://www.pica.army.mil/TechTran/facilities/xray_imaging.asp).
5. Anderson J., Jackson A., Martin H., Schubert J. Nondestructive evaluation of naval munitions using X-Ray CT. Research in Nondestructive Evaluation. Vol. 22, Issue 1, 2011. p. 16–30.
6. Anipko O.B., Busyak Yu.M. Vnutrennyaya ballistika stvolnyih sistem pri primenenii boeprapasov dlitelnyih srokov hraneniya. – Harkov.: Izd-vo akademii vnutr. voysk MVD Ukrainyi, 2010. – 130 p.

УДК 623.451.4

Аніпко О.Б., Хайков В.Л.

**МЕТОД РЕНТГЕНІВСЬКОЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ ТОМОГРАФІЇ ЩІЛЬНОСТІМЕТРІЇ  
ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН АРТИЛЕРІЙСЬКИХ БОЄПРИПАСІВ**

Наведено опис методу рентгенівської комп'ютерної томографічної щільностіметрії вибухових речовин артилерійських боєприпасів.

Anipko O.B., Khaikov V.L.

**THE METHOD OF X-RAY COMPUTED TOMOGRAPHIC DENSITYMETRY EXPLOSIVES  
ORDNANCE**

A description of the method of X-ray computed tomographic densitymetry explosive ordnance is given.

Бондарь А.И., Вакуленко В.В., Зарянов В.А., Ковалев М.С., Чучмарь И.Д.

### ОСНАЩЕНИЕ ОСНОВНЫХ ТАНКОВ ВСПОМОГАТЕЛЬНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ

**Актуальность проблемы.** Танковые дизели серии БТД, применяемые на основных боевых танках отечественного производства, вследствие их высокой нагруженности имеют небольшой ресурс в сравнении с автотракторными дизелями. В условиях использования бронетанковой техники в мирное время, когда ее эксплуатация нацелена на отработку учебных навыков экипажа, чрезвычайную актуальность приобретают вопросы сохранения ресурса основного двигателя и экономии горюче-смазочных материалов (ГСМ). Решение задачи обеспечения потребителей электрической энергии танка в режиме останова основного двигателя при выполнении упражнений по стрельбе с места, работе оборудования в дежурном режиме на стоянках, в засадах и т.п. в значительной мере зависит от вспомогательной силовой установки (ВСУ) и позволяет сохранить ресурс основного двигателя. Кроме этого, внедрение в танк ВСУ обеспечит снижение расхода ГСМ и его заметности по тепловыделениям и шуму, а также улучшит экологические показатели.

Для работы средств связи командирские танки советского периода оснащались маломощными (до 1 кВт) силовыми агрегатами. Впоследствии данная тема была продолжена и до сих пор развивается в Российском танкостроении, разработкой агрегата питания мощностью 18 кВт. Вследствие того, что в основе данного агрегата лежит использование газотурбинного двигателя, имеющего значительно больший расход топлива, вопросы экономичности, запаса хода танка и многотопливности ограничивают его применение.

**Целью** данной статьи является отражение теоретических и экспериментальных исследований по оснащению танка БМ «Оплот» вспомогательной силовой установкой мощностью до 10 кВт на базе дизельного двигателя.

**Основная часть.** Исходя из задачи ВСУ обеспечения потребителей электроэнергией при остановленном основном двигателе, был определен состав основных электрических потребителей: комплекс управления огнем, связь, система коллективной защиты, кондиционер. Также при любых условиях эксплуатации существует необходимость в подзарядке АКБ танка.

Расчет мощности генераторной установки ВСУ выполнялся по следующей формуле:

$$P_{ген.мин} = P_{расч} \cdot K_{рез}, \quad (1)$$

где  $P_{ген.мин}$  – минимально-необходимая мощность генераторной установки ВСУ;  $P_{расч}$  – расчетная мощность основных потребителей танка;  $K_{рез}$  – коэффициент резерва мощности, принимаемый в соответствии с ОСТ ВЗ-1646-72 [1] равным 1,2.

$$P_{расч} = \sum (P_{нотр.i} \cdot K_{t.i}), \quad (2)$$

где  $P_{нотр.i}$  – мощности в номинальном режиме, потребляемые системами танка;  $K_{t.i}$  – коэффициент времени работы потребителя относительно времени работы двигателя ВСУ.

С учетом вышеприведенных формул расчетная мощность генераторной ВСУ составляет:

$$\begin{aligned} P_{расч} &= P_{КВО} \cdot K_{КВО} + P_{связь} \cdot K_{связь} + P_{СКЗ} \cdot K_{СКЗ} + P_{КОНД} \cdot K_{КОНД} + P_{АКБ} \cdot K_{АКБ} = \\ &= 4,5 + 0,5 + 0,3 + 2 + 0,9 = 8,2(\text{кВт}). \end{aligned} \quad (3)$$

Минимально-необходимая мощность генераторной установки ВСУ, согласно (1):

$$P_{ген.мин} = 8,2 \cdot 1,2 = 9,84(\text{кВт}). \quad (4)$$

Таким образом, для обеспечения потребителей электроэнергией, учитывая возможные пиковые режимы работы ответственных узлов аппаратуры танка, необходима генераторная установка мощностью не менее 10 кВт.

Применяемая ВСУ на базе двигателя 468А, разработанная КП ХКБД специально для установки в отсеке на надгусеничной полке танка, первоначально имела мощность 8 кВт, а в настоящее время в связи с увеличением энергопотребления за счет применения кондиционера, повышена до 10 кВт. Основные параметры, характеризующие данные ВСУ [2], [3], приведены в таблице 1.

Таблица 1

№ п.п.	Параметр	Значение	
		ВСУ 8 кВт	ВСУ 10 кВт
1	Максимальная мощность на клеммах стартер-генератора, кВт при атмосферном давлении 0,101 МПа, температуре окружающей среды 293 °К, относительной влажности воздуха 50 %, разрежение на впускном коллекторе двигателя 1,96 кПа, противодавлении на выпуске отработавших газов двигателя 5,89 кПа, плотности дизельного топлива 0,845 г/см <sup>3</sup> .	8 <sup>+0,2</sup>	10 <sup>-0,5</sup>
2	Расход топлива на режиме максимальной мощности, кг/ч, не более	4	3,8
3	Расход масла на угар, кг/ч, не более	0,1	0,09
4	Расход воздуха через дизель, кг/с	0,025	0,022
5	Частота вращения КВ дизеля на режиме максимальной мощности, мин <sup>-1</sup>	4100	4100
6	Прокачка через дизель охлаждающей жидкости, кг/ч	2300	2300
7	Теплоотдача дизеля при температуре атмосферного воздуха 293°К		
8	– в охлаждающую жидкость, кДж/с	10,5	10,5
9	– в масло, кДж/с	1,63	1,98
10	Система охлаждения	внешняя	автономная
11	Система смазки	автономная	автономная

Для установки ВСУ в танк необходимо было выполнить требования по разработке систем, обеспечивающих ее работоспособность и защиту от внешних воздействующих факторов.

Так, для размещения ВСУ (см. рис. 1) на правой надгусеничной полке в кормовой части корпуса танка был приварен герметичный броневой отсек, обеспечивающий противопульную и противоосколочную защиту, а также позволяющий танку беспрепятственно преодолевать водные преграды в режимах «Брод» и «Подводное вождение». Отсек обеспечивает свободный доступ к элементам управления ВСУ, оперативный ремонт либо полную её замену.

Для рассеивания тепла, выделяемого дизелем ВСУ мощностью 8кВт в ОЖ, систему охлаждения ВСУ потребовалось подключить к системе охлаждения основного двигателя. Методом натурного моделирования было установлено, что семирядные радиаторы с фронтальной поверхностью 1,15 м<sup>2</sup> эжекционной системы охлаждения танка обеспечивают отвод тепла путем естественной конвекции. При этом ограничения по времени эксплуатации и режимам нагружений отсутствуют для всего диапазона температур окружающего воздуха, в котором эксплуатируется танк. В ВСУ мощностью 10 кВт внедрена автономная система охлаждения с применением вентилятора и алюминиевого радиатора. Эффективность данной системы была подтверждена стендовыми испытаниями.

С целью сохранения единой топливной системы для основного двигателя и ВСУ, одним из основных требований, предъявляемых ВСУ, обеспечение их работы на различных видах топлива, т.к. двигатели серии БТД являются многотопливными. Решение разработчиком данной задачи позволило подключить ВСУ к топливной системе танка, сохранив ее практически без изменений.



Для управления работой ВСУ была разработана аппаратура управления, позволяющая с места механику-водителю управлять всеми режимами работы ВСУ и контролировать основные параметры её двигателя.

Для управления работой ВСУ была разработана аппаратура управления, позволяющая с места механику-водителю управлять всеми режимами работы ВСУ и контролировать основные параметры её двигателя.

С целью проверки заданных параметров ВСУ и возможности ее длительной непрерывной (до 24 часов) работы в составе танка были проведены соответствующие испытания. Анализ результатов испытаний показал соответствие расчетных характеристик полученным. Так, номинальная электрическая мощность, снимаемая с ВСУ составила 9,5 кВт при условиях, приведенных к указанным в п.1 таблицы 1, подтверждена возможность длительной непрерывной работы ВСУ. Предшествовавшие данным испытаниям ходовые испытания танка с ВСУ мощностью 8 кВт в природо-климатических условиях Украины показали возможность нагружения ВСУ и обеспечения потребителей электроэнергией без ограничений от температуры и запыленности окружающего воздуха. Кроме этого, данные испытания выявили значительное снижение уровня контрастности в спектре теплового излучения при работе ВСУ с остановленным основным двигателем танка, чем при стоянке с работающим основным двигателем. На рис.2 показаны аналоги изображений тепловизионных приборов обнаружения.

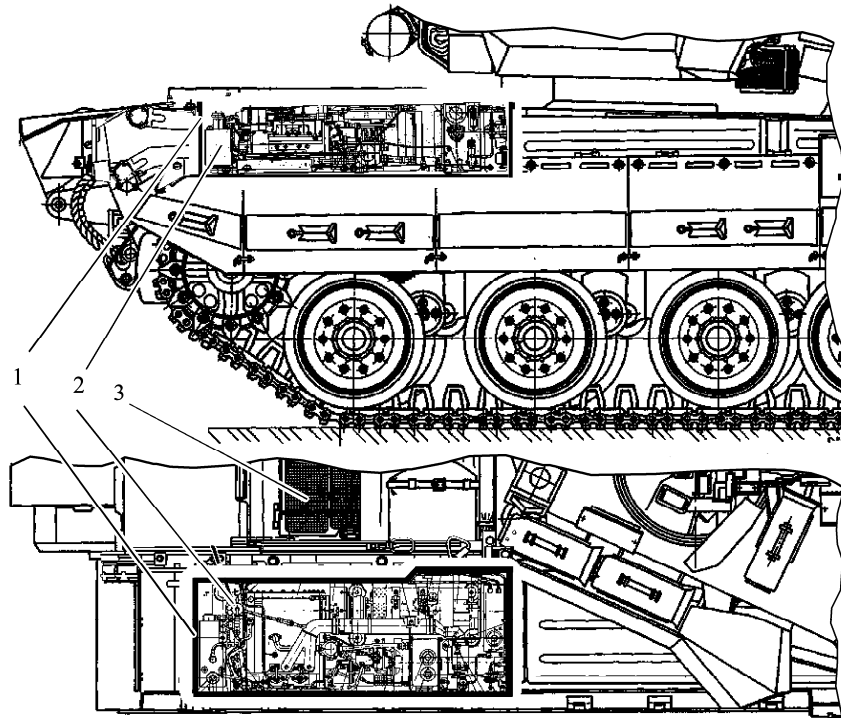


Рисунок 1 – Размещение ВСУ в корпусе танка  
1 – броневой отсек ВСУ; 2 – ВСУ; 3 – моторно-трансмиссионное отделение



Рисунок 2 – Сравнительные изображения тепловыделений танка:  
а – с работающим основным двигателем; б – с работающей ВСУ

**Выводы.**

Таким образом, установленная в танке БМ «Оплот» ВСУ обеспечивает электроэнергией основных потребителей (комплекс управления огнем, связь, система коллективной защиты, кондиционер и подзарядка АКБ) при остановленном основном двигателе, что позволяет сохранить ресурс основного двигателя, снизить расход ГСМ, заметность по тепловыделениям и шуму, а также улучшить экологические показатели танка.

Литература

1. ОСТ ВЗ-1646-72. «Военные гусеничные машины. Системы электроснабжения. Основные показатели» – М., 1972 г.
2. Энергоагрегат ЭА-8. Технические условия ЭА.ТУ-01 – Харьков, 2000 г.
3. Энергоагрегат ЭА-10. Технические условия ЭА10-1.ТУ – Харьков, 2012 г.

Bibliography (transliterated)

1. OST V3-1646-72. «Voennyye gusenichnyie mashinyi. Sistemyi elektrosnabzheniya. Osnovnyie pokazatelyi» – M., 1972 g.
2. Energoagregat EA-8. Tehnicheskie usloviya EA.TU-01 – Harkov, 2000 g.
3. Energoagregat EA-10. Tehnicheskie usloviya EA10-1.TU – Harkov, 2012 g.

УДК 629.1.032.1

Бондар О.І., Вакуленко В.В., Зарянов В.А., Ковальов М.С., Чучмар І.Д.

**ОСНАЩЕННЯ ОСНОВНИХ ТАНКІВ ДОПОМІЖНОЮ СИЛОВОЮ УСТАНОВКОЮ**

У статті описано теоретичні та експериментальні дослідження по оснащенню основного танку БМ «Оплот» допоміжною силовою установкою потужністю до 10 кВт для забезпечення енергоспоживачів електричною енергією при зупиненому основному двигуні.

Bondar A.I., Vakulenko V.V., Zarjanov V.A., Kovalev M.S., Chuchmar I.D.

**EQUIPPING THE MAIN BATTLE TANKS BY AUXILIARY POWER UNIT**

In the article, theoretical and experimental studies for equipping the main battle tank (MBT) "Oplot" by the auxiliary power unit of 10 kW for electric energy provision of power users with main engine stopped have been described.

**МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИМИ ТРАНСМИССИЯМИ ЛЕГКОБРОНИРОВАННЫХ КОЛЕСНЫХ ВОЕННЫХ МАШИН**

**Введение.** Основой микропроцессорных систем автоматического управления гидродинамическими трансмиссиями (САУ ГДТ) в настоящее время являются специализированные микроконтроллеры [1]. Высокое быстродействие и большой объем информации, который может обработать современный специализированный микроконтроллер, обусловили возможность получения на легкобронированных колесных военных машинах (ЛКВМ) полной реализации технических характеристик двигателя и трансмиссии в целом [2]. Однако, конструкция современной микропроцессорной САУ ГДТ представляет собой сложную электро-гидромеханическую систему, поскольку она включает в себя электромеханические и гидромеханические устройства [3]. Это усложняет решение научно-технической задачи повышения тягово-скоростных и топливо-экономичных характеристик ЛКВМ посредством разработки и внедрения микропроцессорной САУ ГДТ. Поскольку получить максимально возможные параметры подвижности и экономичности ЛКВМ позволит только отработанная и оптимизированная в составе изделия конструкция микропроцессорной САУ ГДТ, которая в процессе движения ЛКВМ сможет правильно и своевременно определять моменты включения-выключения блокировки комплексной гидродинамической передачи (КГДП), моменты и направление переключения передач в механической ступенчатой планетарной коробке переключения передач (МСПКПП), обеспечить плавность переключения передач, уменьшить работу буксования фрикционов, тем самым снизить потери энергии в трансмиссии, передаваемой от двигателя к ведущим колесам, при выполнении переключений передач и блокировки КГДП. Поэтому конструктора и ученые продолжают исследовать процессы, протекающие в микропроцессорной САУ ГДТ, а также в самой трансмиссии при движении ЛКВМ на ровной дороге и дорогам переменного профиля с целью получения оптимальных конструктивных параметров системы и оптимизации ее алгоритмов работы.

**Анализ последних достижений и публикаций.** В результате эксплуатации и совершенствования различных конструкций ГДТ и их САУ на ЛКВМ за последние двадцать пять лет в производстве для военных колесных машин на большие сроки удержалась конструкция ГДТ с последовательным соединением блокируемой КГДП и механических элементов трансмиссии, а также САУ микропроцессорного типа [4]. Их структурная схема представлена на рис. 1.

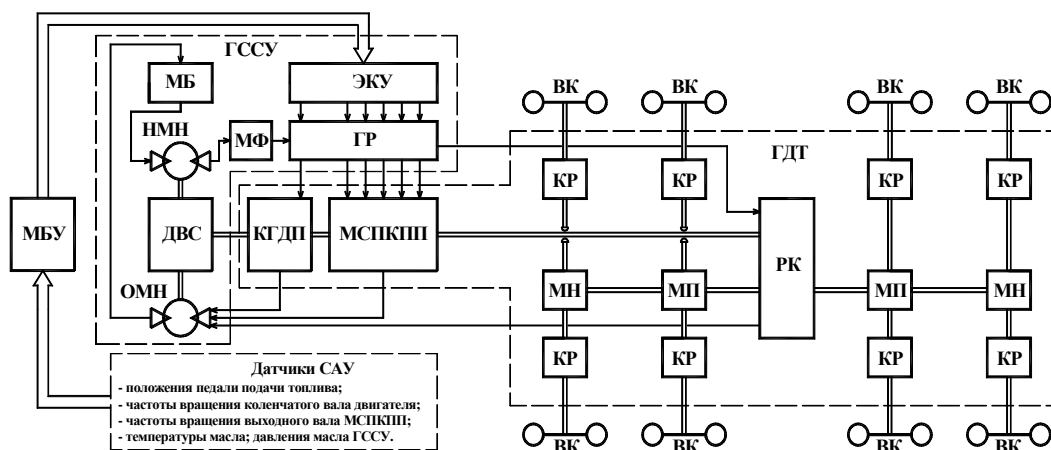


Рисунок 1 – Структурная схема ГДТ с микропроцессорной САУ применяемой на ЛКВМ, где ДВС – двигатель внутреннего сгорания, КГДП – комплексная гидродинамическая передача, МСПКПП – механическая ступенчатая планетарная коробка переключения передач, РК – раздаточная коробка, МП – мост проходной, МН – мост непроходной, КР – колесный редуктор, ВК – ведущее колесо, МБУ – микропроцессорный блок управления; МБ – масляный бак, НМН – нагнетающий масляный насос, ОМН – откачивающий масляный насос, МФ – масляный фильтр, ГР – гидрораспределитель, ЭКУ – электроклапана управления, ГССУ – гидросистема смазки и управления

Это связано с тем, что последовательное соединение КГДП с механическими элементами трансмиссии в сравнении с параллельным соединением обеспечивает более плавное трогание ЛКВМ с места, возможность движения на всех передачах с малой скоростью без опасения, что заглохнет двигатель, возможность трогаться с места на более высокой передаче, когда нет необходимости в интенсивном разгоне, повышает надежность и долговечность работы узлов двигателя и трансмиссии благодаря тому, что КГДП не передает и не пропускает крутильные колебания от двигателя в трансмиссию и динамические перегрузки со стороны трансмиссии на двигатель. И наконец, решающим фактором к утверждению данной конструкции ГДТ явилась возможность блокировать КГДП. Так как это позволило улучшить топливную экономичность ЛКВМ на стационарных режимах движения, а также исключить перегрев масла в КГДП при длительном движении в тяжелых дорожных условиях [5].

Применение САУ ГДТ микропроцессорного типа обусловлено ее возможностью решения задачи управления в темпе, совпадающем со скоростью протекания управляемых процессов в ГДТ и гидравлической части САУ, выполнения контроля большого количества параметров за один такт решения задачи управления, повышения точности воспроизведения заданного закона управления, повышения плавности переключения передач, выполнения мониторинга и диагностики САУ и ГДТ. Кроме того, построение анализирующего и вычислительного устройств САУ на основе специализированных микросхем, которые находятся в микропроцессорном блоке управления (МБУ), позволило упростить гидравлическую часть системы управления, устранить некоторые механические звенья и связанные с ними недостатки, выполнять настройку САУ посредством изменения коэффициентов, хранящихся в МБУ, унифицировать основные элементы САУ для различных модификаций КГДП и МСПКПП [6].

Анализ литературы, посвященной вопросам разработки САУ ГДТ и оптимизации ее конструктивных параметров и алгоритмов работы, показал, что большое внимание уделено вопросам выбора информационных параметров [7], построению закона управления ГДТ [6], поиска оптимальных эталонных значений информационных параметров для реализации экономичного и динамичного режимов движения [8], разработки алгоритмов адаптивного управления ГДТ и определения критериев адаптации [9], методам улучшения плавности переключения передач [10], вопросам разработки и построения встроенной диагностики системы управления и ГДТ [11]. И при этом в описании методов построения алгоритмов работы микропроцессорной САУ ГДТ, а также методов оптимизации системы отсутствуют сведения о выборе приоритетов выполнения одновременно появившихся условий на блокировку или разблокировку КГДП и включение повышенной или пониженной передачи в МСПКПП. Например, при движении ЛКВМ по ровной дороге или дороге с переменным профилем в микропроцессорной САУ ГДТ может появиться одновременно два условия на разблокировку КГДП и переключение на пониженную передачу в случае уменьшения скорости движения машины или на блокировку КГДП и переключение на повышенную передачу в случае увеличения скорости движения машины. В этих случаях конструкторам приходится интуитивно определять приоритеты выполнения условий при построении алгоритмов работы микропроцессорной САУ ГДТ. Хотя от правильности выбора последовательности выполнения перечисленных условий могут зависеть величина абсолютного расхода топлива к пройденному пути, время торможения или разгона машины, плавность выполнения переключений передач и как результат ресурс работы ГДТ [12]. Поэтому необходимо определить критерии, с помощью которых можно устанавливать приоритеты выполнения условий блокировки или разблокировки КГДП и переключения передач в МСПКПП при построении алгоритмов работы в микропроцессорной САУ ГДТ.

**Цель и постановка задачи.** Данная работа ставит своей целью проведение анализа процессов, возникающих в результате выполнения блокировки-разблокировки КГДП и переключения передач в МСПКПП в разных последовательностях. Определение критериев приоритета последовательности выполнения условий блокировки-разблокировки КГДП и переключения передач в МСПКПП при построении алгоритма работы САУ ГДТ.

**Основная часть.** Перед тем, как приступить к проведению анализа процессов, возникающих в ГДТ в результате выполнения блокировки-разблокировки КГДП и переключения передач в МСПКПП ознакомимся с основными различиями в современных конструкциях ГДТ. Ведущие зарубежные производители Allison и ZF в области изготовления автоматических коробок передач (АКП) для построения ГДТ по последовательной схеме на многоцелевых колесных машинах выпускают модельный ряд коробок, которые имеют возможность переключения от 5-ти до 7-ми ступеней передач для движения вперед. К ним относятся модификации MT-653DR (5x1), MD 3066P (6x1), 3200SP (6x1), 4500 RDS (6x1) фирмы Allison; 5HP500 (5x1), ECOMAT 6HP602C (6x1), ECOMAT 7HP 902 (7x1) фирмы ZF [13] и др. В 5-ти ступенчатых АКП перекрытие между передачами меньше, чем в 6-ти или 7-ми ступенчатых АКП, а это означает, что КГДП будет работать в разблокированном состоянии больше времени, чем в заблокированном для обеспечения плавности переключений передач. Не смотря на то, что 5-ти ступенчатые АКП получают менее экономичными в сравнении с 6-ти и 7-ми ступенчатыми фирмы производители продолжают их

выпускать из-за того, что они имеют наименьшие массово-габаритные показатели, а также стоимость изготовления. Поэтому для проведения исследований целесообразно сравнивать процессы, которые будут возникать в результате выполнения блокировки-разблокировки КГДП и переключения передач в МСПКПП, в 5-ти ступенчатых и 6-ти или 7-ми ступенчатых ГДТ.

Таким образом, для проведения исследований можно взять конструкции ГДТ, которые установлены на серийных и опытных образцах бронетранспортеров украинского производства: БТР-4Е, БТР-4А, БТР-4В, БТР-3Е1. Технические характеристики двигателя и АКП, установленные на них, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики двигателей и АКП, применяемых на бронетранспортерах украинского производства

Объект	Вес машины, т	Марка двигателя; макс. мощность, кВт (л.с.), при частоте вращения мин <sup>-1</sup> ; макс. крутящий момент Н·м, при частоте вращения мин <sup>-1</sup>	Марка АКП, страна изготовитель	Кол-во передач
БТР-4Е	20,5	ЗТД-3, Украина; 368 (500), 2600; 1290, 1900..2000;	АКП разработки ХКБМ, Украина	КП 5 x 1
БТР-4А	21	Iveco Cursor II, Италия; 316 (430), 2100; 1900, 1250..1525;	АКП разработки ХКБМ, Украина	КП 5 x 1
БТР-4В	21	DEUTZ BF6M 1015CP, Германия; 300 (408), 1900; 2030, 1300..1400;	ALLISON 4500RDS, США	6 x 1
БТР-3Е1	16,4	MB 6R106TD21, Германия; 240 (326), 2300; 1300, 1230..1500;	ALLISON 3200SP, США	6 x 1

Все ГДТ на бронетранспортерах выполнены по последовательной схеме. Отличаются только количеством передач для движения вперед. Общей конструктивной особенностью изделий БТР-4А, БТР-3Е1 является то, что на них установлены дизельные двигатели с микропроцессорной системой управления подачи топлива. Такие двигатели могут поддерживать максимальное значение крутящего момента в диапазоне 270 мин<sup>-1</sup> частоты вращения коленчатого вала. На изделиях БТР-4Е и БТР-4В установлены дизельные двигатели с гидромеханическим всережимным регулятором подачи топлива. В этих двигателях максимальное значение крутящего момента может поддерживаться в диапазоне 100 мин<sup>-1</sup> частоты вращения коленчатого вала. Из этого следует, что на бронетранспортерах, которые имеют АКП с одинаковым количеством передач для движения вперед, наилучшее перекрытие между передачами будет у изделий, на которых установлены дизельные двигатели с микропроцессорной системой управления подачей топлива. Это в свою очередь приводит к тому, что на изделиях БТР-4А, БТР-3Е1 КГДП большую часть времени будет работать в заблокированном состоянии в сравнении с изделиями БТР-4Е и БТР-4В. Следовательно, на изделиях БТР-4А, БТР-3Е1 будет меньшим расход топлива не только благодаря экономичности самих двигателей, но и благодаря поддержанию максимальной величины коэффициента полезного действия (КПД) в ГДТ большую часть времени движения изделий.

Для более детального анализа построим тяговые характеристики бронетранспортеров при заблокированной КГДП. С этой целью определим величины силы тяги на ведущих колесах ( $P_{тяги}$ ) и скорости движения машины ( $v_m$ ) по следующим формулам [5]:

$$P_{тяги} = \frac{M_{\text{дв}}}{R_{\text{вк}}} \cdot i_{\text{тп}} \eta_{\text{тп}}; \quad v_m = \frac{\omega \cdot R_{\text{вк}}}{i_{\text{тп}}}, \quad (1)$$

где  $P_{тяги}$  – сила тяги на ведущих колесах машины, Н;  $M_{\text{дв}}$  – свободный крутящий момент коленчатого вала двигателя, Н·м;  $R_{\text{вк}}$  – радиус ведущего колеса, м;  $i_{\text{тп}}$  – передаточное отношение трансмиссии;  $\eta_{\text{тп}}$  – КПД трансмиссии,  $v_m$  – скорость движения машины м/с;  $\omega$  – частота вращения коленчатого вала двигателя, с<sup>-1</sup>.

Для дизельного двигателя свободный крутящий момент, развиваемый коленчатым валом двигателя, можно определить по следующей аппроксимирующей зависимости [14]:

$$M_{\text{д}}[\omega(t), h(t)] = \frac{h(t) - h_{\text{min}}}{h_{\text{max}} - h_{\text{min}}} \cdot N_{\text{max}} \cdot \left[ \alpha \frac{\omega(t)^3}{\omega_N^4} + \beta \frac{\omega(t)^2}{\omega_N^3} + \gamma \frac{\omega(t)}{\omega_N^2} + \delta \frac{1}{\omega_N} \right], \quad (2)$$

где  $h_{min}$ ,  $h_{max}$  – положения рейки топливного насоса, которые соответствуют минимальной и максимальной подаче топлива, мм;  $N_{max}$  – максимальная свободная мощность двигателя, Вт;  $\omega_N$  – частота вращения коленчатого вала двигателя в режиме максимальной мощности,  $c^{-1}$ ;  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  – коэффициенты, которые удовлетворяют условию  $\alpha + \beta + \gamma + \delta = 1$  и вычисляются по соотношениям:

$$\alpha = \frac{2\kappa + a - 3}{(1-a)^3}; \quad \beta = \frac{(1+a)(4-3\kappa) - 2a^2}{(1-a)^3}; \quad \gamma = \frac{6\kappa - (8-a-a^2)}{(1-a)^3} \cdot a; \quad \lambda = \frac{2a^2(2-a) - \kappa(3a-1)}{(1-a)^3},$$

где  $a = \frac{\omega_M}{\omega_N}$ ;  $k = \frac{M_{max}}{M_N}$ ;  $\omega_M$  – частота вращения коленчатого вала двигателя соответствующая значению

максимального крутящего момента;  $\omega_N$  – частота вращения коленчатого вала двигателя соответствующая значению максимальной мощности;  $M_{max}$  – максимальный крутящий момент двигателя;  $M_N$  – крутящий момент двигателя, соответствующий максимальной мощности.

Тяговые характеристики бронетранспортеров представлены на рис. 2–5. Из характеристик видно, что на всех бронетранспортерах большой разрыв значений величины силы тяги между 1-й и 2-й передачами. Поэтому переключение с 1-й на 2-ю передачу и назад необходимо выполнять только при разблокированной КГДП. Это позволит уменьшить большой скачек величины крутящего момента двигателя в кинематической цепи трансмиссии, который приводит к возникновению ударных нагрузок. А это в свою очередь ведет к уменьшению ресурса работы двигателя и ГДТ.

Из тяговой характеристики изделия БТР-4Е следует, что переключение передач в ГДТ со 2-й на 3-ю, с 3-й на 4-ю, с 4-й на 5-ю и назад необходимо выполнять только при разблокированной КГДП. Поскольку, между тяговыми характеристиками на всех передачах имеется разрыв величины силы тяги, который будет приводить к появлению толчков при переключениях передач и как следствие к увеличению ударных нагрузок в трансмиссии.

Что касается изделия БТР-4А, то в нем переключения передач с 3-й на 4-ю, с 4-й на 5-ю и назад можно осуществлять при сблокированной КГДП. Поскольку, между тяговыми характеристиками на этих передачах есть общие точки пересечения. А переключение передачи со 2-й на 3-ю и назад необходимо выполнять только при разблокированной КГДП, так как между тяговыми характеристиками на этих передачах имеется разрыв величины силы тяги.

Переключения передач со 2-й по 6-ю вверх и вниз на изделиях БТР-4В и БТР-3Е1 можно выполнять при сблокированной КГДП, поскольку между тяговыми характеристиками на этих передачах также имеются общие точки пересечения. И при переключениях передач в этих точках в любом направлении с пониженной на повышенную или наоборот не будут возникать ударные нагрузки в ГДТ.

Таким образом, разное количество передач в ГДТ для движения вперед влияет на способ управления трансмиссией. В ГДТ с возможностью переключения до 6-ти или 7-ми передач движения вперед КГДП необходимо разблокировать только на 1-й и 2-й передачах, для обеспечения плавного трогания машины с места, маневрирования на этих передачах и плавности переключения между передачами. После выполнения блокировки КГДП на 2-й передаче она может оставаться в сблокированном положении на всех последующих передачах. Это позволит повысить КПД ГДТ на повышенных передачах в сравнении с 5-ти ступенчатыми ГДТ, тем самым уменьшить абсолютный расход топлива за пройденный путь и при этом сохранить плавность переключения передач.

В ГДТ с возможностью переключения до 5-ти передач движения вперед КГДП также необходимо разблокировать на 1-й и 2-й передачах. На 2-й и выше передачах КГДП необходимо блокировать при условии, когда величина силы тяги на ведущих колесах будет равна при разблокированном и сблокированном состоянии КГДП [7]. После чего, при последующих переключениях, КГДП необходимо разблокировать, если имеется разрыв величины силы тяги между соседними тяговыми характеристиками как на изделии БТР-4Е. Поскольку будут возникать ударные нагрузки в ГДТ, которые приводят к уменьшению ресурса работы трансмиссии. Если нет разрыва величины силы тяги на ведущих колесах между соседними тяговыми характеристиками и имеются точки пересечения, как на повышенных передачах изделия БТР-4А, то переключения между передачами можно осуществлять при сблокированной КГДП.

Следующим возникает вопрос: «В какой последовательности необходимо выполнять условия блокировки-разблокировки КГДП и переключения передач в МСПКПП в случае, когда имеется разрыв величины силы тяги на ведущих колесах между тяговыми характеристиками на соседних передачах ГДТ?» Для ответа на этот вопрос проанализируем тяговые характеристики изделия БТР-4Е при разблокированной и сблокированной КГДП. С этой целью определим величину крутящего момента на турбинном колесе КГДП ( $M_m$ ) и величину частоты вращения турбинного колеса КГДП ( $\omega_m$ ). После чего подставим их значения в формулу (1), в место величин  $M_{0e}$  и  $\omega$ .

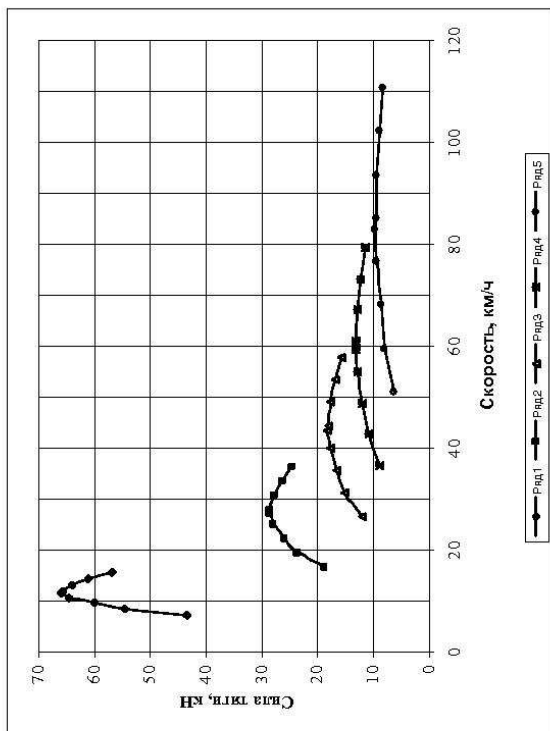


Рис.1. Тяговая характеристика БТР-4Е при облокированном ГТ

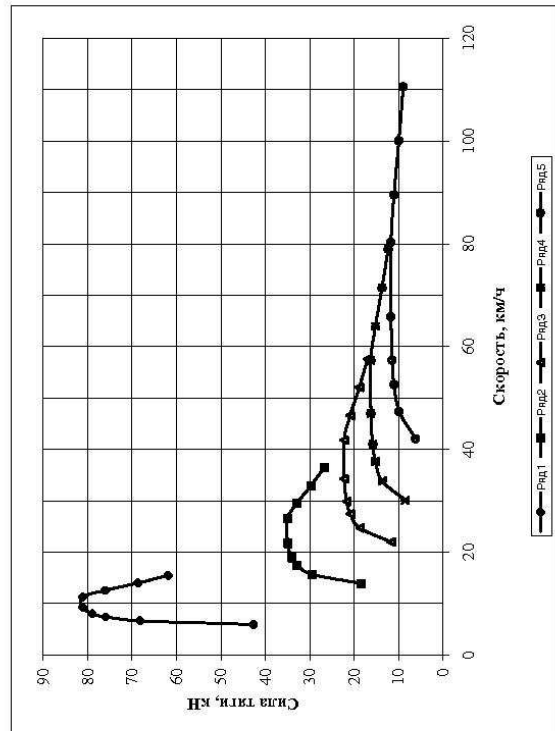


Рис.2. Тяговая характеристика БТР-4А при облокированном ГТ

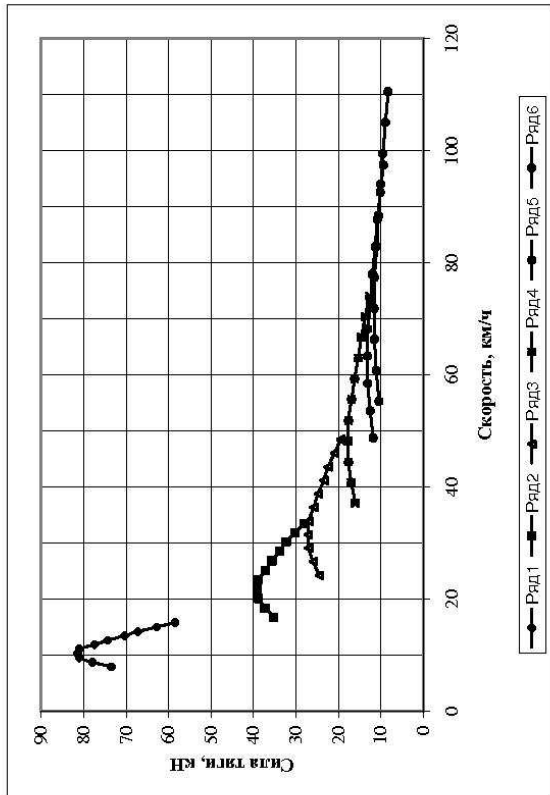


Рис.3. Тяговая характеристика БТР-4В при облокированном ГТ

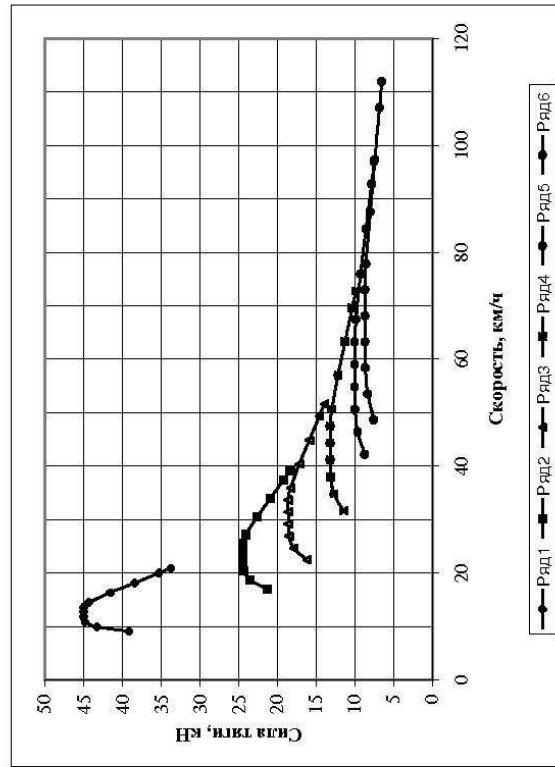


Рис.4. Тяговая характеристика БТР-3Е1 при облокированном ГТ

Величина  $M_m$  равна[5]:

$$M_m = \kappa_{zm} \cdot M_n = \kappa_{zm} \cdot \lambda_n \cdot \gamma_{жс} \cdot \omega_n^2 \cdot D_a^5, \quad (3)$$

где  $\kappa_{zm}$  – коэффициент трансформации момента КГДП;  $M_n$  – крутящий момент развиваемый насосным колесом, Н·м;  $\lambda_n$  – коэффициент момента насосного колеса, с<sup>2</sup>/м;  $\gamma_{жс}$  – удельный вес рабочей жидкости, Н/м<sup>3</sup>;  $\omega_n$  – частота вращения вала насосного колеса с<sup>-1</sup>;  $D_a$  – активный диаметр гидропередачи, м.

Величина  $\omega_m$  равна[16]:

$$\omega_m = \omega_n \cdot i_{zn}^{-1}, \quad (4)$$

где  $\omega_n$  – частота вращения вала насосного колеса с<sup>-1</sup>;  $i_{zn}^{-1}$  – кинематическое передаточное число гидропередачи.

Теперь рассмотрим, как изменяется величина силы тяги ( $P_{тяги}$ ) на ведущих колесах машины между двумя соседними передачами при разблокированной и сблокированной КГДП. Например, возьмем тяговые характеристики изделия БТР-4Е на 3-й и 4-й передачах. Они представлены на рис. 6.

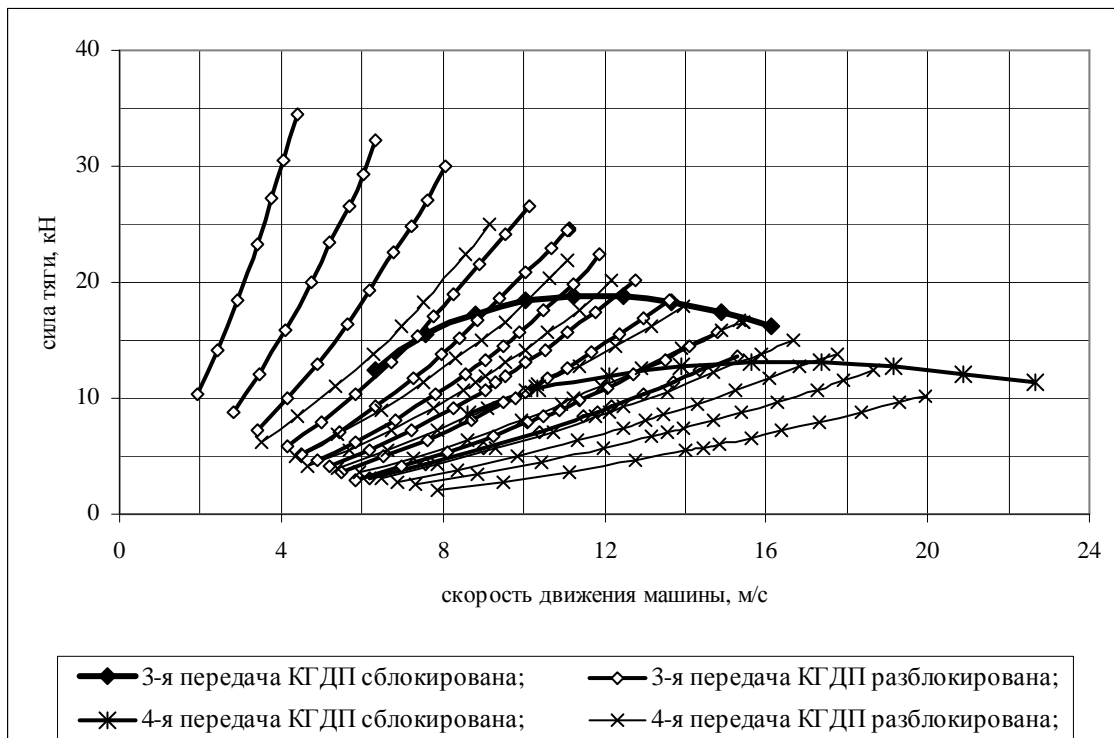


Рисунок 6 – Тяговые характеристики изделия БТР-4Е на 3-й и 4-й передачах при разблокированной и сблокированной КГДП

Из рисунка видно, что тяговые характеристики изделия БТР-4Е на 3-й передаче при разблокированной КГДП в режиме гидромукты пересекаются с тяговой характеристикой на 4-й передаче при сблокированной КГДП и в режиме гидротрансформатора пересекаются с тяговыми характеристиками на 4-й передаче при разблокированной КГДП, работающей в режиме гидротрансформатора. А также тяговые характеристики на 4-й передаче при разблокированной КГДП в режиме гидротрансформатора пересекаются с тяговыми характеристиками на 3-й передаче при сблокированной КГДП и при разблокированной КГДП в режимах гидромукты и гидротрансформатора.

Таким образом получаем, что при разгоне машины на 3-й передаче сначала необходимо сблокировать КГДП при условии, когда величина силы тяги на ведущих колесах будет неизменной при разблокированной и сблокированной КГДП. Это позволит увеличить КПД ГДТ и соответственно уменьшить расход топлива к пройденному пути при разгоне. Кроме того, с точки зрения динамики разгона машины про-



должать ее разгон на разблокированной КГДП не целесообразно после наступления условия равенства силы тяги на ведущих колесах при разблокированной и сблокированной КГДП, поскольку величины силы тяги на ведущих колесах при разблокированной КГДП становятся меньше величин силы тяги при сблокированной КГДП. Перед наступлением условия переключения с 3-й на 4-ю передачу необходимо разблокировать КГДП, выключить 3-ю передачу и включить 4-ю передачу. Это позволит сгладить скачек величины крутящего момента двигателя в кинематической цепи трансмиссии. После чего следует продолжать разгон на 4-й передаче при разблокированной КГДП. Потом при наступлении условия следует выполнить блокировку КГДП. Дальнейший разгон машины на 4-й передаче при сблокированной КГДП и последующий процесс переключения с 4-й на 5-ю передачу следует выполнять по выше описанному алгоритму. В результате мы сможем обеспечить плавность переключения передач при поддержании высоких значений КПД ГДТ с 5-ю передачами движения вперед в процессе выполнения разгона машины.

Замедлении машины на 4-й передаче при сблокированной КГДП необходимо выполнять следующим образом. Перед выполнением условия переключения с 4-й на 3-ю передачу необходимо сначала выполнить условие разблокировки КГДП, которое заключается в следующем. Разблокировка КГДП должна произойти при достижении частоты вращения коленчатого вала дизельного двигателя значения, которое равно или меньше величины частоты вращения, соответствует точке максимального крутящего момента двигателя на внешней скоростной характеристике. В случае работы дизельного двигателя на частичной скоростной характеристике разблокировку КГДП необходимо выполнять при условии выхода на внешнюю скоростную характеристику и величине частоты вращения также меньшей или равной значению, которое соответствует точке максимального крутящего момента двигателя на внешней скоростной характеристике [7]. После разблокировки КГДП продолжать движение на 4-й передаче следует до тех пор, пока величина КПД КГДП находится в рабочем диапазоне максимальных значений. При выходе из рабочего диапазона максимальных рабочих значений КПД КГДП следует выключить 4-ю передачу и включить 3-ю. Такой подход позволяет значительно уменьшить скачек величины крутящего момента двигателя в кинематической цепи трансмиссии при поддержании высоких значений КПД ГДТ с 5-ю передачами движения вперед в процессе выполнения замедления машины.

**Выводы.** Таким образом, в результате анализа процессов в ГДТ, протекающих при выполнении блокировки-разблокировки КГДП и переключении передач в МСПКПП, для определения последовательности выполнения условий блокировки-разблокировки КГДП и переключения передач в МСПКПП формулируем критерии приоритета выполнения условий.

1. Если тяговые характеристики машины на соседних передачах в ГДТ имеют общие точки пересечения при сблокированной КГДП, то переключение между этими передачами в любом направлении следует выполнять при сблокированной КГДП. В этом случае выполнение условия переключения передач в МСПКПП является первичным перед выполнением условия разблокировки КГДП.

2. Если тяговые характеристики машины на соседних передачах в ГДТ имеют разрыв величины силы тяги, то переключение между этими передачами в любом направлении следует выполнять при разблокированной КГДП. В этом случае выполнение условия разблокировки КГДП является первичным перед выполнением условия переключения передач в МСПКПП.

#### Литература

1. Александров Е.Е. Выбор микропроцессорной техники для проектирования электронных блоков управления двигателем или трансмиссией транспортных средств / Е.Е. Александров, С.В. Стримовский // *Механіка та машинобудування*. – 2006. – №1. – С. 224–228.
2. Александров Е.Е. Перспективы применения гидромеханической трансмиссии с микропроцессорной системой управления на военных машинах / Е.Е. Александров, С.В. Стримовский // *Механіка та машинобудування*. – 2006. – №1. – С. 92–98.
3. Харитонов С.А. Автоматические коробки передач. Устройство, эксплуатация, диагностика и техническое обслуживание. – М.: Астель, 2003. – 479 с.
4. Eric N. Complete Guide Medium Armoured Vehicles 2009 / Н. Eric // *Armada*. – 2009. – №1. – 40 с.
5. Самородов В.Б. Колесные и гусеничные машины высокой проходимости. Бесступенчатые трансмиссии. Расчет и основы конструирования: [учеб. пособие для студ. высш. учеб. зав.] / Самородов В.Б., Волонцевич Д.О., Палашенко А.С.; под ред. Е.Е. Александрова. – Харьков: ХГПУ, 1997. – 185 с.
6. Красневский Л.Г. Управление гидромеханическими многоступенчатыми передачами мобильных машин / Л.Г. Красневский – Мн.: Наука и техника, 1990. – 256 с.
7. Александров Е.Е. Выбор информационных параметров для разработки системы автоматического управления гидромеханической трансмиссией транспортного средства / Е.Е. Александров, С.В. Стримовский // *Механіка та машинобудування*. – 2007. – №1. – С 27–35.

8. Волонцевич Д.О. Синтез гидродинамической трансмиссии транспортной машины с использованием модели двигателя внутреннего сгорания с системой топливоподачи / Д.О. Волонцевич, С.В. Стримовский // Вісник НТУ "ХПІ". Транспортне машинобудування. –2008. – № 46. – С.58–72.
9. Крайнык Л.В. Принципы адаптивного управления динамикой процессов переключения гидромеханических передач / Л.В. Крайнык, В.Б. Кондур // Вестник ЛПИ. Динамика, прочность и проектирование машин и приборов. – 1999. – №230. С. 49–51.
10. Стримовский С.В. Обеспечение качества переключения передач в гидромеханической трансмиссии колесной машины / С.В. Стримовский // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2007. – №4/4(28). – С. 38–41.
11. Александров Е.Е. Особенности построения диагностических функций в электронном блоке микропроцессорной системы управления гидромеханической трансмиссией на современных транспортных средствах / Е.Е. Александров, С.В. Стримовский // Вісник НТУ "ХПІ". Транспортне машинобудування. – 2007. – № 33. – С. 25–31.
12. Борисюк М.Д. Дослідження характеристик рухливості легкоброньованої колісної військової машини з гідромеханічною трансмісією / М.Д. Борисюк, В.О. Толстолуцький, С.В. Стримовський, В.М. Соловйов // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2010. – №4. – С. 102–108.
13. Army Technology. Propulsion, Transmission and Components: [Электронный ресурс] 18.01.11. Режим доступа к сайту: <http://army-technology.com>.
14. Александров С.С. Системы автоматизации транспортных средств: Пособие. – К.: ИСДО, 1994. – 212 с.

Bibliography (transliterated)

1. Aleksandrov E.E. Vyibor mikroprotsessornoy tehniki dlya proektirovaniya elektronnykh blokov upravleniya dvigatelem ili transmissiyey transportnykh sredstv E.E. Aleksandrov, S.V. Strimovskiy Mehanika ta mashinobuduvannya. – 2006. – #1. – p. 224–228.
2. Aleksandrov E.E. Perspektivy primeneniya gidromekhanicheskoy transmissii s mikroprotsessornoy sistemoy upravleniya na voennykh mashinakh E.E. Aleksandrov, S.V. Strimovskiy Mehanika ta mashinobuduvannya. – 2006. – #1. – p. 92–98.
3. Haritonov S.A. Avtomaticheskie korobki peredach. Ustroystvo, ekspluatatsiya, diagnostika i tehnikeskoe obsluzhivanie. – M.: Astel, 2003. – 479 p.
4. Eric H. Complete Guide Medium Armoured Vehicles 2009 H. Eric Armada.– 2009.–#1.– 40 p.
5. Samorodov V.B. Kolesnyie i gusenichnyie mashiny vyisokoy prohodimosti. Besstupenchatyie transmissii. Raschet i osnovnyie konstruirovaniya: [ucheb. posobie dlya stud. vyissh. ucheb. zav.] Samorodov V.B., Volontsevich D.O., Palashenko A.S.; pod red. E.E.\_Aleksandrova. – Harkov: HGPU, 1997. – 185 p.
6. Krasnevskiy L.G. Upravlenie gidromekhanicheskimi mnogostupenchatyimi peredachami mobilnykh mashin L.G. Krasnevskiy – Mn.: Nauka i tehnika, 1990. – 256 p.
7. Aleksandrov E.E. Vyibor informatsionnykh parametrov dlya razrabotki sistemyi avtomaticheskogo upravleniya gidromekhanicheskoy transmissiyey transportnogo sredstva E.E. Aleksandrov, S.V. Strimovskiy Mehanika ta mashinobuduvannya. – 2007. – #1. – p 27–35.
8. Volontsevich D.O. Sintez gidrodinamicheskoy transmissii transportnoy mashinyi s ispolzovani-em modeli dvigatelya vnutrennego sgoraniya s sistemoy toplivopodachi D.O. Volontsevich, S.V. Strimovskiy Visnik NTU "HPI". Transportne mashinobuduvannya. –2008. – # 46. – p.58–72.
9. Krainyik L.V. Printsipyi adaptivnogo upravleniya dinamikoy protsessov pereklyucheniya gidromekhanicheskikh peredach L.V. Krainyik, V.B. Kondur Vestnik LPI. Dinamika, prochnost i proektirovanie mashin i priborov. – 1999. – #230. p. 49–51.
10. Strimovskiy S.V. Obespechenie kachestva pereklyucheniya peredach v gidromekhanicheskoy transmissii kollesnoy mashinyi S.V. Strimovskiy Vostochno-evropeyskiy zhurnal peredovykh tehnologiy. – 2007. – #4/4(28). – p. 38–41.
11. Aleksandrov E.E. Osobennosti postroeniya diagnosticheskikh funktsiy v elektronnom bloke mikroprotsessornoy sistemyi upravleniya gidromekhanicheskoy transmissiyey na sovremennykh transportnykh sredstvakh E.E. Aleksandrov, S.V.\_Strimovskiy Visnik NTU "HPI". Transportne mashinobuduvannya. – 2007. – # 33. – p. 25–31.
12. Borisjuk M.D. Doslidzhennya harakteristik ruhливosti legkobronovanoy kolisnoyi viyskovoyi mashini z gidromekhanichnoyu transmissiyeyu M.D. Borisjuk, V.O. Tolstolutskiy, S.V. Strimovskiy, V.M. Solovyov Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennya. – 2010. – #4. – p. 102–108.
13. Army Technology. Propulsion, Transmission and Components: [Elektronnyy resurs] 18.01.11. Rezhim dostupa k saytu: <http://army-technology.com>.

14. Aleksandrov E.E. Sistemi avtomatiki transportnih zasobiv: Pidruchnik. – K.: ISDO, 1994. – 212 p.

УДК 629.113-585.52

Стрімовський С.В.

**МІКРОПРОЦЕСОРНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ГІДРОДИНАМІЧНИМИ  
ТРАНСМІСІЯМИ ЛЕГКОБРОНЬОВАНИХ КОЛІСНИХ ВІЙСЬКОВИХ МАШИН**

На основі досліджень мікропроцесорних систем автоматичного керування гідродинамічними трансмісіями, які застосовуються на легкоброньованих колісних військових машинах, визначено критерії вибору послідовності виконання умов блокування-разблокування комплексної гідродинамічної передачі та переключення передачі в механічній східчастій планетарній коробці передач. Наведено загальні питання побудови мікропроцесорних систем керування гідродинамічними трансмісіями транспортних колісних машин.

Strimovskiy S.V.

**MICROPROCESSOR AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS THE HYDRODYNAMICAL  
TRANSMISSION ON THE ARMOUR LIGHT WHEELED MILITARY VEHICLES**

On basis of research microprocessor automatic control systems hydrodynamical transmissions, which apply on armour light wheeled military vehicles, to be determine criteria of the choice execution sequence conditions blocking-unblocking combined hydrodynamical drive and gear shift in mechanical stepped planetary gear-box. To be adduce general questions building microprocessor control systems hydrodynamical transmissions on wheeled vehicles.

**ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАКОНА УПРАВЛЕНИЯ,  
РЕАЛИЗОВАННОГО В КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ  
ТАНКА «ОПЛОТ»**

При создании военной техники используются передовые инженерно-технические решения, вследствие чего разработанные на ее базе транспортные средства превосходят свои аналоги по эксплуатационным характеристикам. Отечественная военная техника является одним из лидеров мирового рынка боевых машин [1,2]. Для ее успешного продвижения на мировом рынке вооружения и военной техники необходима модернизация этой техники и создание на ее базе новых машин с повышенными тактико-техническими характеристиками. Одним из направлений модернизации военных машин является установка на них современных автоматизированных систем управления двигателем и трансмиссией [3-5]. Применение указанных систем позволяет значительно улучшить подвижность, управляемость машины и снизить утомляемость водителя [6,7].

В Харьковском конструкторском бюро по машиностроению имени А.А. Морозова (КП ХКБМ) с целью повышения показателей подвижности и управляемости боевых гусеничных машин разработана комплексная система управления движением (КСУД) танка, которая была успешно реализована на новом основном боевом танке «Оплот». Данная система представляет собой цифровую автоматизированную систему управления движением, обеспечивающую автоматизированное управление переключением передач и поворотом гусеничных машин с бортовым типом механизма поворота.

При прямолинейном движении танка КСУД позволяет производить переключение передач снизу-вверх и сверху – вниз в автоматическом режиме, когда бортовой вычислитель сам выбирает момент переключения, основываясь на данных полученных от системы датчиков; полуавтоматическом режиме, при котором водителем нажатием кнопки определяется наилучший момент переключения передач, и в ручном (экстренном) режиме, при котором электронная часть КСУД не участвует в процессе управления. Поворот БГМ обеспечивается за счет импульсного управления фрикционными устройствами (ФУ), что обеспечивает пропорциональное изменение радиуса поворота БГМ в зависимости от угла поворота штурвала.

Внедрение автоматизированной системы управления движением позволило сохранить преимущества механических коробок передач, таких как высокий КПД, надежность, простота обслуживания и относительно низкая производственная стоимость, а также обеспечило плавность поворота, что ранее было характерно только для трансмиссий с гидрообъемными передачами.

Данная разработка обладает всеми признаками перспективности применения ее в составе военной и гражданской гусеничной техники, однако на сегодняшний день существует проблема адаптации КСУД под конструкционные особенности различных транспортных машин. Эта проблема связана с необходимостью проведения комплекса испытаний опытного образца с целью определения оптимальных настроек аппаратуры, входящей в состав системы управления. Одним из решений данной проблемы служит проведение численных экспериментов, основанных на полной динамической математической модели шасси гусеничной машины, учитывающей особенности работы системы КСУД и электрогидромеханической системы управления элементами трансмиссии.

Таким образом, в данной работе представлено решение актуальной научно-технической задачи выбора рациональных характеристик закона управления, реализованного в комплексной системе управления движением танка на базе полной математической модели шасси БГМ, которое было реализовано при разработке танка «Оплот».

Целью исследования являлось определение рациональных характеристик закона управления, реализованного в комплексной системе управления движением танка «Оплот». Для достижения поставленной цели было необходимо: разработать полную динамическую модель шасси танка «Оплот»; провести полный анализ характеристик подвижности и маневренности; дать рекомендации по настройке бортовой аппаратуры системы управления.

При решении поставленных задач использовался авторский метод математического моделирования шасси гусеничных машин [8]. Он был дополнен эмпирической моделью изменения давления масла в бустерах ФУ, разработанной на основе данных стендовых испытаний коробки передач. С целью имитации работы электронной части системы управления, математическая модель также была дополнена алгоритмами закона управления танком в прямолинейном движении и повороте.

БГМ «Оплот» оснащена механічною трансмісією з гідравлічним управлінням і автоматизованою системою управління рухом. Кінематична схема трансмісії (один борт) приведена на рисунку 1.

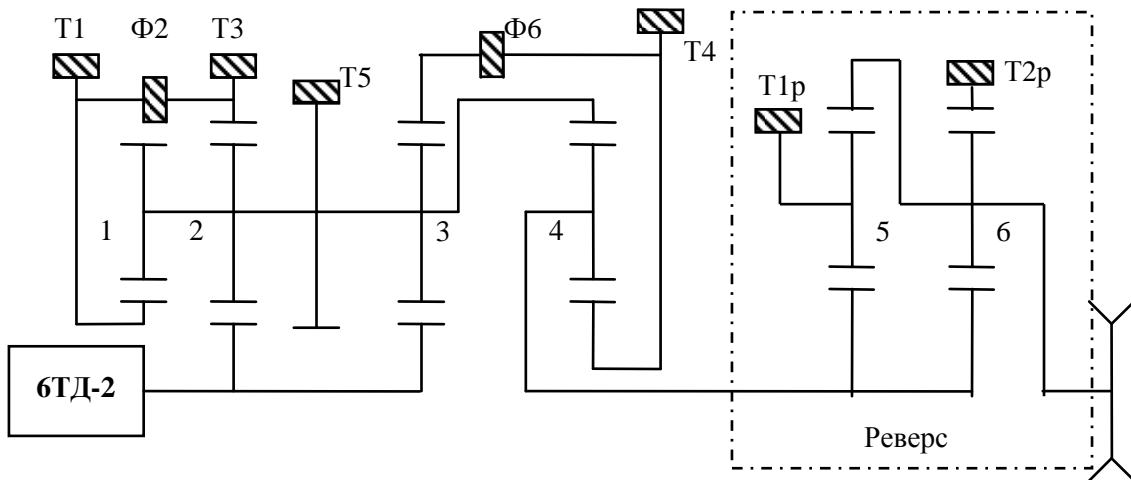


Рисунок 1 – Кінематична схема трансмісії  
 Т, Ф – фрикційні пристрої (тормоза і фрикції відповідно);  
 ОД – основний двигач (для БГМ «ОПЛОТ» – 6ТД-2);  
 Реверс – бортова коробка передач, забезпечуюча пряме і реверсивне рух БГМ;  
 1–6 – порядкові номери диференціальних рядів

В відповідності з кінематичною схемою (рис. 1), розроблена базова динамічна модель моторно-трансмісійної установки танка (рис. 2).

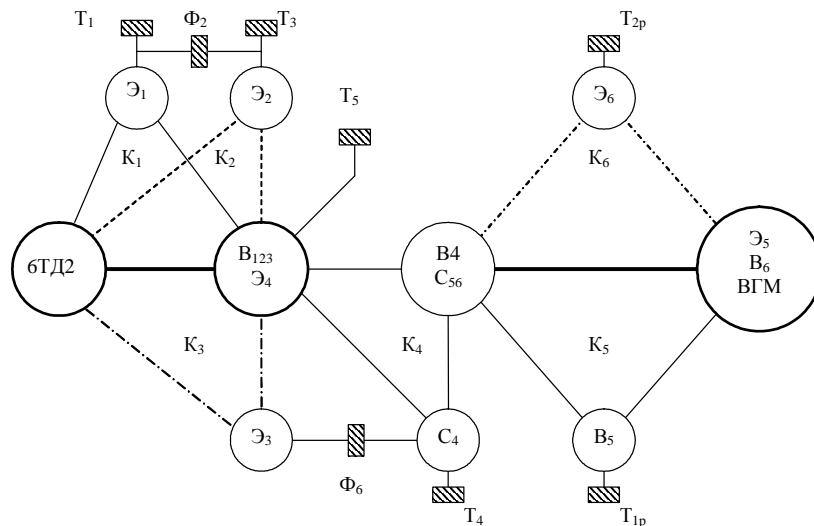


Рисунок 2 – Базова динамічна модель трансмісії танка (один борт)

На рис. 2 приведені маси наступних елементів трансмісії: 6ТД2 – основний двигач; Э1, Э2, Э3 – епіцикли 1, 2 і 3 планетарних рядів відповідно; В123Э4 – складне водило 1, 2 і 3 планетарних рядів і епіцикл 4 ряду; В4С56 – водило 4 планетарного ряду і сонця 5 і 6 рядів; Э6 – епіцикл 6 ряду; В5 – водило 5 планетарного ряду; Э5В6БГМ – епіцикл 5 планетарного ряду, водило 6 ряду і маса БГМ приведена до ведучому колесу.

Застосування сучасного методу моделювання МТУ [9] дозволило забезпечити незалежне управління фрикційними пристроями трансмісії танка. Що, в свою чергу, дозволило в повній

мере смоделировать уникальную систему управления движением танком, основанную на преобразовании импульсного сигнала управления в давление в бустерах ФУ трансмиссии танка.

Моделирование процесса изменения давления в бустерах ФУ основано на применении эмпирических функций, полученных путем аппроксимации экспериментальных, полученных в результате стендовых испытаний системы управления (АКТ № 52 от 15.02.07 г. «О снятии частотных характеристик на механизме управления КСУД»). В процессе испытаний были получены наиболее характерные зависимости давления масла в системе управления для всего спектра длительностей сигнала управления  $\tau$  (таблица 1). При этом было получено, что минимальная величина  $\tau$ , при которой давление в бустерах ФУ отлично от нуля, составило 34 мс. При  $\tau = 85$  мс и более давление достигает максимального значения и не изменяется во времени.

Таблица 1 – Распределение относительного давления в бустере блокировочного ФУ во времени за один такт работы системы управления

Время, с	Индекс набора точек									
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	Длительность сигнала управления $\tau$ , мс									
	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
0.000	0.000	0.006	0.032	0.057	0.140	0.260	0.350	0.550	0.752	0,951
0.005	0.000	0.006	0.032	0.057	0.140	0.260	0.350	0.550	0.843	1.000
0.010	0.000	0.020	0.053	0.079	0.183	0.316	0.415	0.640	0.865	1.000
0.015	0.000	0.028	0.073	0.093	0.334	0.519	0.578	0.730	0.933	1.000
0.020	0.017	0.048	0.135	0.191	0.441	0.593	0.740	0.843	0.955	1.000
0.025	0.042	0.148	0.299	0.302	0.484	0.630	0.838	0.910	0.978	1.000
0.030	0.092	0.304	0.381	0.435	0.570	0.704	0.805	0.933	1.000	1.000
0.035	0.158	0.403	0.422	0.547	0.635	0.704	0.773	0.888	1.000	1.000
0.040	0.275	0.460	0.484	0.636	0.699	0.778	0.773	0.843	1.000	1.000
0.045	0.250	0.546	0.587	0.733	0.785	0.815	0.870	0.865	1.000	1.000
0.050	0.175	0.517	0.722	0.822	0.871	0.908	0.935	0.933	1.000	1.000
0.055	0.117	0.347	0.792	0.903	0.936	0.963	0.968	0.955	1.000	1.000
0.060	0.075	0.204	0.751	0.947	1.000	1.000	1.000	0.978	1.000	1.000
0.065	0.058	0.119	0.443	0.769	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.070	0.033	0.091	0.258	0.413	0.936	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.075	0.017	0.062	0.155	0.257	0.441	0.778	1.000	1.000	1.000	1.000
0.080	0.008	0.034	0.094	0.168	0.312	0.445	0.838	1.000	1.000	1.000
0.085	0.000	0.020	0.065	0.124	0.226	0.371	0.480	0.933	1.000	1.000
0.090	0.000	0.006	0.053	0.079	0.183	0.316	0.415	0.685	0.933	1.000
0.095	0.000	0.006	0.032	0.057	0.162	0.279	0.383	0.573	0,832	1.000
0.100	0.000	0.006	0.032	0.057	0.140	0.260	0.350	0.550	0.752	0,951

\* – индекс набора точек определяет количество дискретных приращений величины длительности сигнала управления, при этом при значениях 0 ... 7 (0...35 мс) величины относительного давления принимаются равными 0, а при значениях 18 ... 20 (85 ... 100 мс) – равные максимальному значению.

Таблица 2 – Распределение относительного давления в бустере тормозного ФУ во времени за один такт работы системы управления

Время, с	Индекс набора точек									
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	Длительность сигнала управления, мс									
	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
0.000	0.000	0.006	0.0362	0.057	0.140	0.260	0.350	0.550	0,730	1.000
0.005	0.000	0.006	0.032	0.057	0.140	0.260	0.350	0.550	0.820	1.000

Продолжение таблицы 2

0.010	0.016	0.031	0.070	0.146	0.226	0.501	0.578	0.820	1.000	1.000
0.015	0.040	0.053	0.165	0.324	0.377	0.852	0.935	1.000	1.000	1.000
0.020	0.081	0.101	0.355	0.769	0.850	0.945	1.000	1.000	1.000	1.000
0.025	0.138	0.164	0.640	0.903	0.957	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.030	0.210	0.403	0.754	0.947	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.035	0.275	0.546	0.792	0.947	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.040	0.226	0.546	0.792	0.947	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.045	0.170	0.530	0.792	0.947	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.050	0.113	0.482	0.792	0.947	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.055	0.081	0.403	0.792	0.947	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.060	0.065	0.307	0.659	0.947	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.065	0.049	0.196	0.469	0.680	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.070	0.024	0.133	0.298	0.502	0.871	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.075	0.016	0.101	0.184	0.280	0.570	0.815	1.000	1.000	1.000	1.000
0.080	0.008	0.069	0.108	0.191	0.441	0.649	1.000	1.000	1.000	1.000
0.085	0.000	0.037	0.070	0.124	0.269	0.445	0.935	0.910	1.000	1.000
0.090	0.000	0.021	0.040	0.079	0.183	0.334	0.513	0.730	0.910	1.000
0.095	0.000	0.006	0.032	0.057	0.140	0.279	0.383	0.595	0.850	1.000
0.100	0.000	0.006	0.032	0.057	0.140	0.260	0.350	0.550	0.730	1.000

Таким образом, давление масла в бустерах ФУ определится как:

$$P = p \cdot P_{MAX} \text{ , [МПа],} \quad (1)$$

где  $P_{MAX}$  – максимальное давление в гидравлической части системы управления;  $p$  – относительное давление, определяемое как:

$$p = \frac{T_Y - T_i}{0.005} (y_{i+1,j} - y_{i,j}) + y_{i,j} \text{ ,} \quad (2)$$

где  $y_{i,j}$  – табличные данные (см. табл. 1.2 и 1.3);  $i$  – индекс строки таблицы 1 для блокировочных ФУ или таблицы 2 если ФУ тормозной;

$$i = \text{round} \left( \frac{T_Y}{0.005} - 0.51 \right) + 1 \text{ ,} \quad (3)$$

где  $\text{round}(x)$  – функция округляющая значение  $x$  до ближайшего целого числа;  $T_Y$  – текущее время внутри периода управления 0,1 с ( $T_Y = 0 \dots 0,1$ ):

$$T_Y = t - \frac{\text{round}(t \cdot 10 - 0.5)}{10} \text{ ,} \quad (4)$$

где  $t$  – текущее (астрономическое) время.

Величина индекса столбца  $j$  определяется как:

$$j = \text{round} \left( \frac{T_{i\_MAX}}{0.005} - 0.51 \right) + 1 \text{ ,} \quad (5)$$

где  $T_{i\_MAX}$  – длительность основного импульса управления, получаемая от аппаратуры системы КСУД.

Рациональные параметры закона управления, заложенного в аппаратуру комплексной системы управления движением танка, определялись на основании данных, полученных в процессе проведения широ-

кого спектра численних експериментів. Исследование проводилось для образца танка «Оплот», чьи характеристики совпадали с требованиями технического задания (табл. 3).

Таблица 3 – Параметры танка «Оплот»

Наименование	Размерность	Величина
<b>Общемашинные параметры</b>		
Масса	кг	50000
Длина опорной поверхности гусеницы	м	4,8
Ширина колеи	м	2,79
Радиус ведущего колеса	м	0,313
<b>Двигатель 6 ТД 2Е</b>		
Максимальная объектовая мощность	л.с.	998
Максимальная частота вращения вала двигателя	об/мин	2800
Минимальная эксплуатационная частота вращения коленвала двигателя	об/мин	1600

С целью наиболее полно исследовать влияние параметров системы управления на характеристики подвижности и маневренности машины были рассмотрены наиболее характерные режимы движения, такие как:

1. Разгон машины до максимальной скорости на твердом дорожном покрытии.
2. Экстренное торможение машины и торможение двигателем при различных условиях движения.
3. Вход в поворот и движение машины в повороте с фиксированным положением штурвала.

**Прямолинейное движение**

Исследование процесса разгона выявило, что его интенсивность напрямую зависит от контрольной величины, при которой происходит включение следующей передачи. Наиболее интенсивный разгон был получен при значении контрольной частоты вращения вала двигателя равной 2800 об/мин. Так же было определено, что трогание танка с места на бетонном покрытии необходимо осуществлять при частоте вращения вала двигателя не более 2400 об/мин, что исключает пробуксовку гусениц.

Исследование режимов экстренного торможения показало, что при начальной скорости 70 км/ч (40 км/ч) полная остановка танка происходит менее чем за 7 с (5 с), что удовлетворяет условиям ТЗ. В режиме торможения двигателем алгоритмы системы КСУД обеспечили безопасное переключение передач «сверху – вниз» без значительных скачков частоты вращения вала двигателя.

**Движение в повороте**

Исследование режимов криволинейного движения танка показало, что отсутствует реакция машины на поворот штурвала в диапазоне 0–30 % от его максимального хода. Кроме того, была выявлена заторможенная реакция танка на управляющее воздействие рис. 3. Данный эффект был вызван продолжительным нарастанием длительности сигнала управления  $Ti_{max}$  рис. 4.

В результате проведенного исследования было принято решения о внедрении следующих мероприятий, позволивших повысить качество характеристик управляемости танка (см. рис. 5):

1. Введение начального смещения сигнала управления на 30 мс, что позволило снизить зону нечувствительности штурвала и повысить точность управления.
2. Увеличение постоянной времени фильтра частоты вращения ведущих колес, что позволило дополнительно усилить сигнал управления в процессе входа в поворот.

Предложенные мероприятия позволили в значительной степени повысить качество управляемости танка «Оплот», однако они не обеспечили точного совпадения заданного штурвалом и действительного радиуса поворота. Достичь полого совпадения этих характеристик возможно путем кардинального изменений в аппаратной части системы управления.

Таковыми изменениями могут быть:

1. Значительное уменьшение дискретности формирования сигнала управления  $\Delta Ti_{max}$ .
2. Расширение зоны эффективной импульсной модуляции. Для чего необходимо обеспечить минимальный ток управления равный 30 % от максимального, а уровень тока при полном заполнении периода управления обеспечить равным 80 % от максимального.



Данные мероприятия позволят увеличить количество точек промежуточного давления управления, однако это так же приведет к значительному усложнению аппаратуры КСУД, увеличению ее стоимости, габаритов и, как следствие, снижению надежности.

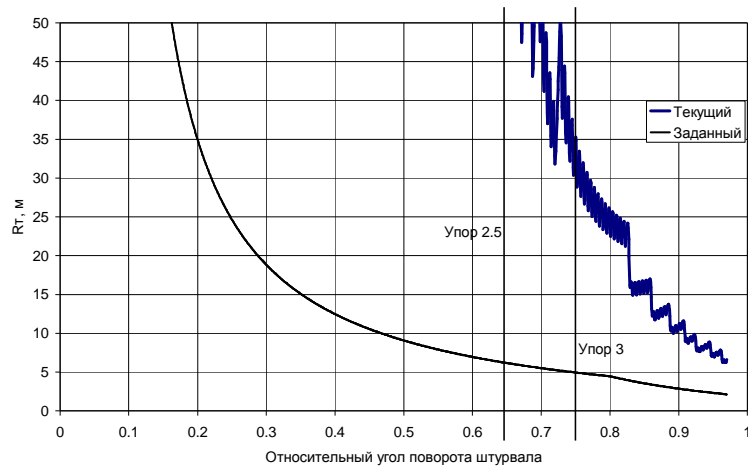


Рисунок 3 – Изменение радиуса поворота изделия при плавном повороте штурвала

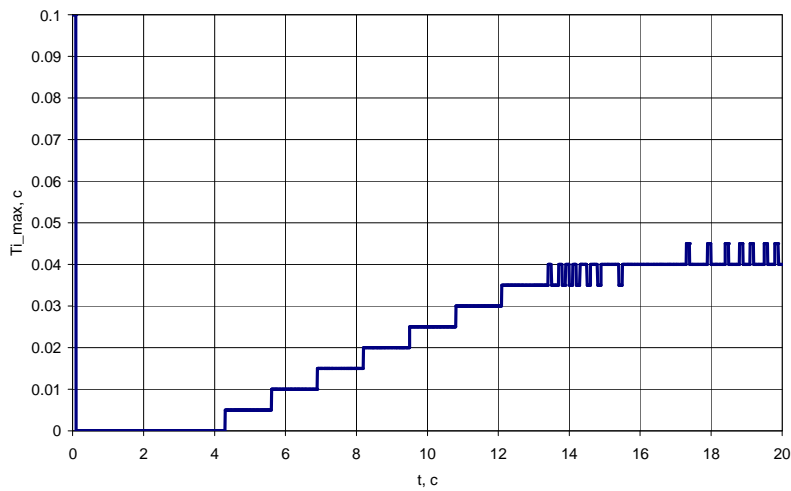


Рисунок 4 – Изменение времени управления ( $T_{i\_max}$ ) в процессе поворота

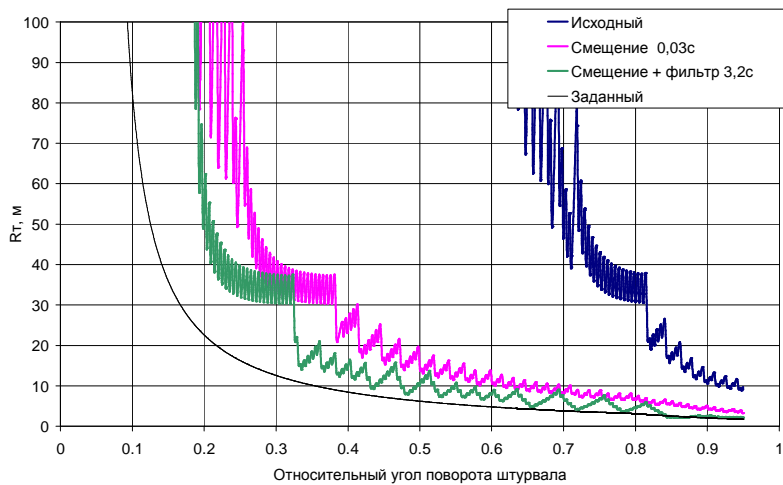


Рисунок 5 – Изменение радиуса поворота

В настоящее время система автоматизированного управления движением танка КСУД установлена на танке «Оплот», который успешно прошел государственные приемосдаточные испытания. Данная система продемонстрировала значительное превосходство в простоте управления над механогидравлическими системами управления, которые применялись ранее.

В процессе данного исследования были определены рациональные параметры закона управления, реализованного в аппаратуре КСУД. Таким образом, дальнейшее совершенствование автоматизированной системы управления не возможно без изменения аппаратной части данной системы. Рассмотренные ранее варианты модификации аппаратуры КСУД были отклонены из-за чрезмерной сложности исполнения, которая была бы не адекватной полученному положительному эффекту. Вследствие чего, авторами предложен ряд мероприятий по совершенствованию аппаратуры КСУД, который не требует значительного усложнения аппаратной части системы.

Предложение основано на анализе данных, полученных в результате математического моделирования, стендовых и ходовых испытаний прототипов танка «Оплот».

Исследование данных стендовых испытаний коробки передач танка «Оплот» в комплекте с системой КСУД показало, что изменение давления в 4-м тормозном фрикционе имеет трапецевидный характер (см. рис. 6 и 7) для длительностей управляющего сигнала более 40 мс.

Изменение давления масла в бустере 4-го ФУ колеблется в пределах от 5 атм до максимального значения (18 атм). Реакция гидравлической системы смещена на 34мс от момента поступления сигнал управления, что говорит о наличии значительной зоны не чувствительности в начале периода управления. При длительности сигнала управления 50 мс насыщение 4-го ФУ ( $P_4 = MAX$ ) наступает в течении 30 мс. При этом величина тока управления составляет 75 % от максимально возможного значения, что при максимальном токе 0,8 А составит 0,6 А. В соответствии с заводскими характеристиками пропорциональных гидравлических клапанов, использованных в составе КСУД, току 0,6 А соответствует давление  $12,5 \pm 1$  атм (при максимальном давлении 22 атм).

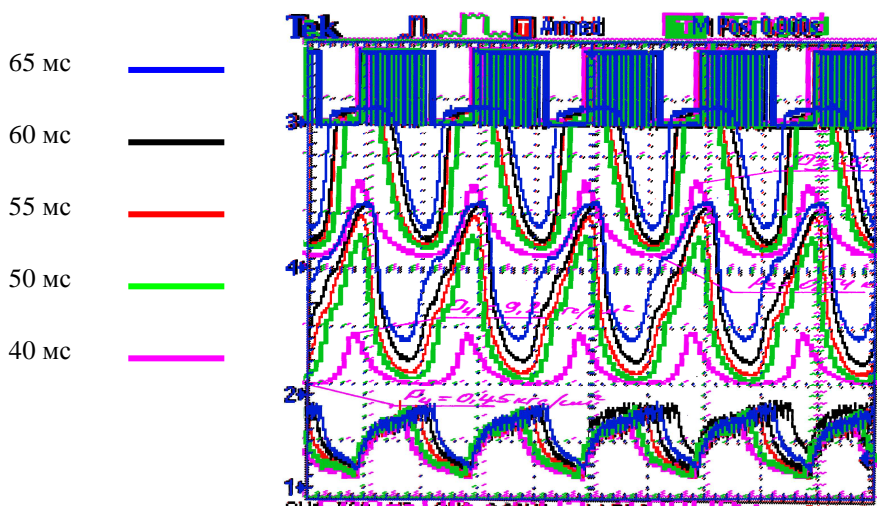


Рисунок 6 – Изменение давления в бустерах КП при различной длительности сигнала управления

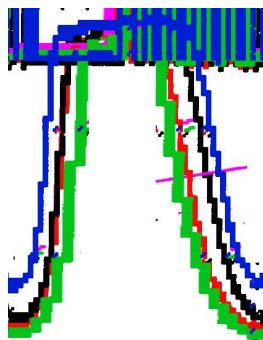


Рисунок 7 – Изменение давления в 4-ом тормозном фрикционе при различной длительности сигнала управления

Характер изменения давления в бустере блокировочного фрикциона 3 имеет аналогичный характер, однако за счет утечек масла в гидросистеме, свойственным блокировочным фрикционам, имеет плавный фронт нарастания давления.

Сравнительный анализ кривых для различных длительностей сигнала управления показал близкий к релейному характер изменения давления в бустерах фрикционных устройств КП. Кроме того, за счет инерционности гидроэлектрической системы, нарастание и спад давления оказалось растянутым во времени, что не позволяет давлению снизиться до 0 и соответственно разомкнуть фрикционные диски.

Таким образом, диапазон изменения сигнала управления, в котором наблюдается адекватная реакция гидравлической системы, находится в пределах 35–75 мс, что, принимая во внимание дискретность шага изменения сигнала управления 5 мс, обеспечивает 8 точек условно постоянного давления в бустерах КП (табл. 4).

Таблица 4 – Данные стендовых испытаний ФУ

Скважность, %	P3 мин	P3 макс	P4 мин	P4 макс
0	0.0	0.0	0.0	0.0
32	0.0	0.0	0.0	0.0
35	0.3	1.2	0.0	2.3
40	0.6	5.7	0.0	7.5
45	0.6	10.5	0.0	13.7
50	1.2	17.2	0.7	17.8
55	2.1	18.3	2.1	19.2
60	4.3	19.1	3.4	19.9
65	7.1	19.4	4.8	19.9
70	11.4	19.4	6.9	20.6
75	14.7	19.4	9.3	19.5
80	18.4	19.4	13.0	19.2
85	19.0	19.0	19.0	19.0
100	19.0	19.0	19.0	19.0

Подобный характер поведения гидроэлектрической системы приводит к тому, что электронной системе управления поворотом с обратной связью приходится компенсировать ее недостатки за счет аperiodических колебаний длительности сигнала управления (рис. 8 и 9). Что в свою очередь приводит к ограничению возможности точного управления изделием и незначительным колебаниям корпуса изделия с частотой 1–2 Гц (рис. 10).

Как показано ранее проведенное исследование (п. 2) при идеальных дорожных условиях (по условиям моделирования) добиться совпадения заданного радиуса поворота с действительным является невозможным.

Таким образом, наиболее перспективным направлением улучшения характеристик КСУД является увеличение количества точек условно постоянного давления масла в системе управления, что позволит уменьшить амплитуду колебания величины давления за счет более точного управления пропорциональными клапанами, а также позволит увеличить точность отработки машиной заданного водителем маневра.

С целью увеличения количества точек условно постоянного давления авторами рекомендуется внедрение модифицированного принципа формирования сигнала управления. Сущность данной модификации заключается в применении комбинированного метода управления с применением амплитудно-широкоимпульсной модуляции (АШИМ) сигнала управления, что обеспечит расширение диапазона изменения сигнала управления, в котором наблюдается адекватная реакция гидравлической системы, а также позволит построить более гибкую самонастраивающуюся систему управления.

С этой целью предлагается ввести в аппаратуру управления возможность ступенчатого наращивания амплитуды импульсов управления с фиксацией нулевого уровня.

На рисунке 11 приведен основной принцип формирования сигнала управления, который заключается в следующем:

1. Формируется нулевой сигнал, который соответствует электрическому сопротивлению  $R_1$  и обеспечивает ток на катушке пропорционального клапана равный максимально возможному току, при котором

давление масла на выходе клапана равно нулю. Нулевой уровень позволит компенсировать зону нечувствительности клапана по току.

2. На время соответствующее длительности сигнала управления, которое определяется в соответствии с алгоритмами системы управления, электрическое сопротивление цепи изменяется на значение  $R_2$ , соответствующее максимальному току на катушке пропорционального клапана. Сопротивление  $R_2$  может устанавливаться на промежуточный уровень, исключая диапазон токов, при котором давление на выходе клапана равно максимальному давлению в системе управления.

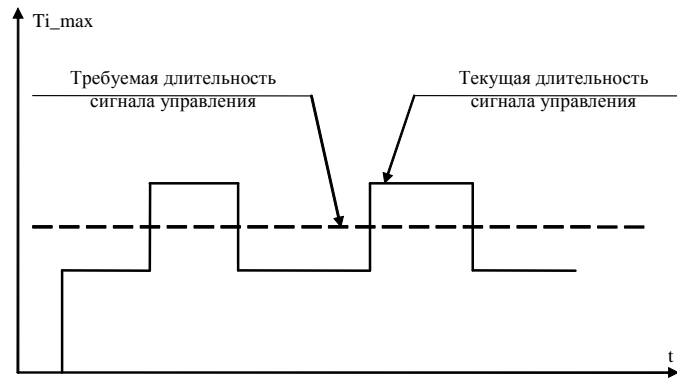


Рисунок 8 – Изменения длительности сигнала управления

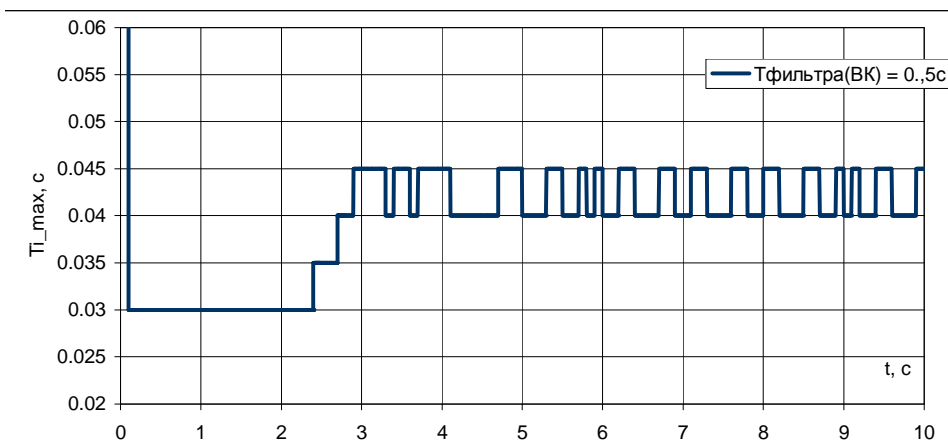


Рисунок 9 – Изменения длительности сигнала управления (по данным математического моделирования)

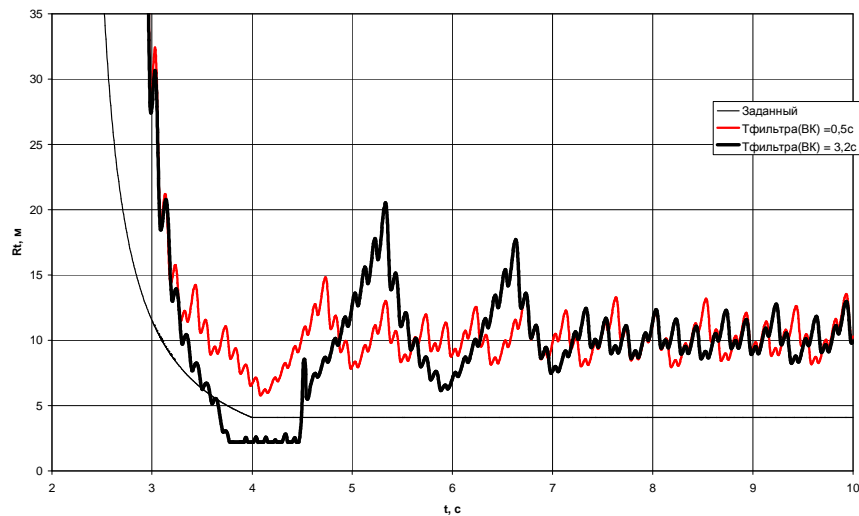


Рисунок 10 – Радиус поворота изделия при различных значениях коэффициента фильтрации частоты вращения ВК



Рисунок 11 – Принцип АШИМ

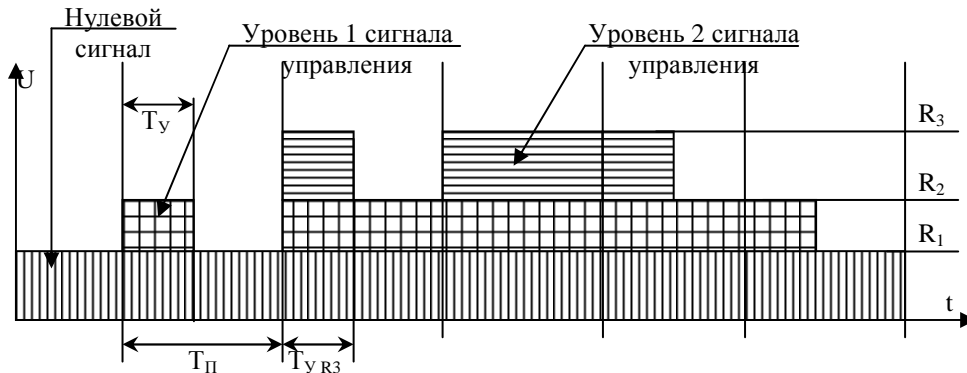


Рисунок 12 – Принцип многоступенчатого АШИМ

Для системы КСУД, входящей в состав танка «Оплот», предпочтителен будет вариант многоступенчатого изменения амплитуды сигнала управления. На рисунке 12 приведен принцип формирования сигнала управления с 3-х ступенчатым изменением амплитуды. Данный принцип может быть распространен на большее число ступеней, однако, принимая во внимание, большую инерционность танка «Оплот» увеличение количества ступеней до 4 и более нецелесообразно.

Алгоритм формирования многоступенчатого АШИМ импульса управления заключается в следующем:

1. Формируется нулевой сигнал.
2. На время соответствующее длительности сигнала управления ( $T_y$ ), которое определяется в соответствии с алгоритмами системы управления, электрическое сопротивление цепи изменяется на значение  $R_2$ .
3. В случае если величина  $T_y$  равна периоду выдачи управляющего сигнала  $T_П$ , уровень  $R_2$  принимается нулевым сигналом, при этом формируется сигнал управления с уровнем электрического сопротивления  $R_3$ . При этом длительность сигнала управления определяется как  $T_{y R3} = (T_y - T_П)$ .
4. Уменьшение амплитуды сигнала управления производится в обратном порядке.

Данный способ формирования сигнала управления позволит в 2 раза увеличить диапазон изменения сигнала управления, в котором наблюдается адекватная реакция гидравлической системы, что значительно увеличит точность управления. Кроме того, подобная модификация не потребует значительного усложнения аппаратуры КСУД.

### Выводы

1. Разработанная математическая модель шасси, электронной и гидромеханической систем управления танка позволяет анализировать характеристики подвижности и маневренности данной машины, что позволяет значительно сократить объем натурных испытаний.
2. Применение предложенного метода определения рациональных характеристик закона управления позволило произвести предварительную настройку параметров КСУД установленной на танке «Оплот» и обеспечить наилучшие характеристики подвижности и маневренности данной машины.
3. Предложенные мероприятия по совершенствованию аппаратуры КСУД позволят повысить точность выполнения маневров при незначительных изменениях аппаратуры.

## Литература

1. Харьковское конструкторское бюро по машиностроению им. А.А. Морозова / [Веретенников А.И., Рассказов И.И., Сидоров К.В., Решетило Е.И.]. – Харьков: КП ХКБМ, 2007. – 188 с.
2. Александров Е.Е. Быстроходные гусеничные и армейские колёсные машины: Краткая история развития. / Е.Е. Александров, В.В. Епифанов – Харьков: НТУ "ХПИ", 2001. – 375 с.
3. Смоляков В.А. Выбор и обоснование направлений создания микропроцессорных систем управления составными частями шасси легкобронированных колесных машин украинского производства / В.А. Смоляков, Ю.М. Гужва, А.А. Бадекин, А.А. Безлепкин, С.В. Стривовский // *Механіка та машинобудування*. – 2011. – №2. – С. 193–35.
4. Слюсаренко Ю.О., Галушка Ю.В. Решение задачи плавного управления поворотом боевой гусеничной машины, оборудованной ступенчатой реверсивной трансмиссией, путём синтеза и разработки цифровой электронной системы автоматизированного управления поворотом БГМ // *Механіка та машинобудування*. – 2003. – №2. – С. 123–138.
5. Слюсаренко Ю.О. Решение задачи пропорционального управления поворотом боевой легкобронированной гусеничной машины, оборудованной ступенчатой планетарной трансмиссией с дифференциальным приводом поворота, путём синтеза цифровой электронной системы автоматизированного управления поворотом // *Механіка та машинобудування*. – 2004. – №1. – С. 195–204.
6. Слюсаренко Ю.О., Александров Е.С., Смоляков В.А. Математическое моделирование криволинейного движения боевой гусеничной машины (БГМ), оборудованной системой автоматизированного управления поворотом // *Зб. наукових праць 12-ї міжнародної науково-методичної конференції «Технології XXI века»*. – Алушта, 2005. – С. 18–25.
7. Борисюк М.Д. Дослідження характеристик рухливості легкоброньованої колісної військової машини з гідромеханічною трансмісією / М.Д. Борисюк, В.О. Толстолуцький, С.В. Стривовський, В.М. Соловйов // *Інтегровані технології та енергозбереження*. – 2010. – №4. – С. 102–108.
8. Толстолуцький В.О. Аналіз і параметричний синтез механічних трансмісій сучасних швидкохідних гусеничних машин: Дис. канд. техн. наук: 05.22.02. – Харків, 2007., – 134 с.
9. Толстолуцький В.А. Аналіз процесу переключення передач «сверху – вниз» и выбор необходимых параметров блокировки переключения передач гусеничных машин специального назначения // *Праці / Таврійська державна агротехнічна академія – Вип. 7, том 1 – Мелітополь: ТДАТА, 2007. – С. 134–139.*

## Literatura

1. Harkovskoe konstruktorskoe byuro po mashinostroeniyu im. A.A. Morozova / [Veretennikov A.I., Rasskazov I.I., Sidorov K.V., Reshetilo E.I.]. – Harkov: KP HKBM, 2007. – 188 s.
2. Aleksandrov E.E. Byistrohodnyie gusenichnyie i armeyskie kolYosnyie mashinyi: Kratkaya istoriya raz-vitiya. / E.E. Aleksandrov, V.V. Epifanov – Harkov: NTU "HPI", 2001. – 375 s.
3. Smolyakov V.A. Vyibor i obosnovanie napravleniy sozdaniya mikroprotsessornyih sistem upravle-niya sostavnymi chastyami shassi legkobronirovannyih kolesnyih mashin ukrainskogo proizvodstva / V.A. Smolyakov, Yu.M. Guzha, A.A. Badekin, A.A. Bezlepkyn, S.V. Strimovskiy // *Mehanika ta mashinobuduvannya*. – 2011. – #2. – S. 193–35.
4. Slyusarenko Yu.O., Galushka Yu.V. Reshenie zadachi plynogo upravleniya povorotom boevoy guse-nichnoy mashinyi, oborudovannoy stupenchatoy reversivnoy transmissiey, putYom sinteza i razrabotki tsifrovoy elektronnoy sistemyi avtomatizirovannogo upravleniya povorotom BGM // *Mehanika ta mashi-nobuduvannya*. – 2003. – #2. – S. 123–138.
5. Slyusarenko Yu.O. Reshenie zadachi proportsiionalnogo upravleniya povorotom boevoy legkobronirovannoy gusenichnoy mashinyi, oborudovannoy stupenchatoy planetarnoy transmissiey s differentsi-alnyim privodom povorota, putYom sinteza tsifrovoy elektronnoy sistemyi avtomatizirovannogo upravleniya povorotom // *Mehanika ta mashinobuduvannya*. – 2004. – #1. – S. 195–204.
6. Slyusarenko Yu.O., Aleksandrov E.E., Smolyakov V.A. Matematicheskoe modelirovanie krivolineynogo dvizheniya boevoy gusenichnoy mashinyi (BGM), oborudovannoy sistemoy avtomatizirovannogo upravleniya povorotom // *Zb. naukovih prats 12-Yi mIzhnarodnoYi naukovometodichnoYi konferentsiYi «Tehno-logii XXI veka»*. – Alushta, 2005. – S. 18–25.
7. Borisyuk M.D. Doslidzhennya karakteristik ruhливosti legkobronovanoYi kolіsnoYi vіyskovoYi mashi-ni z gidromehanіchnoyu transmiSIEyu / M.D. Borisyuk, V.O. Tolstolutskiy, S.V. StrImovskiy, V.M. Solov-yov // *IntegrovanI tehnologIYi ta energozberezhennya*. – 2010. – #4. – S. 102–108.
8. Tolstolutskiy V.O. Analiz I parametrichniy sintez mehanіchnih transmiSiy suchasnih

shvidkohidnih gusenichnih mashin: Dis. kand. tehn. nauk: 05.22.02. – Harkiv, 2007., – 134 s.

9. Tolstolutskiy V.A. Analiz protsessa pereklyucheniya peredach «sverhu – vniz» i vyibor neobhodimiyh parametrov blokirovki pereklyucheniya peredach gusenichnyih mashin spetsialnogo naznacheniya // Pratsi / Tavriyska derzhavna agrotehnikhna akademiya – Vip. 7, tom 1 – Melitopol: TDATA, 2007. – S. 134–139.

Bibliography (transliterated)

1. Harkovskoe konstruktorskoe byuro po mashinostroeniyu im. A.A. Morozova [Veretennikov A.I., Rasskazov I.I., Sidorov K.V., Reshetilo E.I.]. –Harkov: KP HKBM, 2007. – 188 p.

2. Aleksandrov E.E. Byistrohodnyie gusenichnyie i armeyskie koiyosnyie mashinyi: Kratkaya istoriya razvitiya. E.E. Aleksandrov, V.V. Epifanov –Harkov: NTU "HPI", 2001. – 375 p.

3. Smolyakov V.A. Vyibor i obosnovanie napravleniy sozdaniya mikroprotsessornyih sistem upravleniya sostavnymi chastyami shassi legkobronirovannyih kolesnyih mashin ukrainskogo proizvodstva V.A. Smolyakov, Yu.M. Guzhva, A.A. Badekin, A.A. Bezlepkina, S.V. Strimovskiy Mehanika ta mashinobudu-vannya. – 2011. – #2. – p. 193–35.

4. Slyusarenko Yu.O., Galushka Yu.V. Reshenie zadachi plavnogo upravleniya povorotom boevoy gusenichnoy mashinyi, oborudovannoy stupenchatoy reversivnoy transmissiyei, putyom sinteza i razrabotki tsifrovoy elektronnoy sistemyi avtomatizirovannogo upravleniya povorotom BGM Mehanika ta mashinobuduvannya.– 2003.– #2. – p. 123–138.

5. Slyusarenko Yu.O. Reshenie zadachi proporsionalnogo upravleniya povorotom boevoy legkobronirovannoy gusenichnoy mashinyi, oborudovannoy stupenchatoy planetarnoy transmissiyei s differentsi-alnyim privodom povorota, putyom sinteza tsifrovoy elektronnoy sistemyi avtomatizirovannogo upravleniya povorotom Mehanika ta mashinobuduvannya. – 2004. – #1. – p. 195–204.

6. Slyusarenko Yu.O., Aleksandrov E.E., Smolyakov V.A. Matematicheskoe modelirovanie krivolineynogo dvizheniya boevoy gusenichnoy mashinyi (BGM), oborudovannoy sistemyi avtomatizirovannogo upravleniya povorotom Zb. naukovih prats 12-yi mizhnarodnoyi naukovometodichnoyi konferentsiyi «Tehnologii XXI veka». – Alushta, 2005. – p. 18–25.

7. Borisyuk M.D. Doslidzhennya harakteristik ruhlyvosti legkobronovanoyi kolisnoyi viyskovoyi mashini z gidromehanichnoyu transmisieyu M.D. Borisyuk, V.O. Tolstolutskiy, S.V. Strimovskiy, V.M. Solovyov Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennya. – 2010. – #4. – p. 102–108.

8. Tolstolutskiy V.O. Analiz i parametrichniy sintez mehanichnih transmisiiy suchasnih shvidkohidnih gusenichnih mashin: Dis. kand. tehn. nauk: 05.22.02. – Harkiv, 2007., – 134 p.

9. Tolstolutskiy V.A. Analiz protsessa pereklyucheniya peredach «sverhu – vniz» i vyibor neobhodimiyh parametrov blokirovki pereklyucheniya peredach gusenichnyih mashin spetsialnogo naznacheniya Pratsi Tavriyska derzhavna agrotehnikhna akademiya – Vip. 7, tom 1 – Melitopol: TDATA, 2007. – p. 134–139.

УДК 621.83

Толстолицький В.О., Стрімівський С.В.

**ВИБІР РАЦІОНАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАКОНУ КЕРУВАННЯ, РЕАЛІЗОВАНОГО В КОМПЛЕКСНІЙ СИСТЕМІ КЕРУВАННЯ РУХОМ ТАНКА «ОПЛОТ»**

Розроблено математичну модель шасі, електронної та гідромеханічної систем керування танка «Оплот», що дозволяє аналізувати характеристики рухливості та маневреності даної машини. Запропоновано метод визначення раціональних характеристик закону керування, що дозволило зробити попереднє настроювання параметрів КСУД установленої на танку «Оплот» і забезпечити найкращі характеристики рухливості й маневреності даної машини. Запропоновано заходи щодо вдосконалювання апаратур КСУД, які дозволять підвищити точність виконання маневрів при не значних змінах апаратур.

Tolstolutsky V.A., Srimovskyy S.V.

**RATIONAL FEATURES SELECTION OF THE CONTROL ALGORITHM, THAT WAS REALIZED AT COMPLEX MOVEMENT CONTROL SYSTEM OF THE TANK "OPLOT"**

Mathematical model of the carriage, electronic and hydromechanic control system of tank "Oplot" was designed. It made it possible to analyse the features to mobility and maneuverability of given vehicle. Rational features determination method for the algorithms of control system was offered. It allowed to produce preliminary tuning of initial parameters of KSUD system installed on tank "Oplot", that provide the best features of mobility and maneuverability to given vehicle. Improvement actions were offered for KSUD equipment, that will allow to raise accuracy of the manoeuvre with not significant changes of the electronic equipment.



УДК 66.045.01:664.1

Товажнянский Л.Л., Демирский А.В., Хавин Г.Л.

## К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВЕЛИЧИНЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПЛАСТИНЧАТЫХ ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ САХАРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**Вступление.** Применение теплообменников в промышленных процессах всегда сопровождается загрязнением теплопередающей поверхности слоем отложений. Эта проблема приобрела не только технический характер, связанный с ухудшением передачи тепла и повышению потерь давления, приводящим к нарушению технологического режима, но и экономический характер. Последнее обстоятельство связано с увеличением затрат на энергоносители и стоимость работы загрязненного аппарата. Массовое внедрение в промышленность и коммунальное теплоснабжение пластинчатых теплообменников потребовало создания математических моделей и методов проектирования пластинчатых аппаратов с учетом образования отложений. Изучение процессов теплопередачи при загрязнении поверхности и развитие методов расчета являются актуальными научными задачами, имеющими важное практическое значение в промышленности.

**Состояние проблемы и формулировка задачи.** Прогнозирование изменения толщины отложений на теплообменной поверхности и, как следствие, изменение термического сопротивления, дает возможность повысить точность теплового и гидравлического расчета. Сложность создания надежных методов расчета заключается не только в существовании различных механизмов образования отложений [1], но и в многообразии факторов, влияющих на процесс появления депозитов при реализации того или иного механизма образования отложений. Большинство исследований в этом направлении носят экспериментальный характер с последующим обобщением полученных результатов.

Одним из наиболее ярких промышленных приложений, в которых самую существенную роль играет появление загрязнений поверхности теплопередачи, является сахарная промышленность, где тепломаассообменные процессы играют основную роль. Необходимость модернизации и замены кожухотрубчатых подогревателей соков на сахарных заводах пластинчатыми теплообменниками была достаточно полно обоснована как технически, так и экономически в достаточном количестве публикаций. В работах [2,3] была сформулирована задача модернизации подогревателей сахарного сока, учитывающая экономические аспекты выбора теплообменных аппаратов. Главной идеей в такой постановке был расчет теплообменника или системы теплообменников по приведенным затратам. Пластинчатые теплообменники в большинстве случаев меньше подвержены загрязнению, чем другие виды, например, кожухотрубчатые.

В отечественной литературе имеется достаточное количество прикладных исследований, посвященных проблеме загрязнения теплообменных поверхностей на заводах сахарной промышленности [4–7]. Практически все имеющиеся данные относятся к загрязнению кожухотрубчатых аппаратов. При изучении вопроса о появлении отложений в пластинчатых подогревателях, несомненно, необходимо опираться на имеющиеся физические закономерности по загрязнению кожухотрубчатых аппаратов. К тому же опыт такой аналогии уже имеется и применяется на практике [8].

**Постановка задачи и цель работы.** Слой загрязнения на теплообменной поверхности проявляется в виде двух факторов. Во-первых, рост термического сопротивления передачи тепла через стенку пластины, что приводит к снижению тепловых характеристик; и, во-вторых, уменьшение эквивалентного диаметра и изменение значения коэффициента гидравлического трения приводит к росту потерь давления теплоносителей при протекании через пакет пластин. Цель настоящей работы – физически обоснованный учет влияния загрязнений теплообменной поверхности на стадии проектирования пластинчатых теплообменников и разработка практических рекомендаций для расчета пластинчатых подогревателей сахарного сока.

**Теоретические положения.** При проектировании теплообменника по выполнению условий теплопередачи (по выполнению заданного коэффициента теплопередачи) обычно задают дополнительную поверхность теплообмена, которая с течением времени компенсирует появление загрязнений теплопередающей поверхности. Однако такой подход приводит к изначальному занижению скорости теплоносителей в каналах аппарата, что, в свою очередь, способствует более интенсивному росту отложений.

Соотношение [4], основанное на предположении, что термическое сопротивление накипи  $R_f = \Psi \cdot g \cdot t$ , ( $\text{м}^2 \cdot \text{К}$ )/Вт, пропорционально количеству тепла, для текущего коэффициента теплопередачи  $K_t$ , имеет вид

$$K_t = K_{cl} \cdot e^{-R_f \cdot K_{cl}}; \quad (1)$$

$$R_f = \Psi \cdot g \cdot t, \quad (2)$$

где  $K_{cl}$  – коэффициент теплопередачи для чистой поверхности, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\Psi$  – термический коэффициент накипеобразования для подогревателей [9], м<sup>3</sup>·К/(Вт·кг), который характеризует прирост термического сопротивления  $R_f$  в сутки, отнесенный к 1 кг сахарного сока, проходящего за 1 час через 1 м<sup>2</sup>;  $g$  – массовое термическое напряжение нагрева стенки, кг·м/(м<sup>2</sup>·ч);  $t$  – время.

Величина  $\Psi$ , согласно данным [9] полученным из экспериментальных данных для промышленных кожухотрубчатых подогревателей, может быть рассчитана по формуле

$$\Psi = C \cdot w^{-2,2}, \quad (3)$$

где значение коэффициента  $C$  определяется качеством сахарного сока и равно: для диффузионного сока –  $40 \cdot 10^{-10}$ , для сока I сатурации –  $12,6 \cdot 10^{-10}$ , перед выпарной установкой –  $3,9 \cdot 10^{-10}$ .

Массовое термическое напряжение нагрева стенки можно рассчитать из соотношения

$$g = w \cdot F_{ch} \cdot 3600 \cdot \rho \cdot l_{pr} / F_h, \quad (4)$$

где  $w$  – скорость сока, м/с;  $F_{ch}$  – общая площадь сечения, по которому протекает сок, м<sup>2</sup>;  $\rho$  – плотность сахарного сока, кг/м<sup>3</sup>;  $l_{pr}$  – приведенная длина пластины, м;  $F_h$  – поверхность нагрева сока, м<sup>2</sup>.

Таким образом, используя соотношения (1)–(4) можно рассчитать уменьшение коэффициента теплопередачи теплообменника в течение заданного времени работы. В работе [8] для компактных теплообменников рекомендуется величина дополнительной поверхности не более 10% от чистой расчетной поверхности. Если записать коэффициент термического сопротивления  $R_f = \delta_f / \lambda_f$ , где  $\delta_f$  – текущая толщина отложений, м;  $\lambda_f$  – коэффициент теплопроводности слоя отложений, Вт/(м·К), для этого случая, то критерий можно записать в виде

$$R_f \leq 0,1 / K_{cl}, \quad (5)$$

где  $K_{cl}$  – расчетный коэффициент теплопередачи для чистой поверхности.

Для критерия по потерям давления считается, что загрязнение равномерно распределено по поверхности пластин и имеет одинаковую толщину. Тогда принимается, что толщина слоя отложений уменьшает величину эквивалентного диаметра  $d_e$ , примерно равного удвоенной высоте гофрировки пластины –  $g_{ар}$ , на удвоенную величину  $\delta_f$ . Исходя из величины дополнительной поверхности не более 10 %, для компактных теплообменников с величиной гидравлического диаметра не более 5 мм можно записать

$$4 \cdot \delta_f / d_e \leq 0,1. \quad (6)$$

Для труб и каналов, близких к круглым коэффициент 4 заменяется на 2. Соотношение (6) для термического сопротивления загрязнения  $R_f$  примет вид

$$R_f \leq \frac{0,1 \cdot d_e}{4 \cdot \lambda_f}. \quad (7)$$

Для проектирования пластинчатых теплообменников рекомендуется следующий порядок определения расчетной величины сопротивления загрязнения  $R_f$ . Вначале рассчитываются величины  $R_f$  из соотношений (5) и (7), далее из них выбирается наименьшая, которая и должна впоследствии использоваться при проектировании пластинчатого теплообменника. Такой подход будет оценивать величину

$R_f$  для приращения потерь давления около 20 %, и, следовательно, в большинстве случаев обеспечит работу насосного оборудования. Предложенный инженерный подход не учитывает асимптотическую природу  $R_f$  во времени, которая имеет место во многих промышленных приложениях и зависимость величины сопротивления загрязнений от скорости и давления потока. Кроме того, назначение предельного значения термического сопротивления загрязнению не дает возможности определить время до остановки аппарата для чистки теплопередающей поверхности.

**Результаты и обсуждения.** В качестве примера, демонстрирующего достоверность предложенных методов, рассмотрим расчет пластинчатого подогревателя сахарного сока перед выпариванием, с использованием в качестве греющего теплоносителя конденсата. Исходные данные для расчета принимались следующими: расход сахарного сока –  $G_c = 350000$  кг/ч, входная температура сока –  $t_{11} = 112$  °С, воды –  $t_{21} = 88$  °С, выходная температура сока –  $t_{12} = 92$  °С, воды –  $t_{22} = 93,3$  °С. Среднее значение теплофизических характеристик сахарно сока для заданного температурного режима: плотность –  $\rho = 1035$  кг/м<sup>3</sup>, удельная теплоемкость – 3966 Дж/(кг·К); теплопроводность  $\lambda = 0,6264$  Вт/(м·К); динамическая вязкость  $\mu = 0,7174 \cdot 10^{-2}$  Па·с. Потери давления по стороне сока принимались 50 кПа.

Примем к установке теплообменник марки M15M производства фирмы «Альфа Лаваль», с геометрическими параметрами пластин: высота гофрировки – 4 мм; ширина пластины – 450 мм; эквивалентный диаметр – 8 мм; площадь теплопередающей поверхности пластины – 0,62 м<sup>2</sup>; площадь поперечного сечения канала –  $1,8 \cdot 10^{-3}$  м<sup>2</sup>; приведенная длина – 1,378 м.

Было выбрано 4 аппарата симметричной компоновкой пластин с числом каналов  $n_{ch}$  по стороне сахарного сока – 54, 60, 67, 75. Результаты расчетов для теплообменников по программе CAS 200 представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты расчета коэффициента теплопередачи и потерь давления для теплообменников с различной площадью теплопередающей поверхности

Число каналов	Площадь теплопередачи, м <sup>2</sup>	Коэффициент теплопередачи $K_{cl}$ (чистый), Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	Коэффициент теплопередачи $K_{serv}$ (с запасом), Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	Запас, %	Потери давления, кПа
54	33,48	3698	3216	14,8	48,52
60	37,20	3451	2882	19,8	41,04
67	41,54	3213	2576	24,7	34,65
75	46,50	2985	2302	29,6	29,36

По значению запаса по табл. 1 можно пересчитать эквивалентное значение сопротивления загрязнения  $R_f$ , используя известное соотношение

$$R_f = \frac{\delta_f}{\lambda_f} = \frac{1}{K_{cl}} - \frac{1}{K_{serv}} \quad (8)$$

Подогреватель сахарного сока работает без остановки в течение всего сезона сахароварения (около 120 дней) и подлежит чистке по окончании этого сезона. Расчет сопротивления загрязнения  $R_f$  из соотношений (2), (5) и (8) представлены в табл. 2, здесь и далее принято значение коэффициента теплопроводности загрязнения равным  $\lambda = 1,0$  Вт/(м·К). Значение термического сопротивления по формуле (7) равно  $20 \cdot 10^{-5}$  м<sup>2</sup>·К/Вт.

Таблица 2 – Значение термического сопротивления загрязнению, рассчитанное различными методами

Число каналов	$R_f \cdot 10^5$ по формуле (2)	$R_f \cdot 10^5$ по формуле (5)	$R_f \cdot 10^5$ по формуле (8)
54	3,142	2,708	4,016
60	3,550	2,898	5,721
67	4,037	3,112	7,696
75	4,666	3,350	9,940

Таким образом, соотношение (2) дает завышенное значение  $R_f$ , чем по рекомендуемой инженерной формуле (5) [8], и меньшее, чем расчетное по данным табл. 1. Отсюда можно сделать вывод о том, что выбор теплообменника с 54 каналами по стороне сока, по всей видимости, является наиболее предпочтительным. Кроме того, такой аппарат имеет наибольшую скорость в каналах – 0,95 м/с. Соотношение (2) является линейным во времени и нелинейно зависит от скорости теплоносителя в каналах и с увеличением скорости термическое сопротивление  $R_f$  уменьшается (рис. 1), несмотря на увеличение массового термического напряжения нагрева стенки  $g$ .

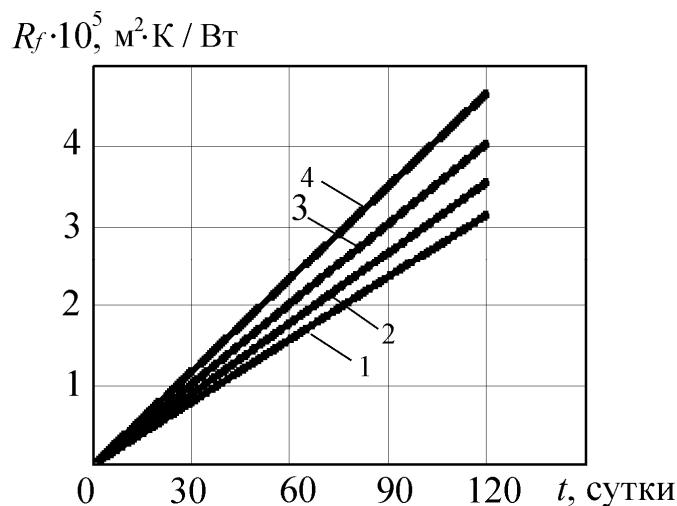


Рисунок 1 – Зависимость термического сопротивления от времени работы для теплообменников с различным числом каналов: 1 – 54; 2 – 60; 3 – 67; 4 – 75

Рассчитанные из соотношения (1) значения коэффициента теплопередачи для работы теплообменников в течение 120 суток, запас относительно чистой поверхности, и толщина отложений  $\delta_f$  представлены в табл. 3.

Таблица 3 – Результаты расчета коэффициента теплопередачи и толщины отложений для теплообменников с различной площадью теплопередающей поверхности по соотношению (1)

Число каналов	Коэффициент теплопередачи $K_{cl}$ (чистый), Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	Расчетный коэффициент теплопередачи $K_f$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	Запас, %	$\delta_f \cdot 10^5$ , м	Скорость в каналах, м/с
54	3693	3288	12,3	3,14	0,97
60	3451	3053	13,0	3,55	0,87
67	3213	2822	13,9	4,04	0,78
75	2985	2597	14,9	4,67	0,70

**Вывод.** Предложенная методика проектирования пластинчатого теплообменника с учетом загрязнений в процессе работы позволяет достаточно точно рассчитывать изменение коэффициента теплопередачи и определять время работы аппарата до его остановки на очистку. Приведенные соотношения также хорошо согласуются с известным инженерным подходом, рекомендуемым к использованию при проектировании пластинчатых теплообменников. При проектировании пластинчатых подогревателей в сахарной промышленности, можно рекомендовать рассчитывать снижение коэффициента теплопередачи, в течение срока эксплуатации, используя соотношение (1).

Литература

1. Пластинчатые теплообменники в промышленности /Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Г.Л. Ха-

вин, О.П. Арсеньева. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2004.– 232 с.

2. Модернизация системы последовательно установленных подогревателей сахарного сока / Арсеньева О.П., Бабак Т.Г., Демирский А.В., Хавин Г.Л. // Наукові праці ОНАХТ.– Одеса: 2011, Вип.39.– Том.2.– С. 151–155.

3. Арсеньева О.П., Демирский А.В., Хавин Г.Л. Оптимизация пластинчатого теплообменника // Пробл. машиностроения.– 2011.– т.14, №1.– С. 23–31.

4. Сагань И.И., Разладин Ю.С. Борьба с накипеобразованием в теплообменниках.– Киев: Техника, 1986.– 133 с.

5. Накипеобразование и пути его снижения в сахарной промышленности / А.Т. Богорош, И.М. Федоткин, И.С. Гулый. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1983.– 192 с.

6. Богорош А.Т. Возможности управления свойствами кристаллических отложений.– К.: Вища школа, 1987.– 247 с.

7. Богорош А.Т. Вопросы накипеобразования.– К.: Вища школа, 1987.– 179 с.

8. Hesselgraves J.E. An approach to fouling allowances in the design of compact heat exchangers // Applied Thermal Engineering, 2002. – 22. – P. 755–762.

9. Исследование влияния скорости движения сока на коэффициент накипеобразования в подогревателях сахарной промышленности / Тobileвич Н.Ю., Сагань И.И., Горяжа В.Т., Князев А.А. // Пищевая промышленность.– Киев, 1965. – С. 132–135.

#### Bibliography (transliterated)

1. Plastinchatyie teploobmenniki v promyishlennosti L.L. Tovazhnyanskiy, P.A. Kapustenko, G.L. Havin, O.P. Arseneva. – Harkov: NTU «HPI», 2004.– 232 p.

2. Modernizatsiya sistemyi posledovatelno ustanovlennyih podogrevateley saharnogo soka Arseneva O.P., Babak T.G., Demirskiy A.V., Havin G.L. Naukovi pratsi ONAHT.– Odesa: 2011, Vip.39.– Том.2.– p. 151–155.

3. Arseneva O.P., Demirskiy A.V., Havin G.L. Optimizatsiya plastinchatogo teploobmennika Probl. mashinostroeniya.– 2011.– t.14, #1.– p. 23–31.

4. Sagan I.I., Razladin Yu.S. Borba s nakipeobrazovaniem v teploobmennikah.– Kiev: Tehnika, 1986.– 133 p.

5. Nakipeobrazovanie i puti ego snizheniya v saharnoy promyishlennosti A.T. Bogorosh, I.M. Fedotkin, I.S. Gulyiy. – M.: Legkaya i pischevaya prom-st, 1983.– 192 p.

6. Bogorosh A.T. Vozmozhnosti upravleniya svoystvami kristallicheskih otlozheniy.– K.: Vischa shkola, 1987.– 247 p.

7. Bogorosh A.T. Voprosyi nakipeobrazovaniya.– K.: Vischa shkola, 1987.– 179 p.

8. Hesselgraves J.E. An approach to fouling allowances in the design of compact heat exchangers Applied Thermal Engineering, 2002. – 22. – P. 755–762.

9. Issledovanie vliyaniya skorosti dvizheniya soka na koeffitsient nakipeobrazovaniya v podogrevatelyah saharnoy promyishlennosti Tobilevich N.Yu., Sagan I.I., Garyazha V.T., Knyazev A.A. Pischevaya promyishlennost.– Kiev, 1965. – p. 132–135.

Работа выполнена при финансовой поддержке Европейского сообщества в рамках проекта EU project FP7-SME-2010-1-262205-INHEAT.

УДК 66.045.01:664.1

Товажнянський Л.Л., Демірський О.В., Хавін Г.Л.

### ДО ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИН ЗАБРУДНЕННЯ ПЛАСТИНЧАТИХ ПІДГРІВАЧІВ ЦУКРОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Розглянуто питання проектування пластинчатого теплообмінника з урахуванням появи забруднень поверхні теплопередачі. Запропоновано використання лінійного співвідношення для зростання відкла-

день у часі. Вірогідність залежностей продемонстровано для розрахунків пластинчатого підігрівача цукрового соку. Надано порівняння одержаних результатів з розрахунками по інженерній методиці. Зроблено висновок про коректне використання запропонованих розрахункових залежностей для прогнозування роботи пластинчатого теплообмінника.

Tovazhnyanskyy L., Demirsky A., Khavin G.

**THE FOILING VALUE DEFINED FOR PLATE EXCHANGERS OF SUGAR INDUSTRY**

The problem of plate heat exchanger design with fouling of heat surface is considered.

The linear correlation for deposit growing in the time is proposed. The reliability of correlations is demonstrated for sugar thing juice plate heaters calculate. The comparison of received results with engineering methodology calculations is presented. The resume of correctness of presented calculation correlation using for prediction of operate plate heat exchanger is made.

Товажнянский Л.Л., Перцев Л.П., Данилов Ю.Б., Морозов А.Е.

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ НОВОГО КОНТАКТНОГО ПАРОГЕНЕРАТОРА  
ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛА ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ**

Укрепление экономики страны неотделимо от ускорения темпов реализации результатов, достигнутых отечественным и мировым научно-техническим прогрессом, направленных на энерго- и ресурсосбережение, в формате экологической безопасности. «Акценты в инновационном развитии смещаются к полюсу экологической целесообразности», – отметил на международной конференции «Казантип – ЭКО – 2012» академик НАНУ В.П. Семиноженко» [1].

Сказанное убедительно подтверждается результатами промышленной практики и реализацией инновационных решений, проводимых в соответствии с Государственными программами ресурсосбережения и повышения энергоэффективности производств, что, в конечном счете, положительно сказывается и на улучшении экологических условий. В плане использования вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) весьма эффективными оказались аппараты погружного горения (АПГ).

Коэффициент использования теплоты сгорания топлива (в действующих установках АПГ) при продувке горячих газов через объем жидкости (с утилизацией отходящего тепла) достигает 95÷97 %. По имеющимся исследованиям общая картина использования метода контактного нагрева и испарения воды и растворов выглядит следующим образом.

Отходящие дымовые газы, образуемые при сжигании топлива, барботируя в контактном устройстве сквозь жидкость, разбиваются на огромное число газовых пузырьков, формирующих подвижную межфазную поверхность тепло- и массообмена, составляющую (в совокупности) до 1 000 кв м в одном кубическом метре барботажного слоя [2].

Установлено [4, 2, 5, 6], что интенсивное испарение осуществляется за счет активного насыщения горячих газовых пузырьков парами воды и их быстрой конденсации на обновленной внутренней поверхности (при напряженном внутреннем воспроизводстве этих процессов). Испарение происходит при равновесной температуре (температуре мокрого термометра), которая для воды, при атмосферном давлении, на 15÷16 °С ниже температуры кипения [2].

Газовые пузырьки в процессе подъема видоизменяются и укрупняются, а образовавшаяся парогазовая смесь удаляется, имея температуру на 1÷2 °С выше температуры ее кипения [2].

Такие аппараты широко используются при обезвреживании и очистке промышленных сточных вод и выпаривании растворов, содержащих минеральные соли и органические соединения. Это объясняется тем, что сточные воды затруднительно выпаривать в традиционных трубчатых или иных поверхностных аппаратах, так как наличие солей жесткости, шламов и различных механических взвесей приводит к спонтанному образованию инкрустаций греющих поверхностей, а, следовательно, к снижению передачи тепла. Включение АПГ в состав оборудования многих технологических схем позволяет замкнуть технологический цикл и решить важные производственные задачи, например:

- сократить затраты на нагрев и выпаривание технологических жидкостей;
- добиться более полной очистки сбросов загрязненных сточных вод;
- сократить потребление воды за счет создания замкнутого цикла;
- снизить капитальные затраты на сооружение теплоэнергетических устройств и очистных сооружений за счет высокой компактности и низкой металлоемкости оборудования и уменьшения эксплуатационных расходов (суммарно в 3÷5 раз);
- получить горячую воду и водяной пар производственного и коммунального назначения.

Накопленный опыт показал, что основные достоинства таких аппаратов состоят в высокой эксплуатационной надежности и экономичности.

Газовая горелка АПГ может быть встроена в корпус аппарата (как показано на рис. 1) или установлена автономно. В качестве горячих дымовых газов могут использоваться отходящие газы тепловых реакторов и машин, промышленных плавильных и нагревательных печей. Топливом может служить, как природный газ, так и распыленные жидкие углеводороды и уголь.

Созданные в Украине конструкции промышленных контактных аппаратов и методы их теплового, гидромеханического и прочностного расчетов стандартизованы «УкрНИИХиммаш» [6, 9] (в диапазоне номинальных теплопроизводительностей от 0,63 до 25 МВт), освоены производством, эксплуатируются с высокой функциональной и экономической эффективностью.

В процессе мониторинга созданных АПГ расширены области их оптимального применения, при этом, весьма перспективным оказалось направление использования их в качестве парогенераторов при утили-

заци тепла отходящих газов промышленных печей и высокотемпературных реакторов с целью когенерентной выработки электрической, производственной и коммунальной тепловой энергии.

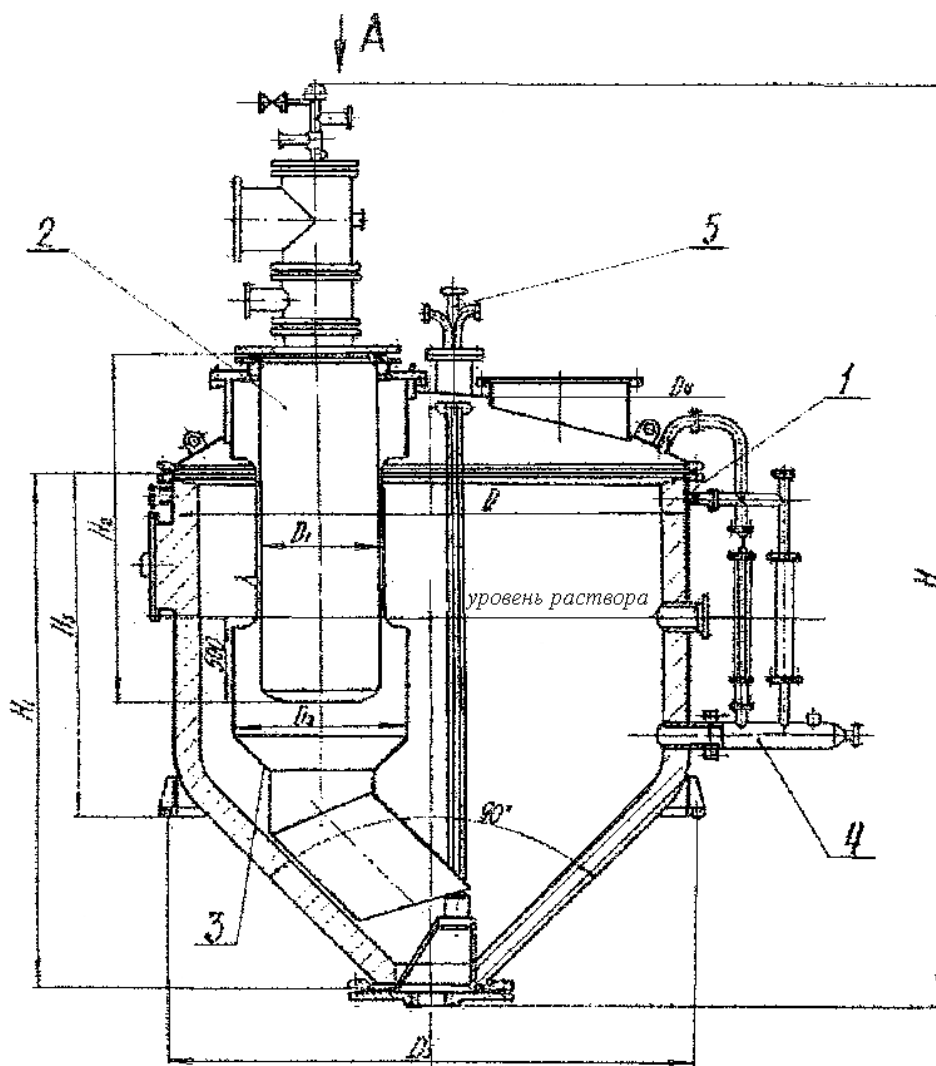


Рисунок 1 – Одна из конструкций промышленного контактного аппарата со встроенной горелкой:

- 1 – корпус; 2 – горелка (погружная труба); 3 – труба циркуляционная;  
4 – устройство для регулирования уровня жидкости, 5 – эрлифт

Новые возможности промышленного использования этого высокоэффективного выпарного оборудования открылись в связи с изобретением в Украине парогенерирующего аппарата [8] с отдельными массовыми выводами водяных паров и отработанных дымовых газов.

В мировой инженерной практике активно работают над созданием и широким промышленным использованием контактных аппаратов подобного целевого назначения такие известные фирмы, как «Norgas» (Англия), «Ozark-Mahoning», «Dow» (США), «Gaz de France» (Франция), «Уралхиммаш» Россия и др.

Одной из исполнительских схем созданного контактного устройства принята система, представленная на рис. 2, имеющая два уровня разделения фаз в аппарате, находящиеся под различными давлениями ( $P_1$  и  $P_2$ ). Поскольку выпаривается чистая вода, то химическая температурная депрессия отсутствует.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили «УкрНИИхиммаш» и НТУ «ХПИ» создать пилотную установку новой конструкции парогенератора производительностью 240 кг/час и провести ее стендовые испытания.



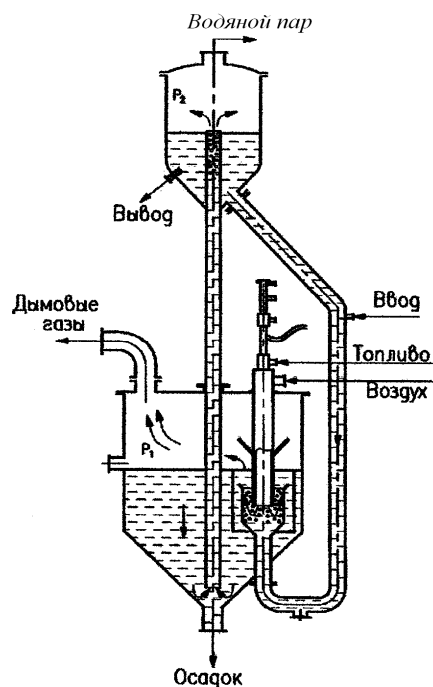


Рисунок 2 – Концептуальная схема контактно-дифференциального выпарного аппарата-парогенератора с последующим экологически безопасным выхлопом охлажденных газов в атмосферу

Управление процессом парогенерации осуществлялось в автоматическом режиме по заданной программе. Вода в нижней зоне нагревалась горячими газами до температуры несколько ниже температуры кипения и направлялась, под давлением  $P_1$  через барометрическую трубу, (выполняющую также функцию трубы вскипания) в сепаратор, где под давлением  $P_2 < P_1$  вскипала, а выделившийся пар направлялся на дальнейшие исследования. Охлажденные дымовые газы, с температурой на  $1 \div 2$  °C выше, чем нагретая в нижней емкости вода (под давлением  $P_1$ ), удалялись из аппарата с целью дальнейшей очистки, утилизации и съема оставшегося низкопотенциального тепла.

Общие энергозатраты, в рассматриваемом случае, сокращаются более, чем в 2 раза, по сравнению с затратами в традиционных парогенераторах поверхностного типа. В экологическом плане также значительно проще (и без дополнительных энергозатрат) осуществляется подавление концентрации  $NO_x$  и сопутствующих токсичных окислов высокотемпературной эмиссии продуктов горения, поскольку сама камера сгорания непосредственно погружена в воду, что быстро снижает температуру реакции горения, прекращая появление новых объемов окислов.

Следует отметить, что в конце прошлого века (фирма «General Electric» [7]) предложила, с целью подавления концентрации  $NO_x$  осуществлять «Экологический впрыск» пара (STIG) в поток раскаленных газов.

На рис. 3, (приведенном Ю.В. Полежаевым [10]), показано влияние впрыска пара на степень снижения концентрации  $NO_x$ , для двух вариантов ввода пара – в топливо и в камеру сгорания. При вводе пара концентрация окислов азота может быть снижена до норм, не превышающих допустимые. Оптимальным принято считать соотношение массы впрыснутого пара к массе топлива, 1:1.

Важной особенностью контактных теплоэнергетических парогенераторов является то обстоятельство, что в них совмещены процессы: химической подготовки питательной воды и получения дополнительной воды из пара, образовавшегося при сжигании топлива [2, 11]; удаления механических взвесей; нагрева технологической воды и получения производственного пара. Это позитивно сказывается на уменьшении металлоемкости конструкции в  $2 \div 4$  раза, снижении потребных производственных площадей, совершенствовании компактности теплоутилизационного блока; повышении экономичности установок в целом, что позволяет возводить их на промышленных объектах в открытом или полуоткрытом исполнении.

Новые целевые функции (теплоэнергетические) созданного контактного парогенератора существенно отличаются от таковых, свойственных традиционным аппаратам погружного горения промышленного назначения, в которых конечной целью является получение товарной продукции, генерируемая же в аппарате тепловая энергия, поступающая из различных видов утилизируемых ВЭР, является средством

осуществления их дальнейшего полезного использования. Отмеченные различия находят отражение в аппаратном оформлении выпарных установок, главным образом, в компоновочных схемах и конструкторских устройствах. Однако, научной и инженерной базой методов расчета и создания предложенных контактных парогенераторов являются общие теоретические обоснования, вытекающие из решений фундаментальных дифференциальных уравнений гидромеханики и теплообмена. Использован также накопленный массив экспериментальной и промышленной информации о работе контактных выпарных аппаратов на воде.

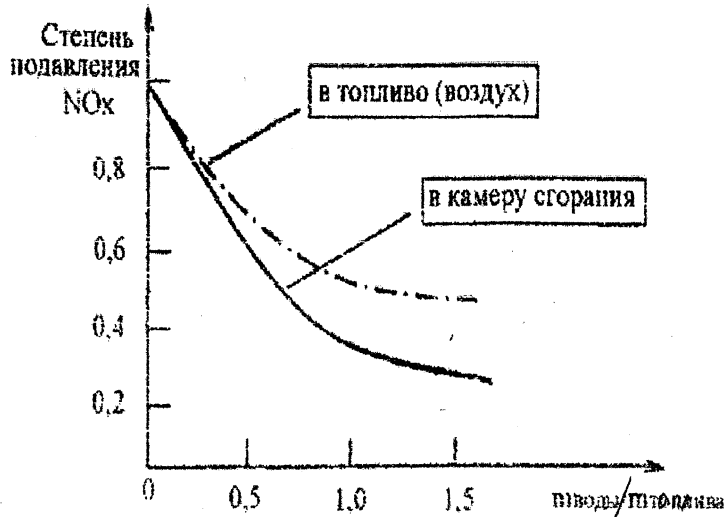


Рисунок 3 – Влияние вприскива водяного пара на подавление процесса образования NO<sub>x</sub>

Основные методические положения гидродинамических и термодинамических исследований в виде обобщенной научной информации, представлены зависимостями (1)–(5) и функциональными диаграммами, приведенными на рисунках 3–5, 8, 9.

Характерные расчетные параметры процессов и оборудования определяются:

– удельная межфазная поверхность формулой

$$a l_k = 2,63 A_{ro}^{0,07} (\omega' / \omega'')^{-0,22} (\rho' / \rho'')^{-0,28} (h / d_0)^{0,13}; \quad (1)$$

– оптимальная глубина погружения горелки (или погружной трубы в случае использования отходящих газов) соотношением

$$h = K_1 \frac{Q}{a \cdot \alpha \cdot F_2 \cdot \Delta t}; \quad (2)$$

– мощность передаваемого теплового потока зависимостью

$$Q = \alpha F_2 \Delta t; \quad (3)$$

– число Нуссельта зависимостью

$$Nu = 0,2 Re^{0,55} K_\phi^{0,3}. \quad (4)$$

Обозначения, принятые в расчетных формулах:  $Re = \frac{\omega'' l_k}{\nu}$  – число Рейнольдса;  $K_\phi = r / (c'' \Delta t)$ ;

$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda''}{l_k}$  – коэффициент теплоотдачи от дымовых газов к воде;  $l_k = \left[ \frac{\sigma}{g} (\rho' - \rho'') \right]^{1/2}$  – капиллярная постоянная;  $\lambda''$  – коэффициент теплопроводности;  $a$  – удельная поверхность контакта фаз, м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>;  $\nu$  – кинематическая вязкость теплоносителя;  $r$  – теплота парообразования воды;  $c''$  – теплоемкость газа;  $\Delta t$  – тем-

пературний напор;  $A_{ro}$  – модифіковане число Архімеда;  $Ku = \frac{\omega'' \cdot \sqrt{\rho''}}{\sqrt{g \cdot \sigma (\rho' - \rho'')}}}$  – критерій Кутателадзе, характеризуючий устійність газожидкостної системи,  $Ku \leq 0,5$ ;  $\sigma$  – коефіцієнт поверхнового натяження;  $\rho'$ ,  $\rho''$  – щільність жидкості і газу;  $\omega'$ ,  $\omega''$  – приведені швидкості жидкості і газу всередині циркуляційної труби;  $h$  – глибина поглиблення горелки;  $d_0$  – діаметр сопла горелки (поглибленої труби);  $\mu$  – в'язкість жидкості;  $F_s$  – межфазна поверхність теплообміну;  $c = \frac{\mu' \cdot \omega''}{\sigma}$  – критерій капілярності.

На рис. 4а показана удельна поверхність контакту фаз в функції критерія капілярності  $C$ , а на рис. 4б показані розрахункові залежності парогазової суміші  $t''$  і води  $t'$  в залежності від глибини поглиблення горелки (поглибленої труби). Точками показані результати експериментів.

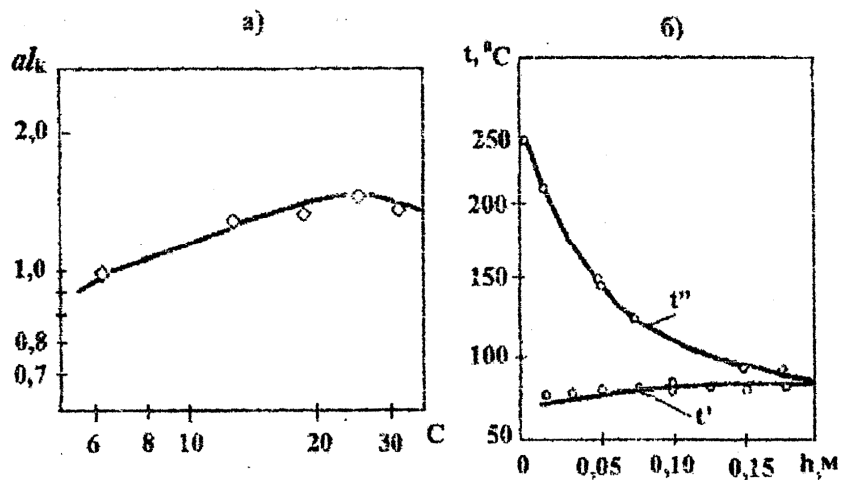


Рисунок 4 – Характеристика роботи контактеного парогенератора:

- а) – удельна поверхність контакту фаз в залежності від критерія капілярності  $C$ ;
- б) – вплив глибини поглиблення горелки (поглибленої труби) на температуру газової суміші  $t''$  і води  $t'$

Залежність температури випарювання води в контактеному парогенераторі в функціях; коефіцієнта надлишку повітря і випарювальності показана на рис. 5.

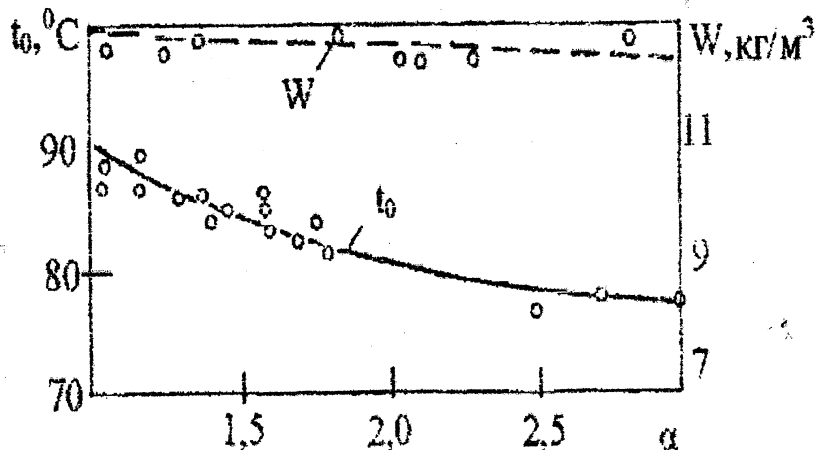


Рисунок 5 – Залежність температури випарювання  $t_0$  і удельної випарювальності  $W$  від коефіцієнта надлишку повітря  $\alpha_e$

Создана установка (рис. 6) дозволила дослідити процес генерації пари на режимах, характерних, головним чином, для теплоутилізаційних пристроїв відходять димових газів і їх безпечної відводу в оточуюче середовище.

Изменение давлений в зонах вакуумного испарения и контактного подогрева соответственно изменяет параметры процесса выпаривания, в том числе, температуры генерируемого пара и отводимых газов.

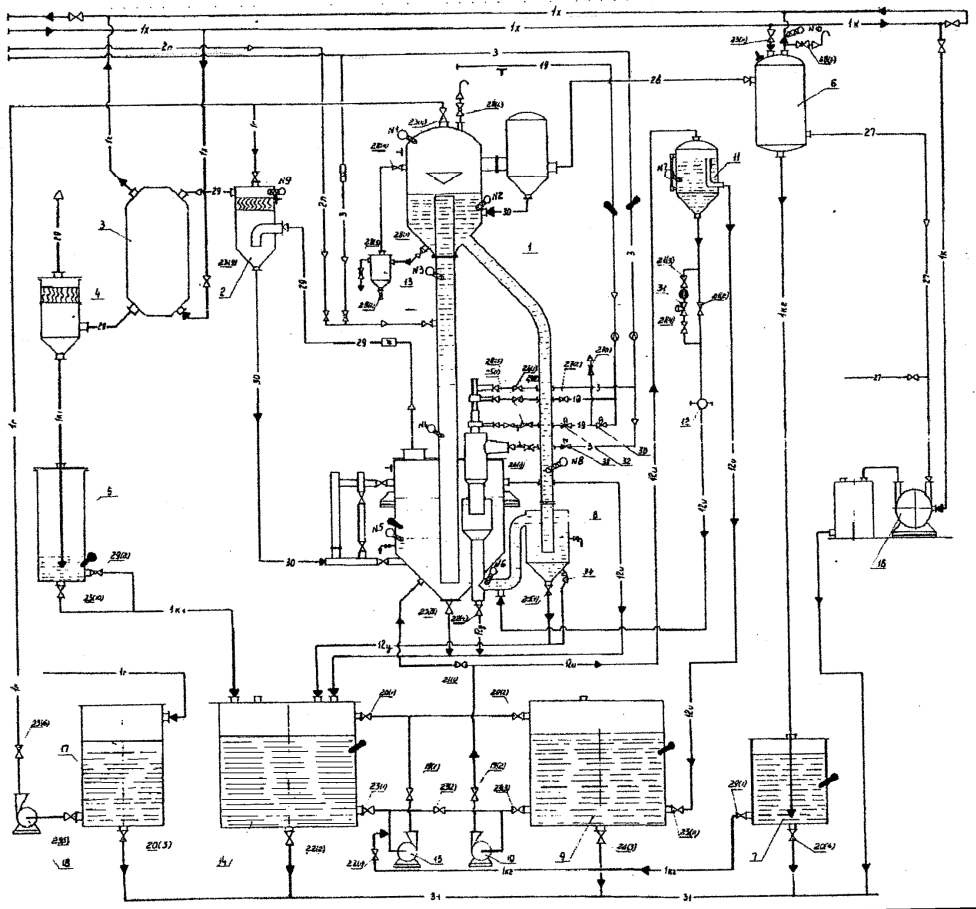


Рисунок 6 – Технологическая схема стендовой экспериментальной опытно-промышленной установки (со встроенной горелкой)

Движущими силами циркуляции жидкости в контуре являются: эрлифтный эффект, возникающий в зоне контактного подогрева при барботаже газовых потоков сгоревшего топлива, истекающих из погружной трубы, и естественная тяга, определяемая «холодной» и «горячей» ветвями контура циркуляции, усиленная вскипанием воды в верхней части подъемной трубы.

Концептуально влияние эрлифтного эффекта продуктов сгорания топлива на циркуляцию жидкости в зоне контактного подогрева, подобно тому, как это происходит и в традиционных типовых аппаратах с погружными горелками.

Лабораторные и стендовые исследования позволили построить общие закономерности для определения: оптимальных геометрических размеров конструкций и скоростей циркуляции жидкости; параметров контактного нагрева и охлаждения (в зонах барботажа газов и испарения воды); влияния указанных факторов на распределение скоростей циркуляции потоков в контуре.

Исследования влияния зоны контактного подогрева на циркуляцию жидкости включали задачи: изучения процессов, происходящих в зоне контактного подогрева, представляющей собой кольцевое пространство, образованное барботажной и погружной трубами, концентрично установленными в барботажной емкости (рис. 2).

Начальными параметрами проведения экспериментов приняты: внутренний диаметр барботажной трубы  $D = 290$  мм; наружный диаметр погружной горелки  $d_n = 200$  мм; диаметр выходного отверстия погружной горелки  $d = 110$  мм; эквивалентный диаметр зоны барботажа  $d = 90$  мм; глубина погружения горелки  $h = 350$  мм; внутренние диаметры труб: подъемной  $d_n = 350$  мм и опускной  $d_o = 138,5$  мм.

Измерения скоростей циркуляции жидкости производились в подъемной и опускной трубах датчиками скорости (микровертушками), установленными по осям труб с возможностью измерения скорости в любой точке диаметра и построения полей скоростей.

Конструкция датчика, измерителя скорости, приведена на рис. 7.

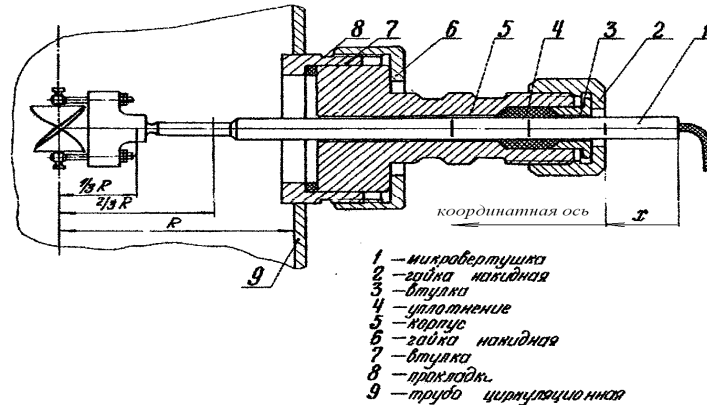


Рисунок 7 – Датчики измерения скорости потока (микровертушка)

Скорость вращения ротора датчика протарирована по объемной скорости потока жидкости в трубе. За каждый оборот ротора измерялись два импульса электрического сигнала, которые проходили усилитель и фиксировались частотомером Ф 5080. Погрешность тарировочного графика зависимости скорости потока жидкости в трубе от частоты импульсов не превышала  $\pm 1,5\%$ .

По средней скорости жидкости в трубах определялась приведенная скорость компонентов потока в кольцевом сечении зоны барботажа.

Для расчета контура циркуляции жидкости в выпарном аппарате-парогенераторе с погружной горелкой рекомендована формула

$$Re'_k = 311,5 \cdot (Re''_k)^{0,185} \cdot \left(\frac{h}{d_s}\right)^{0,506} \cdot r^{-0,712}, \quad (5)$$

где  $Re'_k = \frac{\omega'_k d_s}{\nu'}$  – число Рейнольдса потока в зоне барботажа;  $Re''_k = \frac{\omega''_k d_s}{\nu''}$  – число Рейнольдса газового потока в зоне барботажа;  $h$  – глубина погружения горелки;  $d_s = D - d_n$  – эквивалентный диаметр в зоне барботажа;  $r = d^2 / (D^2 - d^2)$  – геометрический симплекс, характеризующий отношение площадей сечений выходного отверстия погружной горелки и эквивалентного диаметра;  $\omega'_k, \omega''_k$  – приведенные скорости, соответственно, жидкостного и газового потоков в зоне барботажа;  $d$  – диаметр выходного отверстия в погружной горелке;  $d_n$  – наружный диаметр погружной горелки в зоне барботажа;  $D$  – внутренний диаметр барботажной (циркуляционной) трубы;  $\nu', \nu''$  – кинематическая вязкость, соответственно, жидкости и газа.

Количество воздуха в эксперименте соответствовало эквивалентному количеству продуктов сгорания природного газа при теплопроизводительности погружной горелки  $Q = 116,3$  кВт и коэффициенте избытка воздуха  $\alpha_v = 1,5$ .

Анализ опытных данных показывает, что уровень жидкости относительно верхнего торца трубы вскипания в сепараторе заметно влияет на циркуляцию жидкости, что необходимо учитывать при конструировании.

Анализ влияния уровня жидкости в вакуум-сепараторе на циркуляцию в аппарате показал, что приведенная скорость жидкости в испарительном режиме практически удваивается по сравнению с начальным периодом нагрева жидкости.

Результаты опытных данных приведены на рис. 8. Следует отметить, что скорость жидкости, приведенная к сечению эквивалентного диаметра зоны барботажа, прямо пропорциональна (в исследованных пределах) приведенной скорости воздуха в этом сечении.

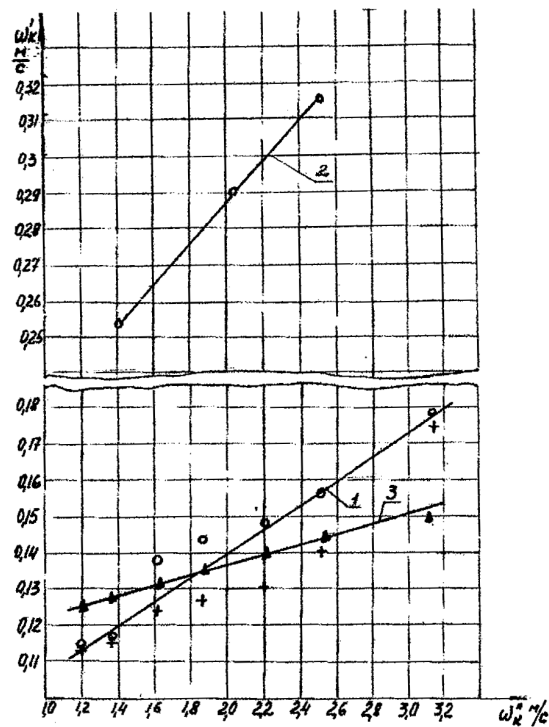


Рисунок 8 – Влияние зоны контактного подогрева и парообразования на циркуляцию жидкости в аппарате: знаками «+» и «o» – отмечены скорости жидкости, приведенные к сечению зоны барботажу по средним скоростям, соответственно, в подъемной и опускной трубах;  
 ▲ – значения рассчитанных скоростей жидкости; 1 – опыты на холодном стенде; 2 – опыты на горячем стенде; 3 – расчетная зависимость

Зависимость температуры выпаривания воды в функции от давления  $P$  и испарительности показана на рис. 9.

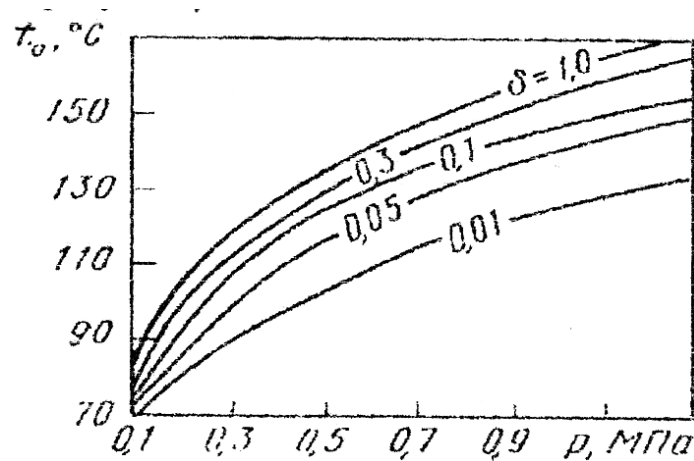


Рисунок 9 – Зависимость температуры выпаривания воды от давления  $P$  и испарительности

Построенные аналитические и эмпирические зависимости процессов теплообмена и гидродинамики позволили создать ряд лабораторных физических экспериментальных моделей, показавших при испытаниях адекватность полученных закономерностей.

Полученная научная и практическая информация позволяет разработать и изготовить опытно-промышленную установку созданного контактного парогенератора для проведения комплексных промышленных испытаний на действующих промышленных производствах в параметрических режимах: парогенерации, программного управления; уноса рабочих сред; выбросов в окружающую среду и опре-

деления сравнительных экономических характеристик использования газообразных, жидких или измельченных твердых топлив.

### Литература

1. Сборник трудов «КАЗАНТИП – ЭКО – 2012», том II.
2. Алабовский А.Н., Удыма П.Г. – Аппараты погружного горения – Москва: МЭИ, 1994.–254 с.
3. Товажнянский Л.Л., Анипко О.Б., Маляренко В.А., Абрамов В.И., Кривцова В.И., Капустенко П.А. Основы энерготехнологии в промышленности. – Харьков НТУ «ХПИ», – 2002.– 436 с.
4. Кутателадзе С.С., Стыркович М.А. Гидродинамика газожидкостных систем. – М.: Энергия. – 1976. – 296 с.
5. Скрипко В.Я., Сорока Б.С. К вопросу о движении газового пузырька через слой жидкости.// Тепло-массообмен. – К.: Наукова думка. – 1968. – С. 6–9.
6. Перцев Л.П., Ковалев Е.М., Волов Г.И. Аппараты погружного горения. Тезисы докладов Первой Всесоюзной научно-технической конференции «Пути совершенствования и внедрения аппаратов погружного горения, обеспечивающих значительную экономию топлива», – Харьков – Москва, ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ. – 1986. – 5 с.
7. Бернем, Джулиани, Меллер. Разработка, монтаж и испытание систем впрыска пара (STIG) в газогенератор LM – 5000 фирмы «General Electric» // Энергетические машины и установки. – № 2. – 1988. – С. 11–17.
8. А.с. 479477 СССР. Выпарной аппарат / Г.И. Волов, Л.П. Перцев, Н.Г. Шмакова, М.А. Харченко, К.Е. Перепелкин, опубл. 05.08.75, Бюл. № 29.
9. Товажнянский Л.Л., Перцев Л.П., Шаповорев В.П., Данилов Ю.Б., Морозова Н.Л., Лопухина О.А. // Теплоэнергетика погружного горения в решении проблем теплоснабжения и экологии Украины. – Интегровані технології та енергозбереження. – Харків: НТУ «ХПИ», 2001.– №3.
10. Полежаев Ю.В. Возможность создания высокоэффективных энергоустановок на базе конвертируемых авиационных газотурбинных двигателей.//Проблемы машиностроения. Т. 1, № 1 – изд. ИПМАШ им. А.Н. Подгорного НАН Украины – Харьков.
11. Носач В.Г., Шрайбер А.А. Повышение эффективности газотурбинных установок за счет совместного использования термохимической и паровой регенерации.// Промышленная теплотехника, 2011, т. 33.

### Bibliography (transliterated)

1. Sbornik trudov «KAZANTIP – EKO – 2012», tom II.
2. Alabovskiy A.N., Udyima P.G. – Apparaty pogruzhnogo gorennya – Moskva: MEI, 1994.–254 p.
3. Tovazhnyanskiy L.L., Anipko O.B., Malyarenko V.A., Abramov V.I., Krivtsova V.I., Kapustenko P.A. Osnovy energotekhnologii v promyshlennosti. – Harkov NTU «HPI», – 2002.– 436 p.
4. Kutateladze S.S., Styirkovich M.A. Gidrodinamika gazozhidkostnyih sistem. – M.: Energiya. – 1976. – 296 p.
5. Skripko V.Ya., Soroka B.S. K voprosu o dvizhenii gazovogo puzyirka cherez sloy zhidkosti. Teplo-massoobmen. – K.: Naukova dumka. – 1968. – p. 6–9.
6. Pertsev L.P., Kovalev E.M., Volov G.I. Apparaty pogruzhnogo gorennya. Tezisy dokladov Pervoy Vsesoyuznoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii «Puti sovershenstvovaniya i vnedreniya apparatov pogruzhnogo gorennya, obespechivayuschih znachitelnuyu ekonomiyu topliva», – Harkov – Moskva, TsINTIHIMNEFTEMASh. – 1986. – 5 p.
7. Bernem, Dzhuliani, Meller. Razrabotka, montazh i ispytanie sistem vpryiska para (STIG) v gazogenerator LM – 5000 firmy «General Electric» Energeticheskie mashiny i ustanovki. – # 2. – 1988. – p. 11–17.
8. A.s. 479477 SSSR. Vyiparnoy apparat G.I. Volov, L.P. Pertsev, N.G. Shmakova, M.A. Harchenko, K.E. Perepelkin, opubl. 05.08.75, Byul. # 29.
9. Tovazhnyanskiy L.L., Pertsev L.P., Shaporev V.P., Danilov Yu.B., Morozova N.L., Lopuhina O.A. Teploenergetika pogruzhnogo gorennya v reshenii problem teplosnabzheniya i ekologii Ukrainyi. – Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennya. – Harkiv: NTU «HPI», 2001.– #3.
10. Polezhaev Yu.V. Vozmozhnost sozdaniya vyisokoeffektivnyih energoustanovok na baze konvertiruemyyih aviatsionnyih gazoturbinnyyih dvigateley.Problemy mashinostroeniya. T. 1, # 1 – izd. IPMASh im. A.N. Podgornogo NAN Ukrainyi – Harkov.
11. Nosach V.G., Shrayber A.A. Povyishenie effektivnosti gazoturbinnyyih ustanovok za schet sovmestnogo ispolzovaniya termohimicheskoy i parovoy regeneratsii. Promyshlennaya teplotekhnika, 2011, t. 33.

УДК 66.048.57

Товажнянський Л.Л., Перцев Л.П., Данилов Ю.Б., Морозов О.Е.

**ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ НОВОГО КОНТАКТНОГО ПАРОГЕНЕРАТОРА  
ДЛЯ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛА ВІДХОДЯЩИХ ГАЗІВ**

Запропонована нова технологічна схема та патентоспроможна конструкція контактного парогенератора, що використовує тепла димових газів, що відходять від теплових реакторів, машин та плавильних печей. Це дозволяє відокремлювати охолоджені димові гази від виробленої (цільовим призначенням) водяної пари необхідних параметрів. Відпрацьовані димові гази (зі зменшеною концентрацією  $\text{NO}_x$  і нормативно-припустимим «тепловим забрудненням») безпечно відводяться в навколишнє середовище. Наведені характерні параметри стендових випробувань дослідно-промислової установки продуктивністю 240 кг/година.

Tovazhnyanskyy L., Persev L., Danylov Y., Morozov A.

**INVESTIGATION WORK NOVELTY CONTACT STEAM GENERATOR  
UTILIZATION HIGH-TEMPERATURE VOLATILE GAS**

New technological environment-protective high-temperature volatile gas contact steam generator scheme and design are proposed for thermal reactors, industrial aggregates and heat furnaces. They allow to separate the water vapour of required parameters from the high-temperature concentrated  $\text{NO}_x$  volatile gas with the admissible «thermal pollution». The efficiency of the pilot installation is 240 kg of high-temperature volatile gas, as the stand tests have shown.



УДК 681.518.2

Илюнин О.О., Перевертайленко А.Ю., Шамраев А.А., Селяков А.М.

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СЕЛЕКТИВНЫМ ТРАВЛЕНИЕМ ПОЛОСОВОГО ПРОКАТА**

*Постановка задачи.* Известно, что для очистки металлических поверхностей, в частности полосы проката, от слоев окалины и оксидных пленок, полоса обрабатывается в непрерывном травильном агрегате (НТА) путем контакта с травильными веществами (в нашем случае путем орошения кислотным раствором). В зависимости от морфологии получаемой поверхности химическое травление может быть выравнивающим (полирующим, шлифующим) и избирательным (селективным). При выравнивающем травлении происходит сглаживание рельефа поверхности, уменьшение ее шероховатости, при селективном травлении – выявление дефектов поверхности структуры, границ двойников и доменов, растравливание трещин, царапин, увеличение неоднородности поверхности и т.п., а количество – плотностью дефектов. Выравнивающее травление наблюдается обычно при протекании процесса в диффузионной области, а избирательное – в кинетической области. Поэтому изменение температуры, концентрации реагентов, гидродинамической обстановки, могут изменить характер процесса, который может стать комбинированным, например – с избирательным действием в начальные периоды и выравнивающим в конце процесса.

Основными критериями эффективности работы НТА являются скорость и качество травления (чистота поверхности листового проката на выходе), и удельная энергоемкость и ресурсоемкость технологического процесса. Эффективность работы НТА зависит от ряда технологических параметров и условий [1,2,7]. Эксплуатирующиеся в Украине на настоящий момент НТА имеют ряд недостатков, обусловленных в том числе и тем, что в ходе технологического процесса (ТП) не учитываются несистемные дефекты на поверхности металлической полосы, проявляющиеся в виде пятен, зон и участков окалины и вкатышей различной формы, что влечет товарные потери из-за выбраковки полосы с такими участками.

*Целью работы* является разработка формализованного описания процесса определения несистемных дефектов на поверхности металлической полосы и формирования управляющих воздействий по их устранению на основе математического аппарата нечеткой логики.

Формализацию логико-аналитической задачи определения несистемных дефектов на поверхности проката сведем к решению задачи идентификации в ее расширенном понимании. Суть задачи заключается в отнесении распознаваемых событий к некоторому классу эталонных событий соответствующего алфавита, сформированного на этапе формального описания этого алфавита, и последующего определения количественных и качественных характеристик этих событий результатами измерений.

В [1] был предложен классификатор, описывающий наборы несистемных дефектов в виде кортежей <форма, ширина (диаметр), цвет(оттенок серого), контраст, длина>. По частотам выпадения определенных кортежей на контрольном рулоне проката из партии производилась настройка нейронного контроллера НТА, осуществлявшего управляющие воздействия с целью устранения дефектов. В связи с невозможностью точных измерений толщины дефектов, образующихся с нестохастической неопределенностью, в [2] была предложена оценка значений толщины окалины  $\delta_n$  в виде лингвистической переменной, которая задается набором из 3-х компонент:

$$\langle Id, X, R(Y, x) \rangle,$$

где  $Id$  – имя признака <цвет дефекта>,  $X$  – множество допустимых значений признака,  $R(Y, x)$  – нечеткое множество, определенное на множестве  $X$  и представляющее собой нечеткое ограничение на числовую оценку значения признака  $x$ , обусловленное лингвистической характеристикой  $Y$  <толщина дефекта>.

Все системы с нечеткой логикой функционируют по одному принципу [3]: показания измерительных приборов фазифицируются (переводятся в нечеткий формат), обрабатываются с помощью логических правил управления (ЛПУ), формируемых для системы, дефазифицируются и в виде физических сигналов подаются на исполнительные устройства.

Формализованное описание качественных признаков может быть представлено [4] функцией возможности  $\mu_n(X_m)$  с областью определения на интервале  $[0, 1]$ , определяющей степень возможности отнесения события к  $n$ -му классу по значению признака  $X_m$ .

К факторам, определяющим процесс травления полосы проката относятся:  $C$  – концентрация кислоты в растворе,  $T$  – температуры раствора и полосы, время контакта дефекта с травильным раствором, т.е. скорость сматывания –  $V$ , имеющее ограничение во избежание преретрава,  $P_t$  – давление подачи тра-

вильного раствора, химический состав и геометрические размеры полосы – В, и, в отдельности, для несистемных дефектов полосы: D – набор позиционных координат и толщина  $\delta_n$  дефекта.

Расширив с помощью экспертов мощность множества  $X_m$  = Цвет дефекта, сформируем оценки возможности по высказыванию « $X_m$  =цвет почти черный» – табл. 1, причем оценки эти будут применяться как на входе проката в НТА, так и на выходе для осуществления идентификации качества готовой продукции и управления скоростью сматывания на основании информации от датчиков входной идентификации (рис. 1). На базе этого с помощью создаваемой системы ЛПУ НТА можно будет достаточно полно описать возможные состояния системы и дефазифицировать управляющие воздействия.

Таблица 1 – Значения функции возможности

n	$X_m$ = Цвет дефекта	$\delta_n$ , мк	Y<толщина дефекта>	$\pi_n(X_m)$ $\pi_n(X_m)$	Pт
1	Матовый алюминий «норма»	0,1÷0,4	= норма	0	0
2	Бледно-голубой	5÷10	Очень мала	0,9	min
3	Светло-серый	13÷15	Маленькая	0,75	Нет
4	Серый	Нет данных	Средняя	0,6	данных
5	Темно-серый	24÷36	Больше средней	0,45	Нет
6	Темно-серый полуматовый	Нет данных	Большая	0,3	данных
7	Почти черный	34÷40	Очень большая	0,1	max

Согласно подходу, изложенному в [5] было показано, что в каналах сложной геометрической формы с изменяющимся вдоль канала вектором осредненной скорости при использовании модели трехслойного течения коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  от вязкого и буферного подслоев турбулентного потока жидкости к стенке прямо пропорционален корню касательного напряжения потока  $\tau_{ct}$  на стенке:

$$\alpha \approx k \cdot \sqrt{\tau_{ct}} \quad (1)$$

и основная часть энергии, получаемой потоком от внешних источников, переходит в энергию пульсационного движения, которое определяет перенос тепла в ядре потока. Это означает, что создавая в контактном слое с поверхностью дефекта турбулентный поток травильного раствора с большим  $\tau_{ct}$ , мы повышаем коэффициент теплопередачи от раствора к металлу, тем самым увеличивая стартовую энергию активации раствора, а следовательно, и скорость реакции. В общем случае удельный импульс сопла, через которое происходит орошение поверхности дефекта полосы или его части можно представить в виде:

$$I = v_c + \frac{A_c}{\dot{m}} \cdot (p_c - p_o) \quad (2)$$

Здесь  $v_c$  – скорость истечения жидкости из сопла,  $A_c$  – площадь среза сопла;  $p_c$  – давление жидкости на срезе сопла;  $p_o$  – давление окружающей среды;  $\dot{m}$  – секундный массовый расход газа через сопло. Таким образом, чем больше массовый расход, меньше площадь среза сопла, тем больше  $v_c$ , которую обеспечивает удельный импульс сжатия жидкости в рабочей камере насоса. Однако при работе с агрессивными жидкостями более широко применяется метод управления сечением сопла, как правило, и в нашем случае в том числе, представляющего собой регулируемый клапан [6] диафрагменного либо игольчатого типа.

В отличие от представленной в [1], была предложена схема НТА с идентификацией и позиционированием несистемных дефектов полосы проката [7] (см. рис. 1).

Устройство содержит: 1 – травильный агрегат с узлами нагрева и регенерации травильного раствора и узлом теплогенерации; 2 – металлическую полосу; 3 – блок для подачи травильного раствора через N сопел, расположенных по обеим сторонам плоскости движущейся металлической полосы с регулируемым  $P_1$ ; 4 – оптический датчик выходного контроля качества травления металлической полосы с обеих сторон; 5 – блок обработки оптической информации и управления технологическим процессом; 6 –дозатор; 7 – оптический датчик входной идентификации и позиционирования несистемных дефектов

металлической полосы с обеих сторон; 8 – ванна орошения травильного агрегата; 9 – второй дозатор; 10 – комплекс погружных травильных ванн (или одну травильную ванну).

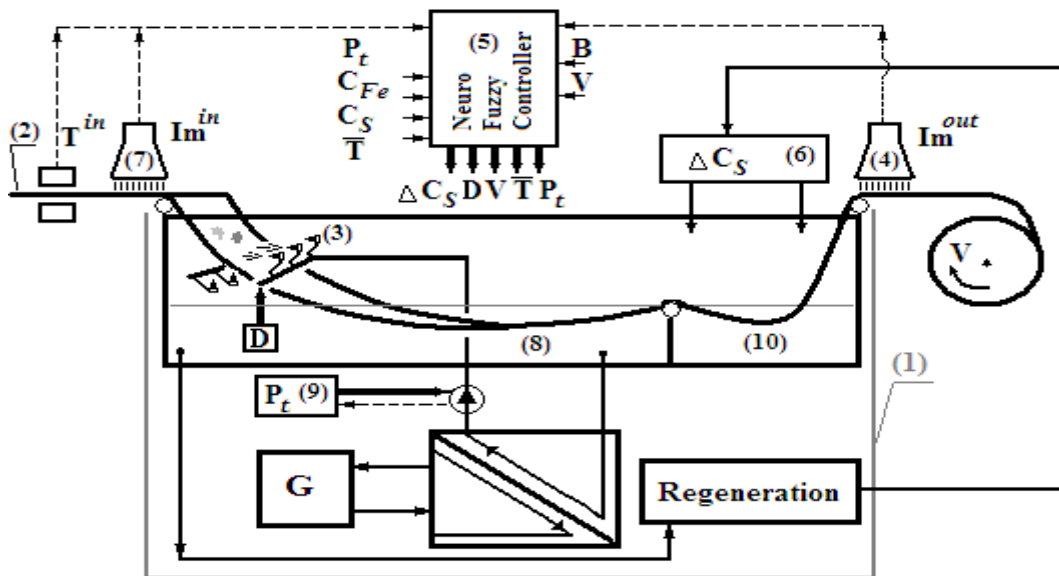


Рисунок 1 – Схема НТА с идентификацией и позиционированием несистемных дефектов полосы проката

Получая данные от (7) контроллер (5) определяет позиционные координаты дефекта  $D^m$  в виде прямоугольника  $(x_1^m, y_1^m) - (x_2^m, y_2^m)$ , и формирует сигнал на (3) для включения сопел  $N_j$  ( $j=i, i+1, \dots, k$ ) на период времени  $T_j = (y_2^m - y_1^m) / V(t)$ . Причем область орошения сопел  $N_j$  покрывает дефект  $D^m$  на участке полосы шириной  $[x_1^m, x_2^m]$ . Также контроллер (5) формирует сигнал для (9) для изменения номинала площади проходного сечения  $A_j$  сопла, с целью достижения на выходе сопла  $N_j$  давления травильного раствора  $P_T$  в соответствии со значением функции возможности  $\pi_n(X_m = \text{Цвет дефекта})$ .

*Выводы.* Можно сформировать ЛПУ селективным травлением полосы:

$$\begin{aligned} &\text{ЕСЛИ (Цвет} = X_m \& D^m) \text{ ТО ((включить } N_j \text{ сопла, } j= i, i+1, \dots, k) \& \\ &\text{(изменить площади сечений } A_j, j= i, i+1, \dots, k \text{ в соответствии } \pi_n(X_m)). \end{aligned} \quad (3)$$

Дефаззифицируя ЛПУ, получим:

$$\text{ЕСЛИ } (X_m(t) \& D^m(t)) \text{ ТО } [A_j(t) = A_j * \pi(X_m(t)) \text{ для } j=i, \dots, k, t' = t + L_{7-3} / V(t) - \tau_{on}, A_j(t' + T_j) = 0] \quad (4)$$

где  $L_{7-3} = \text{const}$  – расстояние, преодолеваемое полосой проката от датчика входной идентификации (7) до сопел (3) (рис. 1),  $V(t)$  – скорость сматывания полосы,  $\tau_{on}$  – время задержки системы управления для изменения площади проходных сечений  $A_j$ .

Регулирование площади проходных сечений сопел выполняется, как правило, автоматически специальной системой управления. Этот же механизм позволяет по команде контроллера изменять в некоторых пределах и направление струи орошения, что существенно повышает гибкость и оперативность системы, однако требует дополнительных экспериментов и расчетов.

#### Литература

1. Wiefried Schlechter. PROCESS AND EQUIPMENT FOR A METAL STRIP PICKLING. US Patent № 6,419,756 B08B 1/2:B08B 7/04, Jul. 4, 2002.

2. Илюнин О.О., Капустенко П.А., Перевертайленко А.Ю., Тимофеев В.А. Управление концентрацией травильного раствора непрерывного травильного агрегата с использованием нечетких LR-интервалов. – Интегровані технології та енергозбереження // Щоквартальний науково-практичний журнал. – Харків:НТУ «ХП», 2012. – №2, с. 52–56.

3. Алтунин А.Е., Семухин М.В. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях: Монография. Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2000. 352 с.

4. Ярушек В.Е. Метод представления знаний в системах искусственного интеллекта / Искусственный интеллект в системах управления. Научно – методические материалы. Часть 1. – Х.: ВИРТА ПВО, 1988. – С. 5–82.

5. Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А. К вопросу о загрязнениях поверхности теплопередачи пластинчатых теплообменников.– Энергетика. Известия ВУЗов МВССО СССР.– Минск: БПИ, 1984.–№6, с. 101–102.

6. Dan Tanaka, Chemical turbulence equivalent to Nikolavskii turbulence, PHYSICAL REVIEW E 70, 015202(R), 2004

7. Заявка на патент № U2012-09-428 от 2.08.2012 «Пристрій для безперервного травлення прокату листової вуглецевої сталі».

### Bibliography (transliterated)

1. Wiefried Schlechter.PROCESS AND EQUIPMENT FOR A METAL STRIP PICLING. US Patent # 6,419,756 V08V 1/2:V08V 7/04, Jul. 4,2002.

2. Илюнин О.О., Капустенко П.А., Перевертайленко А.Ю., Тимофеев В.А. Управление концентратией травильного раствора непрерывного травильного агрегата с использованием нечетких LR-интервалов. – Интегровані технології та енергозбереження Schokvartalnyi naukovo-praktichnyi zhurnal. – Harkiv:NTU «HPI», 2012. – #2, p. 52–56.

3. Altunin A.E., Semuhin M.V. Modeli i algoritmyi prinyatiya resheniy v nechetkikh usloviyah: Monografiya. Tyumen: Izdatelstvo Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta, 2000. 352 p.

4. Yarushek V.E. Metod predstavleniya znaniy v sistemah iskusstvennogo intellekta Iskusstvenniy intellekt v sistemah upravleniya. Nauchno – metodicheskie materialyi. Chast 1. – H.: VIRTA PVO, 1988. – p. 5–82.

5. Tovazhnyanskiy L.L., Kapustenko P.A. K voprosu o zagryazneniyah poverhnosti teploperedachi platinchatyih teploobmennikov.– Energetika. Izvestiya VUZov MVSSO SSSR.– Minsk: BPI, 1984.–#6, p. 101–102.

6. Dan Tanaka, Chemical turbulence equivalent to Nikolavskii turbulence, PHYSICAL REVIEW E 70, 015202(R), 2004

7. Zayavka na patent # U2012-09-428 ot 2.08.2012 «Pristriy dlya bezperernogo travleniya prokatu listovoyi vugletsevoyi stali».

УДК 681.518.2

Илюнин О.О., Перевертайленко О.Ю., Шамраев А.А., Селяков О.М.

## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ СЕЛЕКТИВНИМ ТРАВЛІННЯМ ПОЛОСОВОГО ПРОКАТУ

Розглянуто формалізацію логіко-аналітичної задачі визначення несистемних дефектів на поверхні листового полосового прокату. Запропоновано спосіб нечіткого оцінювання товщини несистемних дефектів на поверхні прокату. Сформульовано логічне правило керування (ЛПК) селективним травлінням полоси.

Ilunin O.O., Perevertaylenko O.Yu., Shamraev A.A., Selyakov O.M.

**THE INTELLECTUAL CONTROL OF SELECTIVE PICKLING PROCESS OF METAL STRIP**

The logical and analytical problem of irregular surface defects detection for pickled metal strip is considered. The method of uncertain estimation for irregular surface defects thickness on metal strip is proposed. The logical control rule (LCR) for selective pickling of metal strip is formulated.

Веретенников А.И.

**РАЗВИТИЕ УКРАИНСКОЙ БРОНЕТЕХНИКИ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 20 ЛЕТ (1992-2011 г.г.)**

Современные образцы бронированной техники и вооружения относятся к сложным техническим объектам, сочетающим в себе технологии различных областей машиностроения. Создание таких образцов и организация их производства требует значительных материальных и временных затрат. В этих условиях актуальным является научное прогнозирование путей развития и совершенствования бронетехники с целью минимизации экономических рисков, обеспечения ее конкурентоспособности на внешних рынках и поддержания необходимого уровня обороноспособности своей страны. Одним из методов научного прогнозирования путей эволюционного развития техники является ретроспективный анализ – комплексное рассмотрение и учет изменений технических характеристик вместе с факторами, влияющими на эти процессы за определенный отрезок времени, в течение которого не происходит кардинальных перемен в технологиях создания и методах применения и эксплуатации этой техники.

В Украине за последние 20 лет самостоятельного развития отрасли по производству бронетехники под воздействием различных экономических, производственных, технических и др. факторов выполнен и доведен до серийного производства достаточно большой объем различных опытно-конструкторских работ, позволяющий применить данный метод.

К началу 90-х годов прошлого столетия отрасль по производству и капитальному ремонту бронетехники в Украине, как и другие оборонные отрасли, являлась составной частью военно-промышленного комплекса Советского Союза. При этом, на её территории были сосредоточены конструкторские бюро по разработке определенной номенклатуры техники, серийные заводы-изготовители как машин в целом, так и отдельных составных частей, и заводы капитального ремонта Министерства обороны СССР.

Основными серийными заводами по производству бронетехники и специальных машин были:

- «Завод имени В.А. Малышева», г. Харьков – производство основных боевых танков Т-80УД, гусеничных транспортеров-тягачей МТТ, гусеничных шасси для монтажа инженерного оборудования и танковых двигателей;
- «Тракторный завод имени С. Орджоникидзе» (ХТЗ), г. Харьков – производство многоцелевых легких бронированных тягачей-транспортеров МТ-ЛБ, специальных шасси и САУ на его базе;
- Завод «Стройдормаш», г. Киев – производство землеройных инженерных машин на базе гусеничных шасси и путепрокладчиков;
- «Вагоностроительный завод», г. Крюково Полтавской области – производство самоходных гусеничных паромов и бронированных инженерных разведывательных машин;
- «Вагоностроительный завод», г. Стаханов Донецкой области – производство колесных специальных плавающих шасси;
- «Тепловозостроительный завод», г. Луганск – производство самоходных гусеничных плавающих транспортеров тягачей ПТС-М;
- «Новокраматорский машиностроительный завод» (НКМЗ), г. Новокраматорск Донецкой области – производство бронированных инженерных машин разграждения ИМР-2 на базе шасси танка Т-72.

На всех этих заводах существовали отделы главного конструктора или специальные конструкторские бюро, сопровождающие серийное производство и выполняющие опытно-конструкторские работы по заданиям Министерства обороны и профильных министерств.

Наиболее значимыми разработчиками были: «Харьковское конструкторское бюро имени А.А. Морозова», выполнявшее разработку перспективного танка; отдел главного конструктора тягачей ОГК-Т ХТЗ, работавший над созданием многоцелевого гусеничного шасси нового поколения и САУ на его базе и ОГК «Луганского тепловозостроительного завода», разрабатывающий плавающую инженерную машину.

Потенциал по выполнению капитального ремонта составляли три танкоремонтных завода в городах Харьков, Киев и Львов, завод по проведению капитального ремонта бронетранспортеров в г. Николаев, завод по ремонту БМП и БМД в г. Житомир и два завода по ремонту гусеничных и колесных шасси в г. Харьков. Все эти заводы находились в ведомственной принадлежности Министерства обороны и работали по документации Конструкторско-технологического центра МО, находившегося в г. Киев.

Следует, однако, отметить, что, несмотря на наличие разработчиков документации, и заводов по изготовлению готовой законченной продукции, зависимость по комплектующим и материалам, поступающим с других специализированных заводов всего СССР по разным типам машин, составляла более 60 процентов. Все это не позволяло иметь замкнутый цикл по разработке и производству бронетехники в

Україне. Несколько легче складывалась ситуация по выполнению капитального ремонта по причине наличия нескольких баз хранения бронетанкового имущества и нахождения на них мобилизационных запасов запасных частей.

В связи с юридическим оформлением роспуска СССР и образованием на его территории независимых государств, с начала 1992 года производство бронетехники на заводах фактически свелось к сборке отдельных машин, исходя из наличия производственных запасов материалов и комплектующих, полученных в советский период. Впоследствии и этот процесс практически остановился, в связи с прекращением производственных связей с поставщиками, оказавшимися на территории других, вновь образованных стран СНГ, и по причине отсутствия генерального заказчика в лице Советской Армии. К этому времени в правительстве Украины было организовано Министерство машиностроения, оборонно-промышленного комплекса и конверсии, в ведение которого переходили все предприятия, осуществлявшие разработку и выпуск военной техники, в том числе и бронетехники. Было также сформировано управление промышленных заказов в аппарате Министерства обороны Украины. С середины 1992 года начался, и фактически до конца года продолжался, процесс почти стихийного переоформления НИОКР и производственных программ, начатых во времена СССР, на их продолжение уже в рамках и интересах Украинского государства. [12]

В начале этого процесса мало кто задумывался о возможности реализуемости и необходимости этих проектов. Для большинства специалистов невозможно было представить, что со стороны пришедших политиков во всех новых государствах последуют действия по фактическому разрушению существующего оборонно-промышленного комплекса, поскольку его наличие в существовавшем в то время виде объективно требовало сохранения многих союзных структур и не могло быть воспринято новым политическим порядком.

Попытка придания начавшимся процессам целенаправленного характера свелась к выделению в различных отраслях ведущих организаций и поручение им разработки государственных отраслевых программ развития. Первый проект такой программы по развитию отрасли бронетанкостроения был разработан «ХКБМ им. А.А. Морозова» в начале 1993 года. В ходе разработки этого проекта было выяснено, что для создания замкнутого производственного цикла внутри Украины всей номенклатуры бронетанкового вооружения и техники требуется: освоение производства артиллерийского и стрелкового вооружения, боеприпасов, оптических приборов, электроники, аккумуляторов, броневых конструкций из легких металлов и неметаллических материалов, резинотехнических изделий и многого другого. Другим неприятным моментом стала выявленная многотипность базовых шасси, используемых в армии для различного вооружения, в том числе и в пределах каждой весовой категории и их разунификация. Так, к примеру, даже в основных боевых танках использовались четыре типа ходовых частей и три типа силовых установок, которые были невзаимозаменяемы как в производстве, так и в эксплуатации.

Решение проблемы освоения производства объективно могло быть выполнено путем привлечения специализированных предприятий, ранее работавших в аэрокосмической, автотракторной и приборостроительной отраслях. Тем не менее, требовалось создание специализированных инженерных центров по разработке вооружения и всей номенклатуры боеприпасов. Так в г. Киев на базе завода «Большевик» был создан научно-технический центр артиллерийско-стрелкового вооружения (НТЦ АСВ). Для решения проблемы разунификации обосновывалась возможность и необходимость разрабатывать новые образцы бронетехники и вооружения на базе легкой и тяжелой весовых категорий и, как исключение, на промежуточной весовой категории. Вышеперечисленные принципы были положены в основу планов по продолжению и корректировке начатых еще в советский период НИОКР и при формировании и открытии новых. Для совершенствования имевшегося в производстве танка Т-80УД и освоения замкнутого цикла его производства в Украине была открыта ОКР «Жерн» – головной исполнитель «ХКБМ им. А.А. Морозова». В 1993 году был изготовлен опытный образец танка изд. 478ДУ, который в отличие от базовой машины имел ходовую часть по типу танка Т-64, двигатель большей (1200 л.с.) мощности и на нем был установлен комплекс оптико-электронного противодействия «Варта» – аналог советской системы «Штора».

Значительно более сложная, если не сказать тупиковая, задача сложилась с продолжением серийного производства. В наследство от Советской Армии в Украине осталось около 4 тысяч танков, в том числе: Т-55 – 168 ед., Т-64Р – 227 ед., Т-64А – 539 ед., Т-64Б1 – 539 ед., Т-64Б – 507 ед., Т-64БВ – 528 ед., Т-72А, Б1 – 1269 ед., Т-72Б – 40 ед., Т-80 – 11 ед., Т-80Б – 181 ед., Т-80БВ – 56 ед., Т-80УД – 12 ед.. При всем этом, подписанным международным соглашением об ограничении обычных вооружений в Европе, для Украины разрешалось иметь не более 2 тысяч танков. Примерно такое же соотношение по избытку вооружений складывалось по БМП, БТР и артиллерийским системам. Реальной задачей для Украины стала контролируемая международными инспекциями утилизация избытков вооружений, а начавшийся в 1993 году на постсоветском пространстве экономический коллапс просто снял с повестки дня для госу-

дарства заказы на производство бронетехники и, соответственно, целесообразность выполнения и завершения НИОКР, исходя из их конечной цели – внедрение в серийное производство. Оставалась лишь небольшая ниша для работ, связанных с решением проблем, вызванных разрывом производственных и торговых связей на постсоветском пространстве по обеспечению реальной эксплуатации техники в армии внутри страны и за ее пределами при участии в «миротворческих операциях».

Таким образом, первый период развития бронетехники, связанный с попыткой продолжения НИОКР и серийного производства по подобию советского ВПК, но с учетом возможностей украинской промышленности, к 1995 году закончился реальной их остановкой.

Естественной реакцией по выживанию отрасли в этих условиях стали попытки выхода на международные рынки вооружения и получения экспортных заказов. К этому времени при различных государственных структурах возникли фирмы и компании по экспорту товаров и услуг военного и двойного назначения, и постепенно начался процесс продвижения ими совместно с предприятиями разработчиками и изготовителями возможностей и продукции украинского ОПК на международных рынках.

На тот момент наиболее перспективными считались следующие рынки:

- ближневосточный рынок, как наиболее платежеспособный и товароемкий в связи с наличием политических противоречий среди ряда стран этого региона в борьбе за влияние на нефтяном рынке;
- восточноевропейский рынок, вызванный расширением НАТО на восток и обещанием финансировать альянсом модернизацию армий стран бывшего Варшавского договора под стандарты НАТО;
- азиатский рынок, базирующийся на противоречиях в треугольнике Индия-Китай-Пакистан;
- необходимость продления эксплуатации и модернизации огромного количества устаревшего советского вооружения по всему миру и невозможность по экономическим и политическим проблемам выполнения этой задачи правопреемником СССР – Российской Федерацией.

Была начата достаточно активная работа по всем этим направлениям. В 1993 году состоялась первая демонстрация танка Т-80УД в Пакистане (рис. 1).



Рисунок 1 – Танк Т-80УД

До этого пакистанское руководство в течение долгого периода времени в вопросах вооружения своей армии сотрудничало с США и Китаем. В основе этого сотрудничества лежали территориальные претензии между Пакистаном и Индией, с одной стороны, и между Китаем и Индией, с другой стороны. Территория Пакистана в 80-е годы использовалась США в качестве плацдарма в борьбе против СССР за влияние в азиатском регионе и против советских войск в Афганистане, но разработка и демонстрация Пакистаном ядерного оружия, без санкции США, привели к фактическому эмбарго на военно-техническое сотрудничество со стороны американского правительства. В конце 80-х годов начался очередной виток напряженности во взаимоотношениях с Индией, приведший к пограничным конфликтам, грозившим перерасти в настоящие боевые действия. Основу пакистанского танкового парка составляли устаревшие к тому времени китайские танки Т-59 и частично американские М-47. Китай на тот момент не мог предоставить новый современный танк, а наличие в индийской армии танков Т-72 советского и лицензионного местного производства, а также продолжающееся индо-российское военно-техническое сотрудничество ставило пакистанские вооруженные силы в заранее невыгодное положение в случае начала боевых действий. В такой ситуации оставался единственный путь скорейшей закупки современных новых танков, способных эксплуатироваться в условиях жаркого пустынного климата. После проведения успешных войсковых испытаний в 1995 году украинского танка был заключен контракт на поставку 320 танков Т-80УД в Пакистан.

Возобновление серийного производства танка Т-80УД заставило скорректировать работы по ОКР «Керн» и внедрить в него освоенные узлы, такие как обрешетчатая ходовая часть и сварная башня взамен



литой. Выполнение ОКР «Керн» завершилось принятием танка на снабжение Вооруженных Сил Украины в соответствии с Постановлением КМУ №237-5 от 08.02.2000 г. с присвоением индекса Т-84. Была заказана и головным изготовителем «Завод им. В.А.Малышева» вместе с кооперацией изготовлена установочная партия из 10-ти танков в 2001 году. Также вместе с работами по выполнению пакистанского контракта в ХКБМ была начата в 1996 году ОКР «Серьга» по разработке бронированной ремонтно-эвакуационной машины на базе танка «Керн», которая, пройдя требуемые этапы, завершилась в 2000 г. предварительными испытаниями опытного образца, а затем принятием его на вооружение. [4]

Другой страной азиатского региона, желавшей модернизировать свой танковый парк, был Иран. После свершения исламской революции в 1979 году и разрыва отношений с США, эта страна старалась как можно быстрее заменить американское вооружение на вооружение преимущественно советское или производства стран Варшавского договора. Процесс освоения лицензионного производства танка Т-72 первых модификаций в начале 90-х был заторможен по причине развала СССР, и к середине десятилетия назрела необходимость модернизации имевшихся на вооружении танков, как типа Т-55/59, так и Т-72.

В 1995 году ХКБМ им. А.А. Морозова провело испытания модернизированных образцов указанных танков в Иране, результаты которых открывали широкие перспективы сотрудничества по бронетехнике, но в силу политических обстоятельств правительство Украины подписало «Вессенарские соглашения» по контролю за распространением военных технологий и все договоренности были аннулированы.

В это же время начался процесс коренной переориентации стран Восточной Европы в сторону Запада со стремлением вступления в военный блок НАТО и экономической интеграции. Со стороны блока новым кандидатам было выставлено требование по приведению собственных армий по структуре, вооружению и численности в соответствие со стандартами НАТО. Начались сокращение устаревших вооружений и модернизация более новых. Практически во всех этих странах появились программы модернизации под НАТОвские стандарты танков Т-72, как силами собственной промышленности, так и с привлечением других стран. По коммерческим контрактам с другими зарубежными фирмами ХКБМ разработало и изготовило образцы нескольких вариантов модернизированных танков типа Т-72, которые демонстрировались на различных выставках вооружения и военной техники в Европе и на Ближнем Востоке под индексами: Т-72АГ (рис. 2), Т-72МП (рис. 3), Т-72-120 (рис. 4). [1]



Рисунок 2 – Танк Т-72АГ



Рисунок 3 – Танк Т-72МП



Рисунок 4 – Танк Т-72-120

Несмотря на то, что это были наиболее реалистичные из всех аналогичных проектов, из предложенных другими странами и фирмами, продолжения эти работы не имели. Как показали дальнейшие события, разговоры о стандартах НАТО для армий стран Восточной Европы были прикрытием для реализации излишков устаревшей техники западного производства и расширения рынка запасных частей и военных услуг для её обслуживания и ремонта.

Участие в международных выставках вооружений и военной техники IDEX, проводившихся раз в два года в столице Арабских Эмиратов, как на наиболее престижном рынке, в 90-е годы стало нормой для всех производителей военных товаров и услуг. В 1995 году впервые здесь был показан украинский танк Т-84 и затем для каждой последующей выставки готовились демонстрационные образцы различной бронетехники с неизменным участием ХКБМ. Такие выставки не имеют прямой коммерческой выгоды, но позволяют заявить о своих возможностях потенциальным потребителям и установить деловые контакты. Тем более, в то время незавершенность становления украинских внешнеэкономических структур способствовало привлечению к выставкам напрямую промышленных предприятий, что так же расширяло круг контактов и способствовало выводу на внешний рынок возможностей нашей промышленности из тени советского и российского ВПК.

К концу 90-х годов десятилетие мирового развития в условиях отсутствия политического блокового противостояния и образование огромной рыночной ниши для других стран на постсоветском пространстве позволило существенно укрепить экономику ряда стран, не являющихся промышленными лидерами, а добившихся этого за счет развития туризма, приграничной торговли и проведения рыночных реформ. Такие страны как Турция, Греция и Малайзия на рубеже веков объявили проведение международных тендеров на приобретение основного боевого танка для собственных армий. Процедурами этих тендеров было предусмотрено предоставление для тендерных испытаний образцов танков, коммерческих условий на их поставку и возможность участия в производстве заказываемых танков национальной промышленности заказчика. Приглашение к участию в этих тендерах получили страны, производящие наиболее современные танки, это США, ФРГ, Франция, Англия, Россия и Украина. Специально для участия в турецком тендере, где по его условиям требовался танк, вооруженный пушкой калибра 120 мм, была разработана модификация пушки путем замены ствола 125 мм на 120 мм ствол. Был изготовлен танк с измененным автоматом заряжания, который располагался в бронированном кормовом отсеке башни, для размещения 22 штук 120 мм снарядов НАТОвского стандарта и механизированной укладкой на 18 снарядов в корпусе. С целью сохранения преимущества отечественных танков в части установки на них ракетно-пушечного вооружения для этого танка, в ГККБ «Луч», г. Киев, была разработана на основе 125 мм танковой управляемой ракеты «Комбат» ракета аналогичного назначения в стандартных габаритах снаряда НАТО калибра 120 мм, получившая название «Конус».

Завершились тендеры в Греции и Турции приобретением партий танков Леопард-2, а в Малайзии в силу субъективных факторов победила польская фирма «Bumar» с танком Pz-91, представляющим модернизированную версию лицензионного советского танка Т-72. Тем не менее, участие в сравнительных испытаниях с техникой самых развитых стран позволило украинским танкостроителям увидеть сильные и слабые стороны своих танков, уточнить программы и технические пути их совершенствования. Основным недостатком являлось отсутствие отечественных тепловизионных приборов наблюдения и прицеливания, но по совокупности боевых и технических характеристик украинские танки не уступали, а по ряду характеристик и превосходили своих конкурентов.

По результатам этих испытаний решено было продолжить ОКР «Керн» по дальнейшему совершенствованию украинского танка в части: автоматизации процессов управления движением, усиления защиты, установки кондиционера, повышения дальности действительной стрельбы, внедрения комбинированного панорамного прицела командира, тепловизионного канала наблюдения в прицелах командира и наводчика, новой радиостанции и др. [13]

Эти работы завершились проведением в 2009 году государственных испытаний усовершенствованного танка и принятием его на вооружение в соответствии с Приказом Министра обороны Украины №252 от 28.05.2009 года с присвоением индекса БМ «Оплот» (рис. 5).



Рисунок 5 – Танк БМ «Оплот»

С течением времени, независимо от объема эксплуатации, происходил объективный процесс физического старения бронетехники, находящейся в украинской армии, в том числе для самых массовых машин – танков типа Т-64 и боевой машины пехоты БМП-1. Это требовало проведения как минимум капитального ремонта. Выполнение такого ремонта по документации советского периода не всегда было оправдано по причине неполного соответствия боевых и технических характеристик этих машин современным требованиям и по причине отсутствия запасных частей по целому ряду отдельных узлов для выполнения капитального ремонта. В этих условиях наиболее целесообразным стало совмещение ремонта и модернизации с использованием освоенных в Украине новых комплектующих. Такой подход позволял повысить характеристики машин после модернизации и обеспечить минимальную загрузку предприятий-поставщиков комплектующих в отсутствие серийного производства новой бронетехники. [2,3]

В соответствии с ТТЗ на ОКР «Лак», танки Т-64Б подлежали модернизации путем установки встроенной динамической защиты, системы управления огнем на базе комплектующих от танка Т-84, увеличения мощности двигателя до 850 л.с.. После выполнения ОКР и проведения государственных испытаний вышел Приказ Министра обороны №626 от 20.12.2004 г. о принятии на вооружение модернизированного танка Т-64 с присвоением индекса БМ «Булат» (рис. 6).



Рисунок 6 – Танк БМ «Булат»

Модернизация БМП-1 заключалась в повышении огневых возможностей путем замены башни на одноместный боевой модуль с комплексом вооружения, состоящий из 30 мм автоматической пушки ЗТМ-1 (аналог 2А72), спаренного пулемета КТ-7,62 (аналог ПКТ), автоматического гранатомета АГ-17 и ПТРК. Такой боевой модуль в соответствии с ОКР «Блиндаж» начал выполнять НТЦ АСВ. Была изготовлена установочная партия модернизированных БМП на ЖРМЗ. С целью обеспечения капитального ремонта машин БМП-2, в Украине также было освоено производство пушек ЗТМ-2 (аналог 2А42), стабилизатора

СВУ-500 для замены 2Э42 и др. Инициативно КП ХКБД, КП ХКБМ и ГП «ЗиМ» с целью продвижения двигателей своего производства изготовили образцы машин БМП-2 и БТР-50 с заменой штатной силовой установки на установку с двигателем типа ЗТД. Также в 2001 году КП ХКБД и ГП «ЗиМ» предприняли попытку установить такой двигатель на БМП-3 в ОАЭ.

Рыночная ниша по ремонту и модернизации советской бронетехники на рубеже веков на первый взгляд казалась огромной. По всему миру насчитывались десятки тысяч танков, БМП, БТР и специальных машин на их базе, поставленных из СССР за предыдущие полвека. Большое количество этой техники выработало ресурс, имело и боевые повреждения, так как активно использовалось практически во всех региональных конфликтах и также требовало модернизации, в первую очередь в части систем управления огнем и повышения уровня защиты. Украинские предприятия отрасли выполнили опытно-конструкторские работы по модернизации танков типа Т-54/55/62, боевых машин пехоты БМП-1, бронетранспортеров БТР-60/70, транспортеров-тягачей МТ-ЛБ, ЗСУ 23-4 «Шилка» и других машин. Были проведены многочисленные показы этой техники потенциальным потребителям, но фактически во всем мире эта компания не имела большого успеха, поскольку страны СНГ и Восточной Европы в рамках сокращения своих армий предложили на рынок снятую с хранения технику и в связи с избыточным предложением по крайне низким остаточным ценам. Так танк Т-55 предлагали по цене порядка 50 тыс. дол. США, Т-72 по цене 150 – 300 тыс. дол. США. Такой уровень цен исключал возможность проведения какой-либо серьезной модернизации по текущим производственным ценам для продукции нового изготовления. Поэтому фактически Украине удалось лишь заключить несколько контрактов на проведение капитального ремонта танков, БМП и БТР на ремонтно-механических заводах МОУ для иностранных заказчиков.

Требование поставки вместе с танками машин технического обеспечения позволило КТЦ МОУ разработать, а Киевскому ремонтно-механическому заводу освоить, производство украинского аналога бронированной ремонтно-эвакуационной машины БРЭМ-1 на шасси танка Т-72 под индексом БТС-4. [6,8]

Вторая половина 90-х годов вызвала повышенный интерес к легкобронированной колесной технике. До этого такая техника рассматривалась как дополнение к гусеничным бронетранспортерам и боевым машинам пехоты. Однако, активное вовлечение ряда стран в локальные гражданские конфликты и «миротворческие операции» на Балканах и в Африке потребовали использования бронетехники, способной совершать быстрые перемещения и патрулирование по дорогам общего пользования в урбанизированных зонах. Особенно ярко это было продемонстрировано действиями российского миротворческого батальона, использовавшего бронетранспортеры БТР-80 при захвате аэропорта в Приштине на территории бывшей Югославии. Все страны и фирмы, имеющие производство бронетехники, активно начали разработку и производство полноприводных или модернизацию имеющихся колесных бронетранспортеров колесных формул 4x4, 6x6 и 8x8 для выполнения таких задач.

В это время парк колесных бронетранспортеров в Украине насчитывал более 2300 машин и в основном состоял из БТР-70 (около 1500) машин, и, в меньшем количестве, БТР-60 (около 300 единиц) и БТР-80 (более 500 единиц). При этом, БТР-60 и БТР-70 оборудовались устаревшими бензиновыми двигателями, существенно снижавшими технические характеристики этих машин. Для исправления такого положения МОУ была открыта ОКР «Привод», ставившая целью модернизацию БТР-70 при проведении капитального ремонта путем замены бензиновых двигателей на тракторные дизельные двигатели СМД-6 украинского производства с минимальными затратами, и ОКР «Бульб» по аналогичной модернизации БРДМ-2 путем установки двигателя СМД-14 (рис. 7). [9]



Рисунок 7 – Бронированная разведывательно-дозорная машина БРДМ-2ЛД

ХКБМ им. А.А. Морозова были разработаны и изготовлены образцы таких модернизированных машин в 1997 году. Проведенные предварительные испытания показали, что использование высокомо-

ментного низкооборотного тракторного двигателя с сохранением базовых узлов трансмиссии, разработанных под высокооборотные бензиновые двигатели, не взирая на сохранение скоростного диапазона и повышение экономичности, не позволяет получить реальное повышение параметров подвижности и снижает надежность трансмиссии.

С учетом этого работы по теме «Привод» были прекращены и были начаты работы по темам «Привод-1» и «Привод-2» по модернизации БТР-70 и БТР-60 путем установки одного двигателя типа УТД-20, поскольку имелся большой запас этих двигателей на базах хранения и имелся завод «Юждизель» по их производству в г.Токмак Запорожской области. Опытный образец БТР-70М с таким двигателем прошел предварительные и государственные испытания и был принят на вооружение (рис. 8).



Рисунок 8 – Бронетранспортер БТР-70 с двигателем УТД-20

Были изготовлены установочная партия таких БТР на «Николаевском ремонтно-механическом заводе» для Вооруженных Сил Украины и партия машин для Македонии. Однако, к этому времени запас двигателей УТД-20 был израсходован на проведение капитальных ремонтов БМП для Вооруженных Сил Украины и для поставки на экспорт, а запуск завода «Юждизель», к тому времени фактически остановленного, для выполнения намеченной программы модернизации экономически оказался нецелесообразен для бюджета Украины. Поэтому в дальнейшем госзаказа на модернизацию БТР-70 до уровня БТР-70М не последовало, а тема «Привод-2» по модернизации БТР-60 была остановлена после изготовления опытного образца.

Работы по ОКР «Бульб» завершились изготовлением партии модернизированных БРДМ-2 для украинских миротворцев в Косово на НРМЗ и также не имели дальнейшего продолжения, в том числе и по причине банкротства и ликвидации харьковских заводов «Серп и молот» и «Завода тракторных двигателей» (ХЗТД), изготовителей двигателей серии СМД. Состояние экономики в Украине и экономические противоречия между финансово-промышленными группами привели к преднамеренному банкротству и ликвидации всех трех заводов по производству двигателей мощностного диапазона до 300 л.с.. Это фактически поставило отечественное машиностроение в зависимость от иностранных поставщиков по наиболее важной составляющей при производстве любой транспортной техники и лишило на обозримый период перспектив выхода из этой ситуации.

В начале 2000-х годов на внешних рынках имелся спрос на колесную легкобронированную технику, который не полностью удовлетворялся, с одной стороны, по причине высокой стоимости образцов западного производства, с другой стороны, фактической остановкой производства бронетранспортеров БТР-80 и отсутствием производства БТР-90 в Российской Федерации. По инициативе ГК «Укрспецэкспорт» и ее дочерних компаний, при участии КП ХКБМ, была сформирована концепция организации производства бронетранспортеров в Украине для поставки на экспорт с привлечением различных предприятий. Была открыта ОКР «Броня». Работа заключалась в создании образца путем глубокой модернизации советского бронетранспортера БТР-80 и организации на его основе производственной кооперации. БТР-80 был выбран в качестве базового по следующим причинам:

– это был последний и наиболее совершенный образец колесного бронетранспортера, созданного в СССР;

– на этот образец имелся полный комплект рабочей конструкторской документации, официально направленный в советское время на КТЦ МОУ;

– имелся обобщенный опыт эксплуатации и боевого применения этого бронетранспортера личным составом армии с выявлением сильных и слабых сторон этого образца.

В основу глубокой модернизации БТР-80 при создании украинского бронетранспортера были использованы следующие концептуальные положения:

1. Повышение грузоподъемности шасси за счет внедрения более мощной силовой установки и усиления подвески.

2. Увеличение объема корпуса для повышения запаса плавучести и более удобного размещения экипажа.

3. Исключение ограничения максимальной скорости движения по шоссе (80 км/ч в течение не более одного часа) за счет новой силовой установки и колес с шинами с повышенным скоростным индексом.

4. Обеспечение работы силовой установки без ограничений при температуре окружающей среды до +55 °С.

5. Повышение комфорта для экипажа за счет установки системы кондиционирования воздуха в обитаемом отделении.

6. Установка комплекса из различного вооружения, придающего бронетранспортеру качества боевой машины пехоты.

Эти работы завершились созданием бронетранспортеров серии БТР-3, поэтапной организацией их производства и заключения ряда контрактов на экспортные поставки (рис. 9). Различные модификации этого бронетранспортера отличаются используемыми по требованиям заказчиков двигателями, коробками перемены передач, установкой башенных боевых модулей с различным вооружением. [5]



Рисунок 9 – Бронетранспортер БТР-3Е1

Организация производства БТР-3 позволила Украине реально утвердиться на внешнем рынке не только как поставщику танков, но и легкобронированной техники. Полученные новые производственные возможности возможно было использовать для дальнейшего расширения модельного ряда такого класса бронетехники. С 2002 г. КП ХКБМ начало инициативные работы по созданию перспективных бронетранспортеров. Были изготовлены и испытаны ходовые макеты БТР-4 колесной формулы 8x8 (рис. 10) и «Дозор-Б» 4x4 (рис. 11). [10,11]

В сравнении с широко распространенными бронетранспортерами концепция создания бронетранспортера БТР-4 предусматривает наряду с сохранением всех присущих им положительных эксплуатационных качеств обеспечение ряда новых служебных свойств:

1. Увеличенная грузоподъемность шасси с целью обеспечения большого числа вариантов исполнения по устанавливаемому вооружению, оборудованию и защите от обычного бронетранспортера до колесной боевой машины пехоты.

2. Возможность установки различных боевых модулей и башен с диаметром погона от 750 до 1700 мм без переделки корпуса за счет использования съемной средней части крыши корпуса.

3. Увеличение максимальных скоростей движения до 110–120 км/ч, что позволяет двигаться по дорогам общего пользования, не создавая помех автомобильному транспорту.

4. Улучшение эргономики экипажа и десанта путем внедрения в конструкцию кондиционера, автоматической трансмиссии, регулируемой рулевой колонки и боковых дверей.

5. Улучшение обзорности, без ухудшения защитных характеристик, на месте водителя для облегчения движения по дорогам общего пользования и в населенных пунктах.

6. Крепление сидений к крыше и бортам корпуса для снижения воздействия минного подрыва на экипаж и десант.

7. Использование общей компоновки с расположением моторного отсека посередине корпуса с целью обеспечения оптимальной развесовки на плаву и выхода экипажа и десанта через кормовые двери или аппарель.

8. Трансформируемый отсек десанта, позволяющий в эксплуатации устанавливать сиденья в зависимости от расположения людей или перевозимых грузов. Складные быстросъемные сиденья могут устанавливаться для обеспечения посадки лицом к борту при ведении стрельбы, спиной к борту на длительных маршах и перевозке людей и грузов, складываться или сниматься для перевозки грузов.



Рисунок 10 – Бронетранспортер БТР-4



Рисунок 11 – Бронетранспортер «Дозор-Б»

Активное продвижение этого проекта позволило открыть ОКР «Ладья» для отработки БТР-4 для армии Украины и принять на вооружение в 2012 году а так же заключить контракт на поставку 420 этих бронетранспортеров и семейства машин для Министерства обороны Республики Ирак. Заложенные в базовую конструкцию бронетранспортера компоновочные решения позволили в короткие сроки создать на его базе целый ряд специальных машин, командирскую машину БТР-4К, командно-штабную БТР-4КШ, медицинскую бронированную машину БММ-4С, ремонтно-эвакуационную машину БРЭМ-4РМ (рис. 12).



Рисунок 12 – Семейство машин на базе бронетранспортера БТР-4

Следует отдельно сказать еще об одном направлении по созданию и освоению производства продукции специального назначения такой, как комплексные динамические тренажеры по обучению экипажей бронетехники (рис. 13).



Рисунок 13 – Тренажеры по обучению экипажей бронетехники

Пионером по освоению такой продукции в Украине стало КП ХКБМ, когда во второй половине 90-х годов потребовались такие изделия для укомплектования поставляемых на экспорт боевых машин. Большой опыт работы по созданию бронетехники позволил разработать ряд программно-информационных комплексов на основе математических моделей, что в сочетании с унифицированной динамической платформой позволило в короткие сроки создавать и изготавливать современные тренажеры и средства обучения практически для любой бронетехники. [14,15,16] Так для украинской армии были приняты на вооружения комплексные динамические тренажеры экипажа для танка Т-64Б и боевой машины пехоты БМП-2. Для экспорта были освоены аналогичные тренажеры для танков Т-72, Т-55, Т-80УД, «Аль-Халид» и бронетранспортеров типа БТР-3 и БТР-4.[12] В дальнейшем ввиду широкого спроса на такую продукцию по протекции компании ГК «Укрспецэкспорт» подобные по назначению изделия стали производить коммерческие фирмы «Энергия 2000», концерн «МАТЦ» и др. [15,16]

Несмотря на прогресс в создании и производстве боевых бронированных машин, дальнейшее развитие специальных машин в Украине фактически прекратилось. Имея уникальные технические и эксплуатационные характеристики, многоцелевые транспортеры тягачи МТ-Т, МТ-ЛБ, ПТС-М, путепрокладчики БАТ-2, землеройная машина МДК-3, машина разграждения ИМР-2М, самоходные паромы и другая инженерная техника, изготавливавшаяся в 80-е годы в Украине, не была востребована внутри страны в 90-е годы по указанным ранее причинам. Армии других стран имеют менее грандиозные задачи в сравнении с Советской Армией. Для выполнения задач по транспортировке грузов и инженерному обеспечению войск в большинстве стран широко используется адаптированная к военным условиям коммерческая транспортная и дорожно-строительная техника собственного производства.



Тем более за последние 20 лет наблюдалось бурное развитие отраслей транспортного машиностроения в развивающихся странах на основе продвижения транснациональных корпораций своих производств в страны с более дешевой рабочей силой. Все это ограничило экспортные поставки такой техники из Украины до отдельных образцов. Производимый ХТЗ транспортер-тягач МТ-ЛБ, выпущенный ранее в количестве около 35 тыс. единиц, был широко представлен в мире, производился в Польше и Болгарии, также предлагался на рынке из сокращаемых армий стран Восточной Европы. Несмотря на достаточно активную работу по модернизации этой машины в части общего повышения характеристик и установки различного вооружения, проведенную ОГК-Т ХТЗ, заводу удалось лишь поставить небольшие партии МТ-ЛБ на экспорт. Поскольку все заводы, выпускавшие специальную технику, были многопрофильными, с большой долей гражданской продукции, то в отсутствии государственных заказов и заинтересованности сохранения их в госсобственности, начались процессы по приватизации этих предприятий с целью перемены формы собственности, в том числе и с участием в их управлении иностранного капитала. Это привело в настоящее время к ликвидации существовавшего ранее на большинстве заводов производства специальной инженерной и транспортной техники, и прекращения выполнявшихся опытно-конструкторских работ по ее совершенствованию и созданию новых образцов.

### **Заключение**

В настоящее время бронетехника является одним из видов высокотехнологичной экспортной продукции Украины. За последние 20 лет кроме танков в Украине освоено производство легкобронированной колесной техники, но было фактически утрачено производство инженерных машин и транспортеров-тягачей. Произошло уменьшение общей номенклатуры выпускаемых изделий, но при этом существенно расширилась номенклатура производимых комплектующих узлов, различных систем и вооружения для использования в бронетехнике. Соответственно, уменьшилось количество предприятий изготовителей конечной продукции, которыми фактически являются КП ХКБМ им. А.А. Морозова, ГП «Завод имени В.А. Малышева» и заводы капитального ремонта, вышедшие в настоящее время из структуры МОУ. Существенно расширился круг предприятий по поставке материалов и комплектующих, образующих кооперацию и обеспечивающих производство по замкнутому внутри Украины циклу по первому уровню комплектации. Развитие отечественной бронетехники было продиктовано с большей степенью требованиями международного рынка вооружений, а также необходимостью продления эксплуатации имеющихся машин в своей армии и в меньшей степени требованиями по повышению тактико-технических характеристик. На внешнем рынке более востребованными оказались боевые машины, поскольку современные системы вооружения и управления способны производить относительно небольшое количество стран. Наибольшие экспортные успехи были достигнуты, когда продукция отвечала всем техническим требованиям потенциального заказчика, по стоимости соответствовала возможностям его бюджета и отсутствовало политическое противодействие приобретению украинского вооружения со стороны наиболее влиятельных стран или это противодействие было ими взаимно нейтрализовано.

### **Выводы**

В ближайшей перспективе, очевидно, сохранится экспортная ориентированность отечественной бронетанковой отрасли, поскольку возможные государственные заказы не смогут полностью обеспечить загрузку предприятий промышленности.

Для сохранения позиций на внешнем рынке необходимо проведение ОКР по повышению огневой мощи, внедрению систем автоматизированного управления и повышения уровня защиты от различных средств поражения, как с целью наработки задела, так и внедрения в серийное производство результатов этих работ.

Конструкция создаваемых образцов боевой техники должна учитывать возможность создания на их базе различных модификаций и семейства машин с относительно небольшими изменениями, с целью быстрой адаптации под требования конкретных заказчиков без дорогостоящей подготовки производства.

Аналогичные требования должны предъявляться и к вновь создаваемым комплектующим изделиям, когда их применение должно обеспечиваться в различных новых образцах и для проведения модернизации имеющейся техники.

В современных условиях целесообразно создавать и производить бронетехнику в международной кооперации, при этом базовая конструкция должна быть, при необходимости, воспроизводимой по замкнутому циклу внутри страны для исключения зависимости производства от третьих стран.

### **Литература**

1. Веретенников А.И. Перспективы развития отечественного специального транспортного машиностроения // Сучасне машинобудування. – 1999. – Вып.2. – С. 3–8.

2. Бусяк Ю.М., Веретенников А.И., Волков С.В. Совершенствование основных боевых танков (ОБТ) за последнее десятилетие // *Механіка та машинобудування*. – 2002. – Вып. 2. – С. 110–116.
3. Борисюк М.Д., Бусяк Ю.М., Вакуленко В.В., Веретенников А.И., Куров Н.К., Таран Ю.И. О модернизации существующего парка танков и продление их жизнедеятельности // *Механіка та машинобудування*. – 2004. – Вып. 2. – С. 115–120.
4. Пат. 29531 UA, МКВ 6 F41H 7/00. Броньована ремонтно-евакуаційна машина. / Борисюк М.Д., Веретенников О.І., Воловик М.В., Гнедаш М.Ф., Розсказов І.І., Магерамов Л.К.-А., Лашенко В.Г., Бакушин А.О., Бусяк Ю.М. – №99031423; Заявлено 16.03.1999; Опубл. 15.11.2000, Бюл. №6.
5. Пат. 5747 UA, МКПЗ 12–13. Бойова броньована машина. / Роїк Ю.Г., Белевцев М.Г., Мельников О.К., Веретенников О.І., Суханов Л.С., Дреус С.Ю., Юр'єв Е.А., Волков С.В., Медвідь В.С., Бусяк Ю.М., Магерамов Л.К.-А., Борисюк М.Д. – №2001080825; Заявлено 07.08.2001; Опубл. 15.03.2002, Бюл. №3.
6. Пат. 5747 UA, МКПЗ 12–13. Броньована ремонтно-евакуаційна машина. / Борисюк М.Д., Бусяк Ю.М., Веретенников О.І., Колегаєв О.Ю., Кушинський В.П., Магерамов Л.К.-А., Медвідь В.С., Максимов С.В., Яковець С.О. – №2001111128; Заявлено 05.11.2001; Опубл. 15.05.2002, Бюл. №5.
7. Пат. 29531 UA, МКПЗ 12–13. Броньований транспортний засіб / Воловик М.В., Гнедаш М.Ф., Півнев О.І., Веретенников О.І., Стеценко О.О., Павлов О.Є., Сидоров К.В., Магерамов Л.К.-А., Бусяк Ю.М., Борисюк М.Д. – №2001080823; Заявлено 07.08.2001; Опубл. 15.03.2002, Бюл. №3.
8. Пат. 29531 UA, МКПЗ 12–13. Броньована ремонтно-евакуаційна машина. / Борисюк М.Д., Бусяк Ю.М., Магерамов Л.К.-А., Веретенников О.І., Воловик М.В., Розсказов І.І., Істратов О.В., Бершов О.В., Бакушин А.О., – №99040171; Заявлено 09.04.1999; Опубл. 12.11.1999, Бюл. №7.
9. Веретенников А.И., Волков С.В. Влияние различных трансмиссий на характеристики подвижности военных колесных машин // *Інтегровані технології та енергозбереження*. – 2001. – Вып. 4. – С. 52–58.
10. Пат. 12713 UA, МКПЗ 12–08. Транспортний засіб. / Борисюк М.Д., Бусяк Ю.М., Веретенников О.І., Розсказов І.І., Скринник В.О., Федоренко Є.В. – №200501101; Заявлено 15.08.2005; Опубл. 15.09.2006, Бюл. №9.
11. Пат. 12713 UA, МКПЗ 12–13. Броньований транспортний засіб. / Борисюк М.Д., Бусяк Ю.М., Веретенников О.І., Розсказов І.І., Скринник В.О., Сухіна М.Ф., Федоренко Є.В. – №200501101; Заявлено 15.08.2005; Опубл. 15.03.2007, Бюл. №3.
12. Харьковское конструкторское бюро по машиностроению имени А.А. Морозова / А.И. Веретенников, И.И. Рассказов, К.В. Сидоров, Е.И. Решетило. – Харьков, 2007. – 188 с.; ил.
13. Аврунин Г.А., Веретенников А.И., Деркач О.И., Кабаненко И.В., Корецкий А.Н., Лизунов К.М., Початовский С.В. Методика расчета объемного гидропривода для двухпоточной гидромеханической коробки передач // *Промислова гідравліка і пневматика*. – 2009. – Вып. 1(23). – С.15–20.
14. Веретенников А.И., Мушинский Ю.М., Нефедов А. В. Особенности расчета сопротивления движению боевой колесной машины на плаву // *Механіка та машинобудування*. – 2010. – Вып. 2. – С.115–120.
15. Научно-технический отчет «Разработка и внедрение программно-информационного комплекса тренажера оператора изделия БТР-3Е1» КП ХКБМ, 2011 г.
16. Научно-технический отчет «Разработка и внедрение программно-информационного комплекса тренажера оператора изделия БТР-4» КП ХКБМ, 2011 г.

## Bibliography (transliterated)

1. Veretennikov A.I. Perspektivnyi razvitiya otechestvennogo spetsialnogo transportnogo mashino-stroeniya Suchasne mashinobuduvannya. – 1999. – Vyip.2. – p. 3–8.
2. Busyak Yu.M., Veretennikov A.I., Volkov S.V. Sovershenstvovanie osnovnykh boevykh tankov (OBT) za poslednee desyatiletie Mehanika ta mashinobuduvannya. – 2002. – Vyip. 2. – p. 110–116.
3. Borisyuk M.D., Busyak Yu.M., Vakulenko V.V., Veretennikov A.I., Kurov N.K., Taran Yu.I. O modernizatsii suschestvuyushchego parka tankov i prodlenie ih zhiznedeyatelnosti Mehanika ta mashinobuduvannya. – 2004. – Vyip. 2. – p. 115–120.
4. Pat. 29531 UA, MKV 6 F41H 7/00. Bronovana remontno-evakuatsiyana mashina. Borisyuk M.D., Veretennikov O.I., Volovik M.V., Gnedash M.F., Rozskazov I.I., Mageramov L.K.-A., Laschenko V.G., Bakushin A.O., Busyak Yu.M. – #99031423; Zayavleno 16.03.1999; Opubl. 15.11.2000, Byul. #6.
5. Pat. 5747 UA, MKPZ 12–13. Boyova bronovana mashina. Roik Yu.G., Belevtsev M.G., Meinikov O.K., Veretennikov O.I., Sukanov L.E., Dreus S.Yu., Yur'ev E.A., Volkov S.V., Medvid V.S., Busyak Yu.M., Mageramov L.K.-A., Borisyuk M.D. – #2001080825; Zayavleno 07.08.2001; Opubl. 15.03.2002, Byul. #3.

6. Pat. 5747 UA, MKPZ 12–13. Bronovana remontno-evakuatsiyna mashina. Borisyuk M.D., Busyak Yu.M., Veretennikov O.I., Kolegaev O.Yu., Kuschinskiy V.P., Mageramov L.K.-A., Medvid V.S., Maksimov S.V., Yakovets S.O. – #2001111128; Zayavleno 05.11.2001; Opubl. 15.05.2002, Byul. #5.
7. Pat. 29531 UA, MKPZ 12–13. Bronovaniy transportniy zasib Volovik M.V., Gnedash M.F., Pivnev O.I., Veretennikov O.I., Stetsenko O.O., Pavlov O.E., Sidorov K.V., Mageramov L.K.-A., Busyak Yu.M., Borisyuk M.D. – #2001080823; Zayavleno 07.08.2001; Opubl. 15.03.2002, Byul. #3.
8. Pat. 29531 UA, MKPZ 12–13. Bronovana remontno-evakuatsiyna mashina. Borisyuk M.D., Busyak Yu.M., Mageramov L.K.-A., Veretennikov O.I., Volovik M.V., Rozskazov I.I., Istratov O.V., Bershov O.V., Bakushin A.O., – #99040171; Zayavleno 09.04.1999; Opubl. 12.11.1999, Byul. #7.
9. Veretennikov A.I., Volkov S.V. Vliyaniye razlichnykh transmissiy na harakteristiki podvizhnosti voennykh kolesnykh mashin Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennya. – 2001. – Vyip. 4. – p. 52–58.
10. Pat. 12713 UA, MKPZ 12–08. Transportniy zasib. Borisyuk M.D., Busyak Yu.M., Veretennikov O.I., Rozskazov I.I., Skrinnik V.O., Fedorenko E.V. – #200501101; Zayavleno 15.08.2005; Opubl. 15.09.2006, Byul. #9.
11. Pat. 12713 UA, MKPZ 12–13. Bronovaniy transportniy zasib. Borisyuk M.D., Busyak Yu.M., Veretennikov O.I., Rozskazov I.I., Skrinnik V.O., Suhina M.F., Fedorenko E.V. – #200501101; Zayavleno 15.08.2005; Opubl. 15.03.2007, Byul. #3.
12. Harkovskoe konstruktorskoe byuro po mashinostroeniyu imeni A.A. Morozova A.I. Veretennikov, I.I. Rasskazov, K.V. Sidorov, E.I. Reshetilo. – Harkov, 2007. – 188 p.; il.
13. Avrunin G.A., Veretennikov A.I., Derkach O.I., Kabanenko I.V., Koretskiy A.N., Lizunov K.M., Pochatovskiy S.V. Metodika rascheta ob'emnogo gidroprivoda dlya dvuhpotochnoy gidromehanicheskoy korobki peredach Promislova gidravlika i pnevmatika. – 2009. – Vyip. 1(23). – p.15–20.
14. Veretennikov A.I., Muschinskiy Yu.M., Nefedov A. V. Osobennosti rascheta soprotivleniyu dvizheniyu boevoy kolesnoy mashiny na plavu Mehanika ta mashinobuduvannya. – 2010. – Vyip. 2. – p.115–120.
15. Nauchno-tehnicheskyy otchet «Razrabotka i vnedrenie programmno-informatsionnogo kompleksa trenazhera operatora izdeliya BTR-3E1» KP HKBM, 2011 g.
16. Nauchno-tehnicheskyy otchet «Razrabotka i vnedrenie programmno-informatsionnogo kompleksa trenazhera operatora izdeliya BTR-4» KP HKBM, 2011 g.

УДК 623.438

Веретенніков О.І.

### **РОЗВИТОК УКРАЇНСЬКОЇ БРОНЕТЕХНІКИ ЗА ОСТАННІ 20 РОКІВ (1992–2011 р.р.)**

Стаття містить огляд зміни технічного рівня та стану виробництва бронетехніки в Україні за останні десятиріччя під впливом політичних, економічних, ринкових та інших факторів з метою прогнозування можливих шляхів її розвитку та головних факторів, що впливають на цей процес в наявній ситуації.

Veretennicov A.I.

### **DEVELOPMENT OF UKRAINIAN ARMORED VEHICLE FOR THE PERIOD OF THE LAST 20 YEARS (1992-2011)**

This article includes review of the technical level change and state of armored vehicle production in Ukraine for the last decade under the influence of political, economic, market and other forces to forecast promising lines of its development and the main factors making effect on this process at present situation.

УДК.623.421.4

Волченко Ю.И., Ковалив В.И., Малахов В.А.

**АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ТЕНДЕНЦИЙ НА РЫНКЕ БРОНЕТЕХНИКИ  
НА ОСНОВЕ ЭКСПОНАТОВ ВЫСТАВКИ EUROSATORY 2012**

Международная выставка наземной и воздушной обороны и безопасности Eurosatory 2012, которая прошла в выставочном центре Paris Nord Villepinte с 11 по 15 июня 2012 года [1], является наиболее авторитетным мероприятием среди аналогичных в Европе. В 2012 году на выставке были представлены 1433 компании из 53 стран, ее посетило 157 делегаций из 84 стран. Всего на ней побывало 53 357 посетителей, 55 % которых были иностранцами. Выставка может служить отражением основных тенденций, которым будет следовать бронетанкостроение в ближайшие годы, так как на ней представляют свои последние достижения все ведущие европейские производители военной техники, а также основные компании из неевропейских стран. Экспонаты, продемонстрированные разработчиками, отражают их видение перспектив развития этого сегмента рынка.

**Рост интереса к гусеничным бронированным машинам**

Eurosatory 2012 стала одной из первых выставок, на которой четко прослеживался рост предложений в сегменте гусеничной техники. В значительной степени этот процесс подстегивается объявленными несколько лет назад и в настоящее время финансируемыми крупными программами GCV в США и Scout SV в Великобритании. Фактически это программы создания и производства боевой машины пехоты (БМП) нового поколения. Данный рост происходит на фоне падения в течение последних нескольких лет поставок колесных бронетранспортеров [2].

В области тяжелой гусеничной техники больших инноваций не наблюдалось. Были представлены разработанный ХКБМ им. А.А. Морозова украинский танк БМ «Оплот», модернизированные российский Т-90 и тяжелая машина огневой поддержки «Терминатор», германские MBT Revolution (глубоко модернизированный Leopard 2) и Leopard 2 А6М CAN, которые ранее уже демонстрировались на международных выставках.

А вот доля легких гусеничных машин, и особенно новинок, значительно возросла. Из уже известных машин германская компания Rheinmetall продемонстрировала миномет lePzMrs на базе легкого гусеничного шасси Wiesel 2.



Рисунок 1

Кроме того, эта компания впервые представила два новых варианта модернизации боевой машины пехоты Marder – гусеничный бронетранспортер Marder APC и танк среднего веса [3]. Эти боевые машины пехоты, постепенно снимаемые с вооружения немецкой армии, теперь предлагаются на экспорт. При этом проводится их модернизация для удовлетворения требований к обеспечению современных военных операций. Взяв две капитально отремонтированных БМП Marder, Rheinmetall провела работы по внедрению новых технологий защиты, улучшению мобильности, а также установила дополнительные современные системы, объединив их с проверенной и испытанной платформой. По мнению разработчиков, это привело к появлению новой, экономически эффективной машины. Представленные машины имеют на вооружении боевой модуль с дистанционным управлением M151 Protector у Marder APC, а также башню с пушкой калибра 105 мм – у танка.

Модернізований бронетранспортер Marder APC має баллістичну захиту, що відповідає вимогам стандарту STANAG рівень 4+, а також противоміну захиту рівня 3a/3b+, в результаті чого вага машини виросла до 33 тонн. Криша корпусу була піднята, щоб покращити ергономіку.

Модернізований Marder в виконанні середнього танка має башню з основним озброєнням калібру 105 мм виробництва італійської компанії Oto-Melara, а також додаткову броню. Загальна вага машини після модернізації виросла до 43 тонн. На модернізованих Marder використовується новий дизельний двигачель MTU MB883 потужністю 600 л.с.



Рисунок 2

General Dynamics European Land Systems, європейське підрозділення американської корпорації General Dynamics, представила макетний зразок розвідувальної машини ASCOD 2 SV – нової гусеничної броньованої машини, створеної на базі удосконаленого шасі БМП ASCOD, яка знаходиться на озброєнні армії Австрії під іменем Ulan і Іспанії під іменем Pizarro [4]. General Dynamics з цією машиною стала переможцем тендера міністерства оборони Великої Британії на створення і випуск перспективної спеціалізованої розвідувальної машини Scout SV. Розробники пропонували ASCOD 2 на першому етапі тендера програми GCV армії США, але в подальшому для американського ринку ця компанія спільно з Rheinmetall почала продвигати в якості претендента БМП Puma.

Основні особливості, якими привлекла до себе британську армію машина ASCOD 2 SV:

- сучасна високопродуктивна трансмісія, яка розрахована на 30-річний термін експлуатації машини і тим самим усуває необхідність в капітальному ремонті в середині життєвого циклу;
- можливість збільшення загальної ваги машини до 42 тонн, що забезпечує в перспективі проведення модернізації і підвищення захиту від майбутніх загроз, які можуть з'явитися за час 30-річної експлуатації;
- загальна базова платформа, на якій будуть будуватися інші варіанти машини, такі як бронетранспортер, броньована висококомобільна машина, ремонтно-евакуаційна машина і т.д.;
- власна відкрита електронна архітектура, доступна во всіх варіантах, яка зробить парк машин Scout SV простіше в обслуговуванні, полегчить підготовку екіпажів, буде грати ключову роль в зменшенні витрат впродовж всього терміну експлуатації машин.

Порівняно з базовою машиною удосконалена має збільшений до 1700 мм діаметр погону. Новий погон Scout SV дозволяє збільшити вогневу потужність за рахунок більшого простору всередині башні, розширює можливості для установки сучасних дисплеїв, підвищує комфорт при тривалому перебуванні всередині башні, полегшує рухи навіть при носінні повного бронезилета. Відкрита електронна архітектура дозволяє в майбутньому легко проводити удосконалення і модернізацію.

На продемонстрованому в час проведення виставки зразку була встановлена башня СТWS, в якій використовується революційне телескопічне озброєння СТ40 калібру 40 мм, розроблене компанією СТАІ, яка є спільним підприємством британської BAE Systems і французької Nexter. Таке озброєння разом з спеціальними боєприпасами забезпечує значно більшу здатність поразити броньовані цілі і споруди, ніж у звичайних озброєнь такого ж калібру.

Що стосується компанії BAE Systems, то вона, незважаючи на те, що має на сьогоднішній день досить велику гамму гусеничної техніки класу БМП (сімейства Bradley і CV90), вирішила вивчити можливість її розширити. Одно з підрозділень компанії вже отримало завдання на виготовлення до

конца 2012 года демонстрационного образца, однако затем полномасштабный запуск программы был приостановлен, и на выставке Eurosatory 2012 для ознакомления с возможной реакцией клиентов была проведена презентация новой машины CV21 массой от 15 до 17 тонн [5]. Для вооружения машины используется та же башня, которая установлена на ASCOD 2 SV.



Рисунок 3

BAE считает, что в классе легких гусеничных машин существует противоречие между предлагаемым ими хорошим уровнем защиты и недостаточной подвижностью в районах, где инфраструктура дорог и мостов не предназначена для 36–40-тонных платформ – таких, как CV90 компании BAE и ASCOD компании General Dynamics U.K.

CV21 имеет свои корни в семействе CVR(T), которое находится на вооружении по всему миру уже в течение сорока лет. По заявлению разработчиков, новая конструкция будет больше, длиннее, тяжелее и шире, чем CVR(T).

Ранее BAE конкурировала в Великобритании с General Dynamics, предлагая для программы Scout SV свою машину на базе CV90, однако, так как в настоящее время компания стала фактически крупнейшим соисполнителем General Dynamics в данном проекте, поставляя для него башню, она с осторожностью относится к данному рынку. Видимо, этим вызвано то, что во время презентации особо подчеркивалось, что новый проект CV21 не будет предлагаться для собственной армии.

По планам BAE шасси новой машины должно иметь целевую цену в 1 миллион фунтов стерлингов (\$ 1,6 млн.), и предназначена машина будет прежде всего для экспортных рынков в такие регионы, как Ближний Восток, Дальний Восток и Южная Америка. По крайней мере первоначально BAE будет ориентироваться на экспорт для 15 клиентов, которые имеют на вооружении более машину компании CVR(T), а также другие машины данного семейства. Среди этих стран Иордания, Оман, Малайзия, Объединенные Арабские Эмираты и Индонезия являются наиболее крупными.

При проектировании CV21 будут извлечены уроки из недавнего опыта модернизации машин CVR(T) для эксплуатации их армией Великобритании в Афганистане, при этом будут заимствованы некоторые элементы модернизации. К характеристикам CV21, о которых стало известно из презентации на выставке, относятся рабочий вес машины (от 17 тонн), ширина (2,7 метра) и максимальная скорость (80 км/ч). Машина будет плавающей, будет иметь задние двери для посадки и высадки, а также сможет перевозить экипаж из трех человек плюс одного дополнительного.

Из легкобронированных гусеничных машин на выставке был представлен также легкий танк Anders польской компании BUMAR [6]. Танк базируется на разработанной OBRUM Sp z o. o. многоцелевой боевой платформе Anders, которая является общей для боевой машины пехоты и легкого танка. На машине была установлена башня бельгийской компании CMI со 105-мм пушкой высокого давления Cockerill, которая может стрелять бронебойными, фугасными снарядами, а также противотанковыми ракетами Falargick с лазерным наведением, разработанными совместно с украинской компанией «Луч». На Anders также используется система активной защиты «Заслон» украинской компании «Микротек».

Такое количество новинок в области легкобронированной гусеничной техники вызвано переосмыслением армиями различных стран опыта участия в недавних боевых конфликтах и смещением в эту область приоритетов финансирования, прежде всего таких дорогих проектов, как американский GVC и британский Scout SV.



Рисунок 4

### Приоритетность защищенности экипажа

То, что повышение защищенности экипажа стало для бронетехники на сегодня более приоритетным, чем совершенствование в области огневой мощи или мобильности, является четко прослеживаемой тенденцией на протяжении последних нескольких лет. Не была исключением в этом отношении и выставка Eurosatory 2012. При этом разработчики продолжают поиск решений, которые способны снизить вероятность гибели членов экипажа, не сильно повлияв при этом на общую массу машины.

Все чаще встречаются разработки в области систем активной защиты.

Выше уже упоминалась система активной защиты «Заслон», установленная на польском легком танке Anders.



Рисунок 5

Немецкая компания Rheinmetall предложила единый комплект HX2 [7] для модернизации военных грузовиков, в который входит защищенная кабина и система активной защиты ADS, которая была успешно испытана в прошлом году, что в совокупности обеспечивает защиту от широкого спектра современных угроз на поле боя, в том числе от поражения гранатометами семейства РПГ. Rheinmetall ADS имеет систему датчиков, которые обнаруживают подлетающие снаряды – такие, как кумулятивные боеголовки. В течение нескольких микросекунд система активизирует защитные сектора и с помощью направленной энергии нейтрализует подлетающие объекты, прежде чем они достигнут своей цели. Так как ADS работает в направлении сверху вниз, она, по заявлению разработчиков, является единственной высокоэффективной системой активной защиты ближнего действия, которая сводит к минимуму побочный ущерб в непосредственной близости от машины.

На танке MBT Revolution демонструвалась нова система швидкої постановки завіси ROSY, створена Rheinmetall Defence, призначена для захисту техніки від використання зброї, що вимагає прямої наводки – такої, як стрілецьке зброє, РПГ і системи озброєння з лазерним наведенням. Основною відмінною рисою ROSY є її система монтажу на машину. По-перше, вона забезпечує легку і швидку установку блоку мортир «в один щелчок», а по-друге, блоки можуть встановлюватися один на одного в будь-якій кількості. Постійно встановленим на машині залишається тільки блок з датчиками, які подають сигнал про лазерне облучення. Це забезпечує цій системі наступні переваги:

- можливість установки на машину тільки тоді, коли це необхідно для виконання завдання, що економить вагу;
- швидкий монтаж, який не вимагає наявності спеціального інструменту і зазвичай проводиться в лагере перед виконанням завдання;
- можливість регулювати кількість мортир для димових гранат.



Рисунок 6



Рисунок 7

Ізраїльська компанія Plasan продемонструвала встановлену в процесі модернізації на французький легкий бронетранспортер VAB Ultima [8] покращену захисту від РПГ під назвою FlexFence. Нову навісну захисту розробники відносять до типу «м'яка шкіра». Хоча вона так же, як і решітчаста броня, заснована на статистичному зниженні ймовірності поразки боєголовкою РПГ, представники компанії Plasan стверджують, що завдяки унікальному складу FlexFence ця ймовірність зменшується значно сильніше, ніж з допомогою будь-яких інших статистичних типів броні [9]. Остання версія FlexFence недавно пройшла живі вогневі випробування, де вона неодноразово підтвердила можливість протистояти декільком попаданням РПГ в один модуль.



Применение FlexFence обеспечивает минимальное по сравнению с аналогами увеличение веса машины. Надежность его крепления на броне была подтверждена при испытаниях в условиях сложного рельефа, в джунглях, густом кустарнике и лесистой местности, где другие варианты защиты – такие, как сети – не выживают физического воздействия. FlexFence навешивается поверх существующей брони, практически не меняя ширины машины или ее силуэта, сохраняя уровень баллистической защиты и добавляя к ней возможность противостоять РПГ.



Рисунок 8

Наиболее популярным способом повышения защищенности машины на выставке стала установка боевого модуля с дистанционным управлением, причем абсолютным лидером стал боевой модуль Protector норвежской компании Kongsberg. В различных вариантах исполнения его можно было увидеть на VAB Ultima французской компании Renault Trucks Defense, Nemo Plus финской Patria, AMPV и Marder APC немецкой Rheinmetall, EAGLE 6x6 и PIRANHA CBRN европейского подразделения General Dynamics European Land Systems американской компании General Dynamics. Данный боевой модуль незначительно увеличивает массу машины – его вес без вооружения составляет 30 кг. При этом он полностью стабилизирован и оснащен тепловизионной камерой, благодаря чему обеспечивается круговой обзор неподвижной машины и во время движения, в любых погодных условиях, днем и ночью, что дает возможность обнаруживать угрозу на значительном расстоянии, причем даже если она находится за препятствием. А наличие вооружения позволяет принять меры по самообороне.

Управление боевым модулем Protector дистанционное, что обеспечивает оператору уровень защиты не ниже, чем у других членов экипажа, которые находятся за броней корпуса. Модульная конструкция позволяет изменять состав вооружения боевого модуля. На нем могут применяться пулеметы калибров 5,56 мм, 7,62 мм, 12,7 мм, автоматический гранатомет 40 мм, а также пусковая установка противотанковых ракет. При этом самым распространенным является пулемет калибра 12,7 мм. Кроме того, модуль имеет собственную систему постановки завесы.

Эффективность применения устройств подобного типа настолько велика, что, например, компания Patria, установив его на свой самоходный миномет Nemo, выделила машину в отдельную версию – Nemo Plus.

Другие компании также пытаются предлагать на рынок аналогичную продукцию. Например, бельгийский производитель стрелкового вооружения FN Herstal и французский производитель бронетехники Renault Trucks Defense незадолго до открытия выставки Eurosatory 2012 объявили о своем сотрудничестве, результатом которого стал продемонстрированный во время нее вариант модернизации бронетранспортера VAB Mk II 4x4, оснащенного средним боевым модулем с дистанционным управлением FN Herstal deFNder Medium [10]. Он вооружен крупнокалиберным пулеметом .50 FN M3P, который обеспечивает высокий темп стрельбы (до 1100 выстрелов в минуту). Кроме того, Renault Trucks Defense на закрытой экспозиции представила Niguard – бронированную машину класса MRAP с повышенной противоминной защитой. На ней установлен легкий боевой модуль с дистанционным управлением deFNder Light. От среднего боевого модуля deFNder Medium этот отличается тем, что он вооружен 7,62x51 мм пулеметом FN MAG. Легкий вес и низкий силуэт делает deFNder Light идеальным для интеграции на машины с малой грузоподъемностью.



Рисунок 9

Оба боевых модуля deFNder имеют уникальные углы вертикального наведения – от  $-60^\circ$  до  $+80^\circ$  для легкого и от  $-42^\circ$  до  $+73^\circ$  для среднего модуля, что делает их привлекательными в качестве средства самообороны. Боевые модули имеют большое количество вариантов исполнения в зависимости от требований заказчика. Возможно, например, ручное управление, может меняться расположение магазинов. Опционально доступна стабилизация.



Рисунок 10

Компания Rheinmetall Canada – канадское подразделение немецкой Rheinmetall – продемонстрировала средний боевой модуль с дистанционным управлением Qimek в составе бронетранспортера Boxer 8x8. Имеющие, в зависимости от исполнения, вес от 100 до 300 кг, такие боевые модули могут служить в качестве основного вооружения для любой колесной и гусеничной бронированной платформы или специализированных машин. Они поддаются адаптации для выполнения различного типа задач – таких, как боевые и миротворческие операции, обеспечение безопасности или пограничное патрулирование. Полностью стабилизированные и имеющие дистанционное управление, они имеют модульную конструкцию и открытую архитектуру, благодаря чему могут быть легко модифицированы в соответствии широким спектром индивидуальных требований заказчиков. Универсальная люлька позволяет быстро интегрировать в модули различные виды оружия – например, пулеметы калибра 5,56 мм и 7,62 мм, крупнокалиберные пулеметы калибра 12,7 мм, а также 40-мм автоматические гранатометы. Qimek имеет гранатометы для постановки завесы. Они подходят для дневного и ночного применения, а также могут быть оснащены цветной ПЗС камерой, возможностью зуммирования, лазерным дальномером и тепловизионным прицелом. Другие варианты оснащения включают в себя акустические датчики, приемник системы оповещения о лазерном облучении, баллистический вычислитель.

Правда, Rheinmetall Canada не проявляет большой активности по продвижению собственного семейства боевых модулей с дистанционным управлением. Более того, компания активно сотрудничает с норвежской Kongsberg, вместе с которой предлагает на североамериканском рынке семейство боевых модулей Protector.

### Углубление международной кооперации и специализации

В связи с ужесточением конкурентной борьбы и постоянным усложнением техники процессы кооперации и специализации последние годы постоянно углубляются. Примеры этого на последней выставке Eurosatory можно было наблюдать практически в каждом экспонате. Выше уже упоминалось о сотрудничестве Renault Trucks Defense с FN Herstal и Plasan, BUMAR – с «Микротек», «Луч» и СМІ, Rheinmetall – с Oto-Melara и Kongsberg и т.д. Как правило, каждый из разработчиков бронированной машины имеет собственные варианты всех основных систем или может их создать. Однако постоянное урезание оборонных бюджетов вынуждает искать более экономически привлекательные варианты и вступать в альянс с компаниями, которые имеют готовые, испытанные решения по приемлемой цене.

Норвежская Kongsberg является наиболее ярким примером компании, узко специализирующейся на одном типе продукции и достигшей больших успехов в его реализации большому количеству заказчиков по всему миру. На сегодняшний день она поставила 2500 единиц своего боевого модуля Protector в различных исполнениях и имеет заказов на 8700 единиц.

Другой пример – израильская компания Plasan, которая уже много лет специализируется на поставках брони в разные страны.

При этом современные условия на рынке настолько сложны, что кооперироваться вынуждены даже компании, которые ранее серьезно конкурировали друг с другом. Например, General Dynamics и BAЕ Systems выступали основными конкурентами в программах GCV в США и Scout SV в Великобритании, однако это не помешало им объединить усилия в создании ASCOD 2 SV.

Обе эти компании конкурировали с SAIC, которая совместно с Rheinmetall предложила БМП Puma для программы GCV. Однако после того, как группа SAIC была отклонена в качестве участника тендера, General Dynamics заключила партнерское соглашение с Rheinmetall и в свою очередь стала предлагать для GCV решение на базе БМП Puma. При этом на Eurosatory 2012 можно было увидеть свидетельство того, что данный альянс имеет более широкие планы, так как была представлена новая совместная разработка – колесная боевая машина пехоты на базе шасси General Dynamics Piranha с башней Rheinmetall LANCE. Эту же башню General Dynamics предлагала вместе с машиной ASCOD 2 в тендере на Scout SV, но тогда прошло только предложение по шасси.

В другом случае, во время создания машины радиобиохимической защиты Piranha CBRN, General Dynamics пошла на кооперацию с Thales.

Пожалуй, единственной машиной из представленных на Eurosatory 2012, для которой демонстративно декларировалось отсутствие международной кооперации, была SPV400, которую британская компания Supacat изготавливает по заказу британского министерства обороны. При этом еще на этапе отбора претендентов в качестве основного аргумента в свою пользу Supacat выдвигала то, что эта машина полностью разработана и производится в Великобритании, поддерживая таким образом отечественного производителя. Этот аргумент оказался очень важным для страны, которая на сегодня почти полностью потеряла свою бронетанкостроительную отрасль.

### **Выводы**

Анализируя представленные на выставке Eurosatory 2012 экспонаты, можно сделать вывод, что на рынке бронетехники в настоящее время существуют такие основные тенденции:

- рост интереса к гусеничным бронированным машинам;
- сдвиг приоритета среди основных характеристик бронетехники в сторону защищенности экипажа;
- углубление международной кооперации и специализации.

### **Литература**

1. Eurosatory 2012. [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа на сайт eurosatory.com
2. Динаміка розвитку світового ринку озброєнь. – 2010. – Харьковское конструкторское бюро по машиностроению имени А.А. Морозова
3. Rheinmetall Defence демонстрирует на Eurosatory 2012 два варианта модернизации Marder. [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа на сайт [http://www.army-guide.com/rus/article/article\\_2187.html](http://www.army-guide.com/rus/article/article_2187.html)
4. General Dynamics устанавливает башню Scout SV на шасси для испытаний. [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа на сайт [http://www.army-guide.com/rus/article/article\\_1993.html](http://www.army-guide.com/rus/article/article_1993.html)

5. BAE работает над новой легкой гусеничной бронемашинной. [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа на сайт [http://www.army-guide.com/rus/article/article\\_2204.html](http://www.army-guide.com/rus/article/article_2204.html)
6. Bumar Group at EUROSATORY 2012. [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа на сайт <http://www.bumar.com/en/news/2012/06/bumar-group-at-eurosatory-2012/>
7. HX2 от Rheinmetall обеспечивает надежную защиту от РПГ. [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа на сайт [http://www.army-guide.com/rus/article/article\\_2195.html](http://www.army-guide.com/rus/article/article_2195.html)
8. Renault предлагает несколько обновлений VAB на Eurosatory 2012. [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа на сайт [http://www.army-guide.com/rus/article/article\\_2182.html](http://www.army-guide.com/rus/article/article_2182.html)
9. Plasan представляет улучшенную защиту от РПГ FlexFence на Eurosatory 2012. [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа на сайт [http://www.army-guide.com/rus/article/article\\_2183.html](http://www.army-guide.com/rus/article/article_2183.html)
10. FN Herstal сотрудничает с Renault Trucks Defense. [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа на сайт [http://www.army-guide.com/rus/article/article\\_2180.html](http://www.army-guide.com/rus/article/article_2180.html)

Bibliography (transliterated)

1. Eurosatory 2012. [Elektronnyiy resurs]. – 2012. – Rezhim dostupa na sayt eurosatory.com
2. Dinamika rozvitku svitovogo rinku ozbroen. – 2010. – Harkovskoe konstruktorskoe byuro po mashinostroeniyu imeni A.A. Morozova
3. Rheinmetall Defence demonstriruet na Eurosatory 2012 dva varianta modernizatsii Marder. [Elektronnyiy resurs]. – 2012. – Rezhim dostupa na sayt [http://www.army-guide.com/rus/article/article\\_2187.html](http://www.army-guide.com/rus/article/article_2187.html)
4. General Dynamics ustanavlivaet bashnyu Scout SV na shassi dlya ispytaniy. [Elektronnyiy resurs]. – 2012. – Rezhim dostupa na sayt [http://www.army-guide.com/rus/article/article\\_1993.html](http://www.army-guide.com/rus/article/article_1993.html)
5. BAE rabotaet nad novoy legkoy gusenichnoy bronemashinoy. [Elektronnyiy resurs]. – 2012. – Rezhim dostupa na sayt [http://www.army-guide.com/rus/article/article\\_2204.html](http://www.army-guide.com/rus/article/article_2204.html)
6. Bumar Group at EUROSATORY 2012. [Elektronnyiy resurs]. – 2012. – Rezhim dostupa na sayt <http://www.bumar.com/en/news/2012/06/bumar-group-at-eurosatory-2012/>
7. HX2 ot Rheinmetall obespechivaet nadezhnyuyu zaschitu ot RPG. [Elektronnyiy resurs]. – 2012. – Rezhim dostupa na sayt [http://www.army-guide.com/rus/article/article\\_2195.html](http://www.army-guide.com/rus/article/article_2195.html)
8. Renault predlagaet neskolko obnovleniy VAB na Eurosatory 2012. [Elektronnyiy resurs]. – 2012. – Rezhim dostupa na sayt [http://www.army-guide.com/rus/article/article\\_2182.html](http://www.army-guide.com/rus/article/article_2182.html)
9. Plasan predstavlyaet uluchshennuyu zaschitu ot RPG FlexFence na Eurosatory 2012. [Elektronnyiy resurs]. – 2012. – Rezhim dostupa na sayt [http://www.army-guide.com/rus/article/article\\_2183.html](http://www.army-guide.com/rus/article/article_2183.html)
10. FN Herstal sotrudnichaet s Renault Trucks Defense. [Elektronnyiy resurs]. – 2012. – Rezhim dostupa na sayt [http://www.army-guide.com/rus/article/article\\_2180.html](http://www.army-guide.com/rus/article/article_2180.html)

УДК.623.421.4

Волченко Ю.І., Ковалів В.І., Малахов В.А.

**АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ТЕНДЕНЦІЙ НА РИНКУ БРОНЬОВАНОЇ ТЕХНІКИ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ  
ОГЛЯДУ ЗРАЗКІВ ВИСТАВКИ EUROSATORY 2012**

У статті проведено аналіз основних розробок сучасних зразків бронетехніки, що були представлені на міжнародній виставці у Парижі Eurosatory 2012. На основі аналізу були окреслені основні напрямки, які мають місце на ринку бронетехніки, а саме ріст зацікавленості в гусеничних броньованих машинах, переміщення пріоритету серед основних характеристик броньованої техніки у бік захищеності екіпажу, поглиблення міжнародної кооперації та спеціалізації.

Volchenko Yu.I., Kovaliv V.I., Malakhov V.A.

**ANALYSIS OF THE MAIN TRENDS IN THE MARKET OF ARMoured VEHICLES IN  
ACCORDANCE WITH THE RESULTS OF EXAMINATION OF EXHIBITS AT THE  
EUROSATORY'2012 EXHIBITION**

The article provides an analysis of the main developments in the area of up-to-date armoured vehicles that were exhibited at the Eurosatory'2012 international exhibition held in Paris. Based on this analysis, the main trends in the market of armoured vehicles have been determined, viz. increase of interest in tracked armoured vehicles, shift of priority among the main characteristics of armoured vehicles towards the crew protection, and further development of international cooperation and specialization.

УДК 621-05 (477.54-25)

Ковалив В.И., Малахов В.А.

## АНАЛІЗ ДИНАМИКИ МИРОВОГО РЫНКА ВООРУЖЕНИЙ

В последнее десятилетие мировой рынок вооружений показывал положительную динамику роста. Это объясняется главным образом тем, что спрос на данном рынке зависит прежде всего от финансовых возможностей государств по закупке вооружений и военной техники, а эти возможности в общемировом масштабе, как свидетельствуют статистические данные о мировых военных расходах, опубликованные Стокгольмским международным институтом исследований проблем мира (СИПРИ), в течение последних нескольких лет постоянно росли (рис. 1).

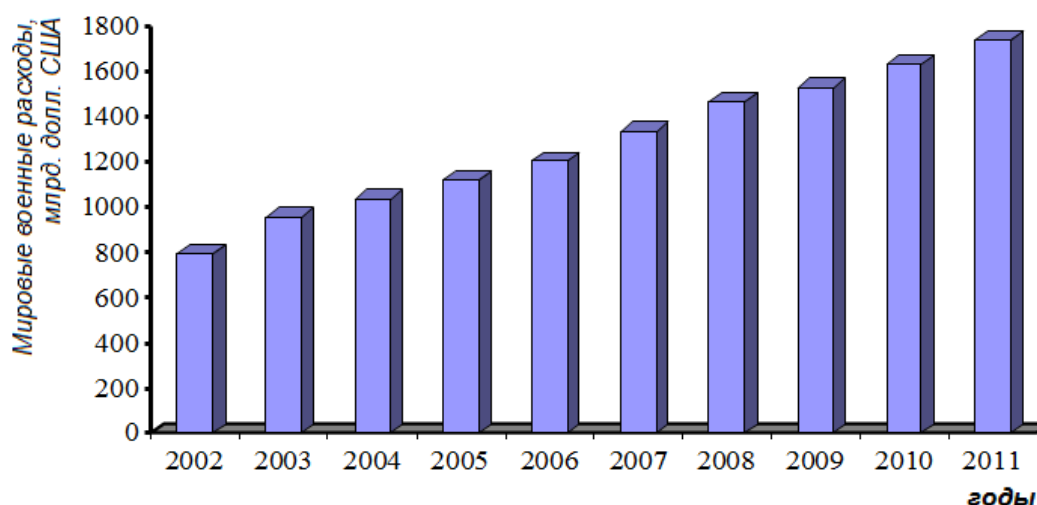


Рисунок 1 – Мировые военные расходы в период с 2002-го по 2011-й г.  
(по данным ежегодников СИПРИ за 2003-й [0], 2004-й [0], 2005-й [0], 2006-й [0], 2007-й [0], 2008-й [0], 2009-й [0], 2010-й [0], 2011-й [0] и 2012-й [0] годы)

В частности, за десятилетие с 2000-го по 2009-й год мировые военные расходы выросли на 49 % [0].

С ростом военных бюджетов и, в частности, расходов на закупку вооружений, растут и объемы продаж оружия. Как свидетельствуют данные Стокгольмского международного института изучения проблем мира (рис. 2), после резкого падения в 2008 году наблюдается тенденция роста общемирового объема экспортных поставок вооружений [0].

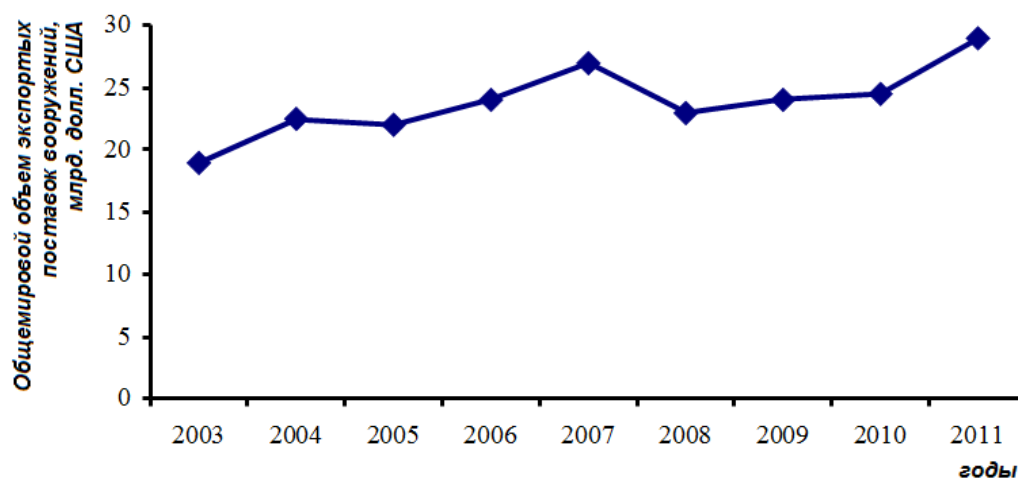


Рисунок 2 – Динамика общемирового объема экспортных поставок вооружений в период с 2003-го по 2011-й г.  
(по данным Стокгольмского международного института изучения проблем мира) [0]

По данным второго аналитического центра – Исследовательской службы Конгресса США – наблюдается увеличение экспортных поставок вооружений, начиная с 2006 года (рис. 3).

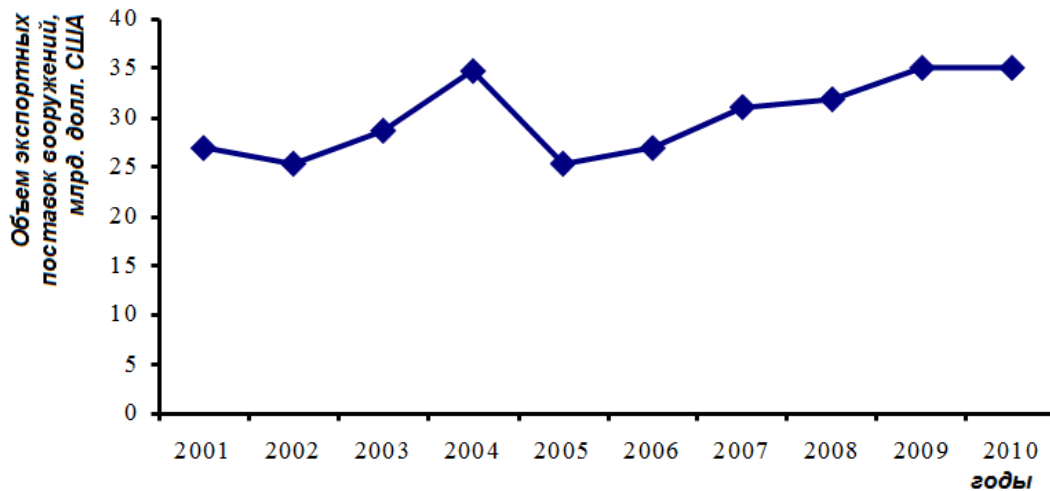


Рисунок 3 – Динамика объема экспортных поставок вооружений в период с 2001-го по 2010-й г. (по докладом Исследовательской службы Конгресса США за 2003-й [0], 2004-й [0], 2005-й [0], 2006-й [0], 2007-й [0], 2008-й [0], 2009-й [0], 2010-й [0] и 2011-й [0] годы)

Если проанализировать субъекты мирового рынка вооружений, являющиеся поставщиками, выясняется, что крупнейшими из них являются Соединенные Штаты Америки. В частности, по данным Исследовательской службы Конгресса США, в 2003 году на США приходилось 47,5 % общемирового объема экспортных поставок вооружений [0], в 2004 году – 53,4 % [0], в 2005 году – 45,6 % [0]; в 2006 году – 51,9 % [0], в 2007 году – 41,3 % [0], в 2008 году – 38,4 % [0], в 2009 году – 41 % [0], в 2010 году – 34,8 % [0]. Как видно (рис. 4), США являются безусловным мировым лидером экспорта вооружений и существенно опережают своих ближайших конкурентов.

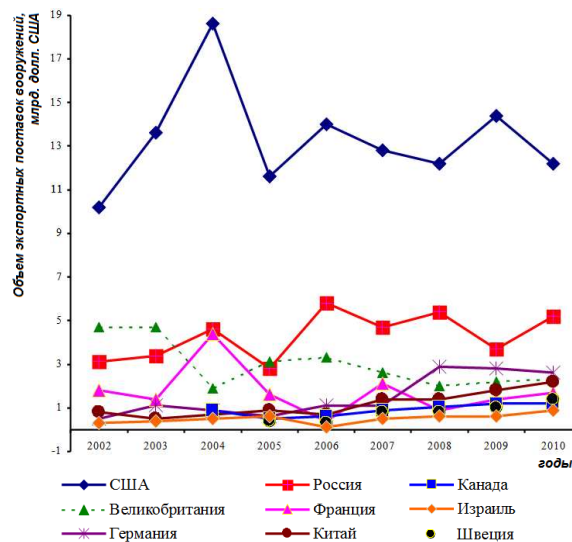


Рисунок 4 – Динамика объема экспортных поставок вооружений ведущими странами-экспортерами в период с 2002-го по 2010-й г. (по докладом Исследовательской службы Конгресса США за 2003-й [0], 2004-й [0], 2005-й [0], 2006-й [0], 2007-й [0], 2008-й [0], 2009-й [0], 2010-й [0] и 2011-й [0] годы)

Среди других ведущих поставщиков оружия выделяются страны, стабильно оказывающиеся в первой «десятке» экспортеров вооружений и военной техники, а именно Россия, Великобритания, Франция, Германия, Китай, Канада, Швеция и Израиль. Россия при этом на протяжении ряда лет прочно удерживает второе место после США. Характерной тенденцией, имеющей место в данной группе, является ста-

бильное повышение в ней роли Китая, который, однако, все еще уступает США, России, Германии и Великобритании.

Среди субъектов мирового рынка вооружений, являющихся поставщиками оружия и военной техники, появляются настоящие гиганты с годовым объемом продаж в несколько миллиардов долларов США [0].

Следует отметить, что по показателю количества и размеру гигантских компаний доминируют США: по данным за 2010 год, среди ста крупнейших компаний мира 44 были американскими [0].

Наблюдается тенденция довольно быстрого роста объемов экспорта продукции самых крупных оборонных компаний мира – как первой «пятерки» (рис. 5), так и первой «сотни» (рис. 6).

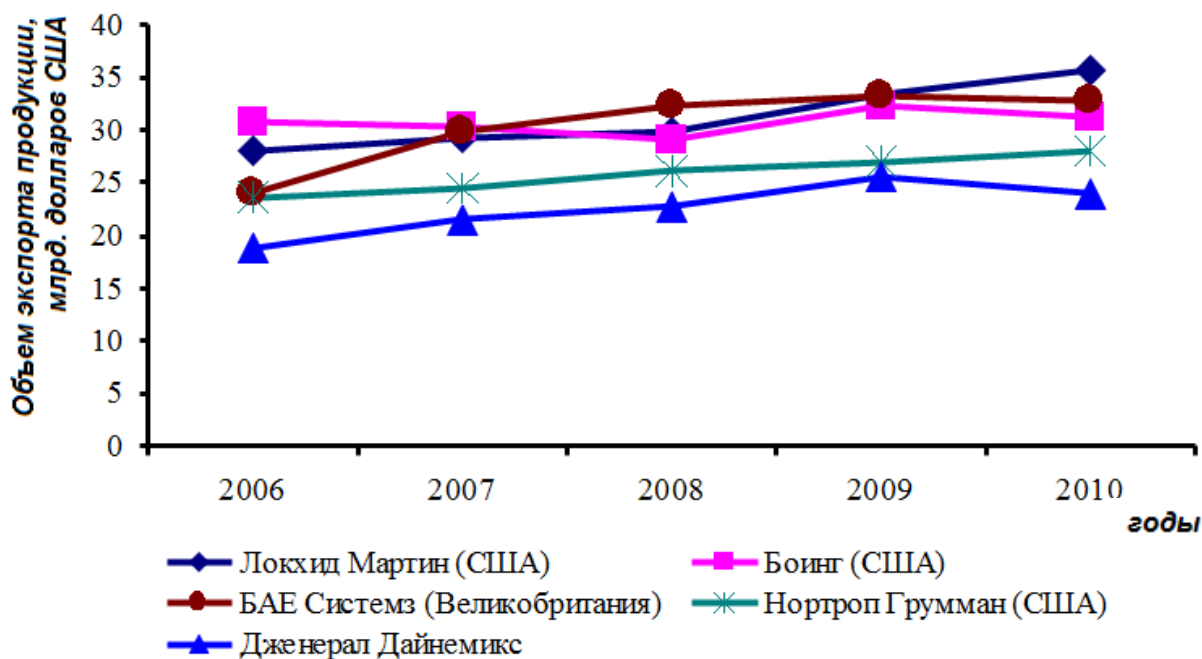


Рисунок 5 – Динамика объемов экспорта продукции пяти крупнейших в мире компаниями – экспортерами вооружений в период с 2006-го по 2010-й г. (по данным ежегодников СИПРИ за 2008-й [0], 2009-й [0], 2010-й [0], 2011-й [0] и 2012-й [0] годы)

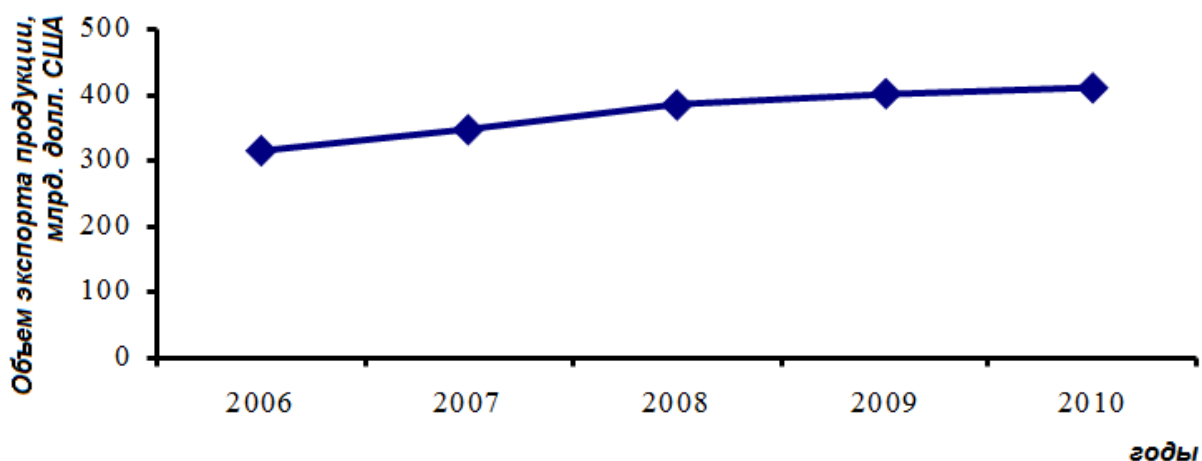


Рисунок 6 – Динамика объемов экспорта продукции ста крупнейших в мире компаний – экспортеров вооружений в период с 2006-го по 2010-й г. (по данным ежегодников СИПРИ за 2008-й [0], 2009-й [0], 2010-й [0], 2011-й [0] и 2012-й [0] годы)

Традиционно большинство вооружений закупали развитые страны, однако в последнее десятилетие ситуация изменилась. Как свидетельствуют данные Исследовательской службы Конгресса США (рис. 7),



начиная с 2003 года, на развивающиеся страны приходится все ббльшая доля в общемировой стоимости заключенных контрактов на поставку вооружений и военной техники.

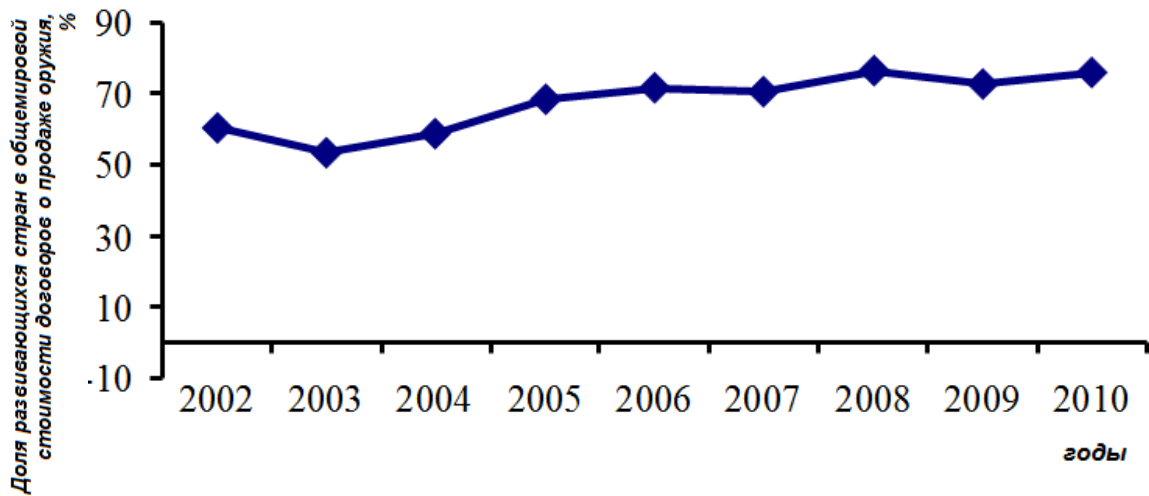


Рисунок 7 – Динамика доли развивающихся стран в общемировой стоимости договоров о продаже оружия в период с 2002-го по 2010-й г. (по докладам Исследовательской службы Конгресса США за 2003-й [0], 2004-й [0], 2005-й [0], 2006-й [0], 2007-й [0], 2008-й [0], 2009-й [0], 2010-й [0] и 2011-й [0] годы)

Таким образом, рынок вооружений развивающихся стран в последнее время растет и может оказывать существенное влияние на общую ситуацию на мировом рынке вооружений, а потому целесообразно проанализировать данный сегмент мирового рынка вооружений и роль в ней ведущих экспортеров вооружений и военной техники.

На этом рынке, как и на мировом рынке вооружений в целом, доминируют США, на втором месте стабильно находится Россия (рис. 8). Эти две страны существенно опережают всех остальных конкурентов.

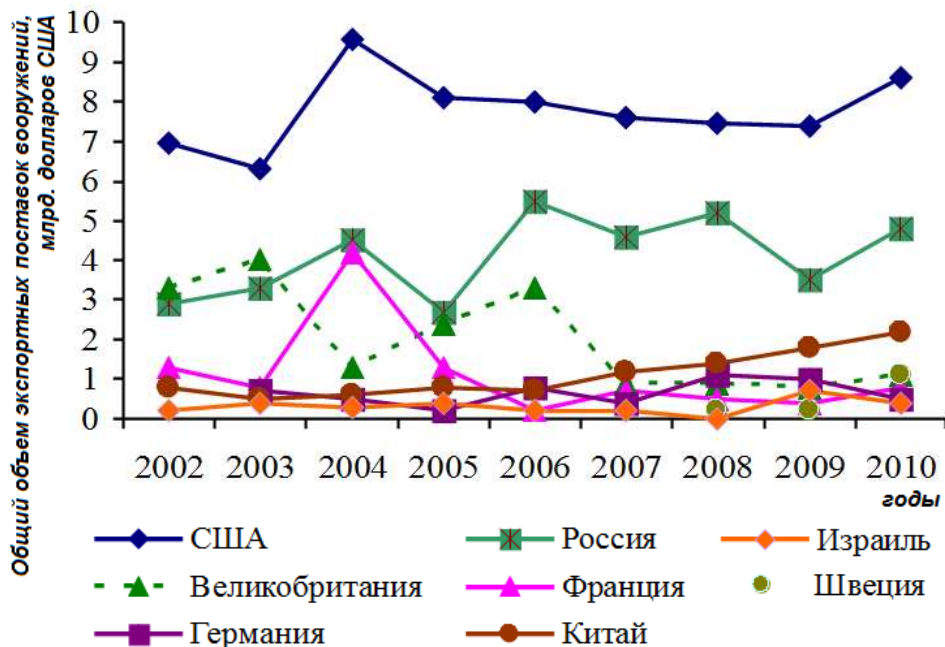


Рисунок 8 – Динамика общего объема экспортных поставок вооружений в развивающиеся страны странами-экспортерами второго уровня в период с 2002-го по 2010-й г. (по докладам Исследовательской службы Конгресса США за 2003-й [0], 2004-й [0], 2005-й [0], 2006-й [0], 2007-й [0], 2008-й [0], 2009-й [0], 2010-й [0] и 2011-й [0] годы)

На США и Россию, как видно на рис. 9, в период с 1997-го по 2010 год приходилось больше половины общемировой стоимости договоров об экспортных поставках вооружений на рынок развивающихся стран. Самый высокий показатель – 74,3 % – был достигнут в 2000–2003 гг. [0], после чего общая доля США и России удерживается в диапазоне 50–70 %.

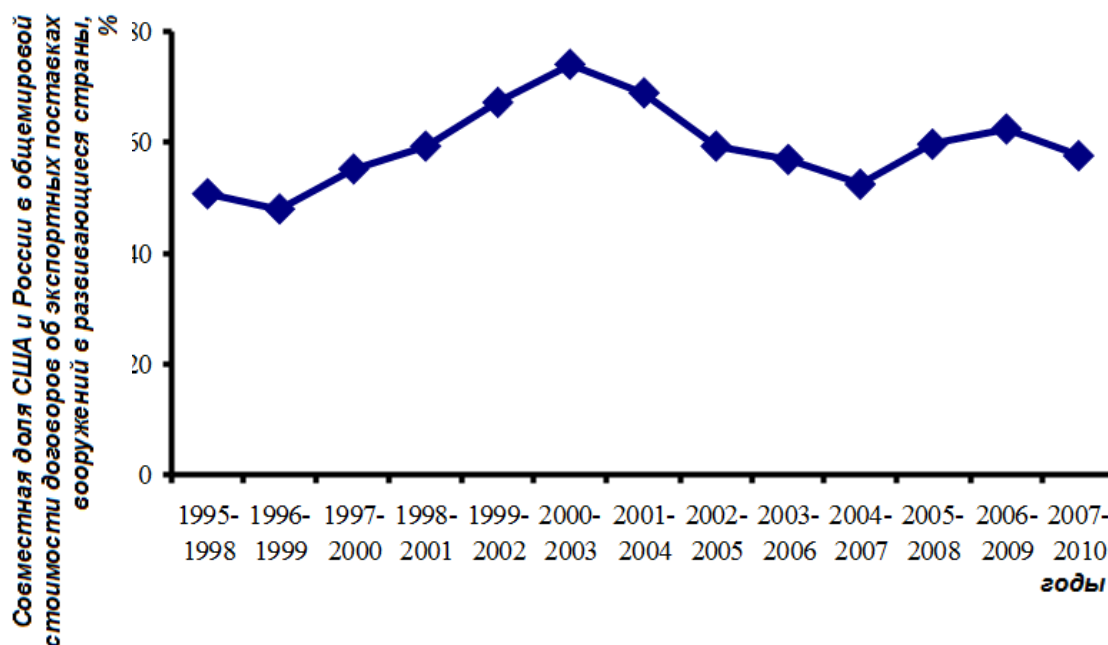


Рисунок 9 – Динаміка спільної частки США и России в общемировой стоимости договоров об экспортных поставках вооружений в развивающиеся страны в период с 1995-го по 2010-й г. (по докладам Исследовательской службы Конгресса США за 2003-й [0], 2004-й [0], 2005-й [0], 2006-й [0], 2007-й [0], 2008-й [0], 2009-й [0], 2010-й [0] и 2011-й [0] годы)

Кроме вышеупомянутых двух лидеров, к наиболее успешным поставщикам вооружений в развивающиеся страны относятся Китай, Великобритания, Германия, Франция, Швеция и Израиль. Эти страны в 2002-2010 гг. постоянно или периодически входили в число десяти крупнейших экспортеров вооружений в развивающиеся страны. Наиболее значительным изменением в этой группе является стабильное повышение в ней роли Китая, существенно опередившего своих конкурентов.

Рынок развивающихся стран географически делится Исследовательской службой Конгресса США на Ближний Восток, Азию (азиатские страны за исключением тех, которые относятся к Ближнему Востоку), Африку (африканские страны за исключением тех, которые относятся к Ближнему Востоку) и Латинскую Америку. Как видно на рис. 10, Ближний Восток и Азия являются наиболее емкими рынками вооружений: на них в 2007–2010 годах приходилось 85,4 % общего объема поставок вооружений и военной техники в развивающиеся страны [0]. В последние годы наблюдается рост объема поставок на ближневосточный рынок.

На мировом рынке вооружений развивающихся стран наряду с ведущими экспортерами также можно выделить и ведущих импортеров. Как видно на рис. 11, к крупнейшим покупателям оружия в последнее время относятся Саудовская Аравия, Китай, Индия, Египет, Тайвань, Пакистан, Южная Корея, Алжир, Израиль и Венесуэла. В период с 2007-го по 2010-й год доля 10 крупнейших импортеров оружия в общем количестве договоров об экспортных поставках вооружений развивающимся странам составила 66,5 %. В 2010 году доля этих импортеров в общем объеме экспортных поставок вооружений достигла 59,4 % [0]. Данное обстоятельство ставит ситуацию на мировом рынке вооружений в большую зависимость от нескольких ведущих импортеров, и изменения в политике закупок оружия даже одним из них (например, Китаем, Южной Кореей, Пакистаном или Индией, активно развивающими свой собственный оборонно-промышленный комплекс) может привести к существенным изменениям на этом рынке.

Оценка динамики экспорта в 1997–2010 годах вооружений в развивающиеся страны с точки зрения отдельных видов вооружений по данным Исследовательской службы Конгресса США позволяет установить, что на этом рынке происходят следующие процессы (рис. 12):

- после долгого роста начал снижаться спрос на ракеты класса «земля-воздух»;
- стабильно снижается спрос на противокорабельные ракеты;

- знижається спрос на бронетранспортеры и бронированные автомобили;
- начал расти спрос на танки и самоходные орудия и оживился спрос на артиллерийские системы;
- в спросе на другие категории вооружений не наблюдается существенных изменений.

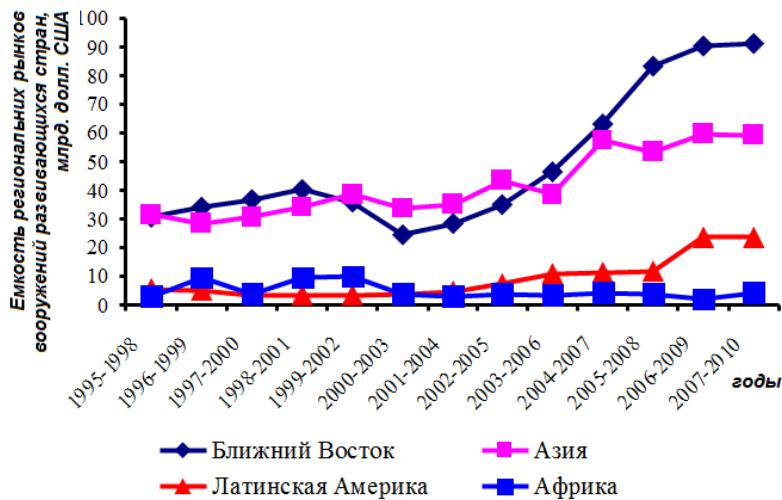


Рисунок 10 – Динамика изменения емкости региональных рынков вооружений развивающихся стран по показателю стоимости договоров об экспортных поставках вооружений в период с 1995-го по 2010-й г. (по докладом Исследовательской службы Конгресса США за 2003-й [0], 2004-й [0], 2005-й [0], 2006-й [0], 2007-й [0], 2008-й [0], 2009-й [0], 2010-й [0] и 2011-й [0] годы)

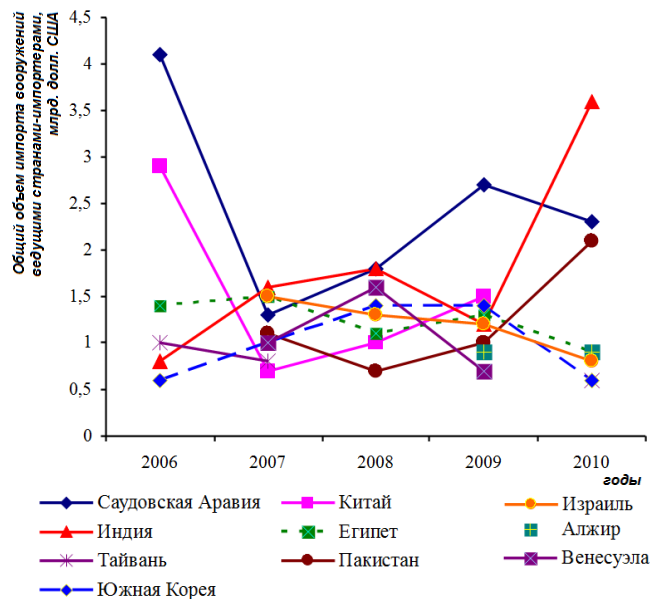


Рисунок 11 – Динамика общего объема импорта вооружений ведущими странами-импортерами в период с 2006-го по 2010 г. (по докладом Исследовательской службы Конгресса США за 2007-й [0], 2008-й [0], 2009-й [0], 2010-й [0] и 2011-й [0] годы)

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

– в последние несколько лет на мировом рынке вооружений наблюдается тенденция роста спроса на вооружения и военную технику и, соответственно, увеличение общего объема экспортных поставок вооружений;

– крупнейшим экспортером оружия являются Соединенные Штаты Америки (лидирующие и по числу и размеру крупных компаний, занимающихся производством оружия), за ними следует Россия. К

крупным экспортерам также относятся Великобритания, Германия, Франция, Китай, Канада, Швеция и Израиль;

– роль Китая как экспортера на рынке вооружений развивающихся стран и на общемировом рынке вооружений стабильно возрастает;

– спрос на мировом рынке вооружений существенно зависит от нескольких ведущих импортеров. Учитывая, что некоторые из них активно развивают национальную оборонную промышленность, в долгосрочной перспективе следует ожидать сокращения объемов международной торговли вооружениями;

– на региональном уровне рынка вооружений развивающихся стран наиболее емкими являются рынки Ближнего Востока и Азии, причем доля Ближнего Востока в рынке развивающихся стран возрастает;

– на рынке вооружений развивающихся стран в последнее время наблюдается понижение спроса на ракеты класса «земля-воздух», противокорабельные ракеты, бронетранспортеры и бронированные автомобили, но при этом происходит повышение спроса на танки, самоходные орудия и артиллерийские системы.

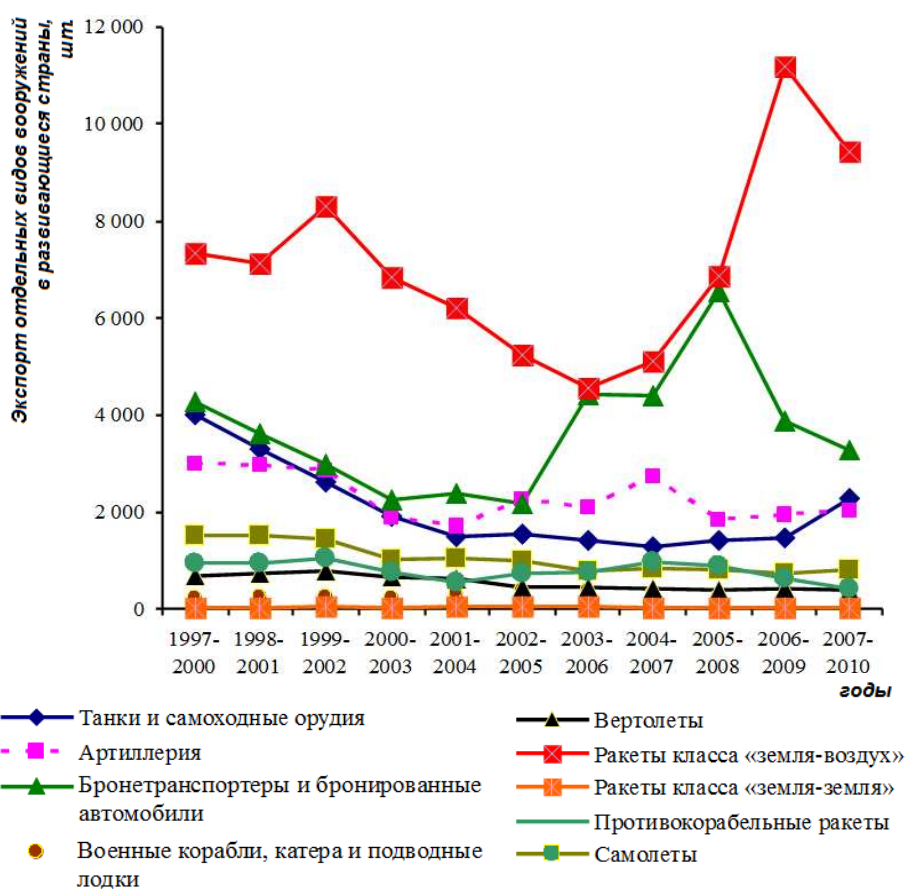


Рисунок 12 – Динаміка експорту окремих видів озброєння в розвиваючіся країни в 1997–2010 г.г. (по докладам Исследовательской службы Конгресса США за 2003-й [0], 2004-й [0], 2005-й [0], 2006-й [0], 2007-й [0], 2008-й [0], 2009-й [0], 2010-й [0] и 2011-й [0] годы)

#### Література

1. Conventional Arms Transfers to Developing Nations, 1995-2002. CRS Report for Congress // Congressional Research Service. The Library of Congress. September 22, 2003. – 84 p.
2. Conventional Arms Transfers to Developing Nations, 1996-2003. CRS Report for Congress // Congressional Research Service. The Library of Congress. August 26, 2004. – 87 p.
3. Conventional Arms Transfers to Developing Nations, 1997-2004. CRS Report for Congress // Congressional Research Service. The Library of Congress. August 29, 2005. – 86 p.

4. Conventional Arms Transfers to Developing Nations, 1998-2005. CRS Report for Congress // Congressional Research Service. The Library of Congress. October 23, 2006. – 91 p.
5. Conventional Arms Transfers to Developing Nations, 1999-2006. CRS Report for Congress // Congressional Research Service. The Library of Congress. September 26, 2007. – 92 p.
6. Conventional Arms Transfers to Developing Nations, 2000-2007. CRS Report for Congress // Congressional Research Service. The Library of Congress. October 23, 2008. – 75 p.
7. Conventional Arms Transfers to Developing Nations, 2001-2008. CRS Report for Congress // Congressional Research Service. The Library of Congress. September 4, 2009. – 84 p.
8. Conventional Arms Transfers to Developing Nations, 2002-2009. CRS Report for Congress // Congressional Research Service. The Library of Congress. September 10, 2010. – 84 p.
9. Conventional Arms Transfers to Developing Nations, 2003-2010. CRS Report for Congress // Congressional Research Service. The Library of Congress. September 22, 2011. – 84 p.
10. SIPRI Yearbook 2002. – Armaments, Disarmament and International Security. – Chapter Summaries. – <http://books.sipri.org>.
11. SIPRI Yearbook 2003. – Armaments, Disarmament and International Security. – Chapter Summaries. – <http://books.sipri.org>.
12. SIPRI Yearbook 2004. – Armaments, Disarmament and International Security. – Chapter Summaries. – <http://books.sipri.org>.
13. SIPRI Yearbook 2005. – Armaments, Disarmament and International Security. – Chapter Summaries. – <http://books.sipri.org>.
14. SIPRI Yearbook 2006. – Armaments, Disarmament and International Security. – Chapter Summaries. – <http://books.sipri.org>.
15. SIPRI Yearbook 2007. – Armaments, Disarmament and International Security. – Chapter Summaries. – [www.sipri.org/yearbook/2007](http://www.sipri.org/yearbook/2007).
16. SIPRI Yearbook 2008. – Armaments, Disarmament and International Security. – Chapter Summaries. – [www.sipri.org/yearbook/2008](http://www.sipri.org/yearbook/2008).
17. SIPRI Yearbook 2009. – Armaments, Disarmament and International Security. – Chapter Summaries. – [www.sipri.org/yearbook/2009](http://www.sipri.org/yearbook/2009).
18. SIPRI Yearbook 2010. – Armaments, Disarmament and International Security. – Chapter Summaries. – [www.sipri.org/yearbook/2010](http://www.sipri.org/yearbook/2010).
19. SIPRI Yearbook 2011. – Armaments, Disarmament and International Security. – Chapter Summaries. – [www.sipri.org/yearbook/2011](http://www.sipri.org/yearbook/2011).
20. SIPRI Yearbook 2012. – Armaments, Disarmament and International Security. – Chapter Summaries. – [www.sipri.org/yearbook](http://www.sipri.org/yearbook).

Bibliography (transliterated)

1. Conventional Arms Transfers to Developing Nations, 1995-2002. CRS Report for Congress Congressional Research Service. The Library of Congress. September 22, 2003. – 84 p.
2. Conventional Arms Transfers to Developing Nations, 1996-2003. CRS Report for Congress Congressional Research Service. The Library of Congress. August 26, 2004. – 87 p.
3. Conventional Arms Transfers to Developing Nations, 1997-2004. CRS Report for Congress Congressional Research Service. The Library of Congress. August 29, 2005. – 86 p.
4. Conventional Arms Transfers to Developing Nations, 1998-2005. CRS Report for Congress Congressional Research Service. The Library of Congress. October 23, 2006. – 91 p.
5. Conventional Arms Transfers to Developing Nations, 1999-2006. CRS Report for Congress Congressional Research Service. The Library of Congress. September 26, 2007. – 92 p.
6. Conventional Arms Transfers to Developing Nations, 2000-2007. CRS Report for Congress Congressional Research Service. The Library of Congress. October 23, 2008. – 75 p.
7. Conventional Arms Transfers to Developing Nations, 2001-2008. CRS Report for Congress Congressional Research Service. The Library of Congress. September 4, 2009. – 84 p.
8. Conventional Arms Transfers to Developing Nations, 2002-2009. CRS Report for Congress Congressional Research Service. The Library of Congress. September 10, 2010. – 84 p.
9. Conventional Arms Transfers to Developing Nations, 2003-2010. CRS Report for Congress Congressional Research Service. The Library of Congress. September 22, 2011. – 84 p.
10. SIPRI Yearbook 2002. – Armaments, Disarmament and International Security. – Chapter Summaries. – <http://books.sipri.org>.

11. SIPRI Yearbook 2003. – Armaments, Disarmament and International Security. – Chapter Summaries. – <http://books.sipri.org>.
12. SIPRI Yearbook 2004. – Armaments, Disarmament and International Security. – Chapter Summaries. – <http://books.sipri.org>.
13. SIPRI Yearbook 2005. – Armaments, Disarmament and International Security. – Chapter Summaries. – <http://books.sipri.org>.
14. SIPRI Yearbook 2006. – Armaments, Disarmament and International Security. – Chapter Summaries. – <http://books.sipri.org>.
15. SIPRI Yearbook 2007. – Armaments, Disarmament and International Security. – Chapter Summaries. – [www.sipri.org/yearbook/2007](http://www.sipri.org/yearbook/2007).
16. SIPRI Yearbook 2008. – Armaments, Disarmament and International Security. – Chapter Summaries. – [www.sipri.org/yearbook/2008](http://www.sipri.org/yearbook/2008).
17. SIPRI Yearbook 2009. – Armaments, Disarmament and International Security. – Chapter Summaries. – [www.sipri.org/yearbook/2009](http://www.sipri.org/yearbook/2009).
18. SIPRI Yearbook 2010. – Armaments, Disarmament and International Security. – Chapter Summaries. – [www.sipri.org/yearbook/2010](http://www.sipri.org/yearbook/2010).
19. SIPRI Yearbook 2011. – Armaments, Disarmament and International Security. – Chapter Summaries. – [www.sipri.org/yearbook/2011](http://www.sipri.org/yearbook/2011).
20. SIPRI Yearbook 2012. – Armaments, Disarmament and International Security. – Chapter Summaries. – [www.sipri.org/yearbook](http://www.sipri.org/yearbook).

УДК 621-05 (477.54-25)

Ковалів В.І., Малахов В.А.

#### **АНАЛІЗ ДИНАМІКИ РОЗВИТКУ СВІТОВОГО РИНКУ ОЗБРОЄНЬ**

У статті проведено аналіз ситуації на світовому ринку озброєнь та її розвитку, з'ясовано, хто є провідними експортерами та імпортерами на цьому ринку, розглянуті зміни в середовищі експортерів, визначені зміни у обсягах регіональних ринків озброєнь, розглянуті тенденції у попиту на окремі види озброєнь.

Kovaliv V.I., Malakhov V.A.

#### **ANALYSIS OF THE DYNAMICS OF DEVELOPMENT OF THE WORLD'S ARMS MARKET**

The article provides an analysis of the situation in the world's arms market in its development, determines the leading exporters and importers in this market, analyses the changes among the exporters, determines the changes in the capacity of the regional arms markets, and gives an overview of the trends in the demand for some particular types of weapons.

Салиев Э.И., Каленик И.Н.

**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И КАНАЛИЗАЦИИ, КАЧЕСТВО ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ В УКРАИНЕ, ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ**

Система водоснабжения и канализация – одна из важнейших отраслей, направленная на повышение уровня жизни людей, благоустройство населенных пунктов, развития отраслей народного хозяйства. Это комплекс инженерных сооружений, устройств, обеспечивающих забор воды из природных источников, улучшение показателей ее качества до заданных норм, транспортирование на необходимые расстояния, хранение ее запасов, подачу и распределение потребителям.

Водоснабжение базируется на использовании природного сырья – воды, запасы которой, как и других природных ресурсов, ограничены. Это предопределяет необходимость разумного и бережного отношения к воде.

Основным критерием качества питьевой воды является ее влияние на здоровье человека. Безвредность воды обеспечивается отсутствием в ней токсичных и вредных для здоровья примесей антропогенного и техногенного происхождения.

Одной из причин неудовлетворительного качества питьевой воды является массивное загрязнение основных источников питьевого водоснабжения поверхностных водоемов, в связи со сбросами в них большого количества неочищенных и недостаточно очищенных промышленных, хозяйственно-бытовых и сельскохозяйственных сточных вод, ливневых и талых вод с полей, территорий сел и городов. Приоритетными загрязнителями на протяжении многих лет остаются органические соединения, взвешенные вещества, нефтепродукты, фенолы, тяжелые металлы и др. Среди возбудителей заболеваний из воды водоемов чаще всего выделяются сальмонеллы, энтеровирусы и др.

Результаты мониторинга качества поверхностных вод в точках водозаборов в Украине свидетельствуют о том, что в настоящее время концентрации приоритетных вредных химических веществ уже приближаются к предельно допустимым, а в некоторых случаях даже превышают их [1]. При таком положении резко усложняется возможность получения качественной питьевой воды, так как существующие водопроводные очистные сооружения плохо справляются с барьерной функцией по отношению к техногенным химическим веществам, в связи, с чем есть опасение, что они транзитом могут поступать в питьевую воду.

Проблемы водоснабжения и канализации проявляются:

- в прогрессирующей тенденции к ухудшению уровня предоставляемых потребителям услуг по водоснабжению и канализации;
- в повышении аварийности в системах водопровода и канализации;
- в тяжелом финансово-экономическом состоянии предприятий водопроводно-канализационного хозяйства и т.д.

**Состояние системы водоснабжения и канализации**

Основная часть существующих централизованных систем водоснабжения и канализации населенных пунктов построена еще 30–50 лет назад. В связи со сложившейся ситуацией, одной из проблем, возникшей за период многолетнего использования систем можно считать – изношенность сетей водоснабжения и водоотведения.

Показатель обеспеченности централизованным питьевым водоснабжением населенных пунктов в 2011 году в целом по Украине практически не изменился [2]. Максимальный уровень обеспеченности населенных пунктов централизованным водоснабжением наблюдается в Херсонской области – 97 % и в автономной республике Крым – 96 %. Наиболее низкие показатели в Запорожской области – 57 %, Николаевской – 49 %, Днепропетровской – 41 %, Одесской и Черкасской – по 29 %, Ровненской – 23 %, Сумской – 21 %, в Черниговской области – 20 % и в остальных областях – ниже 20 % (рис. 1).

Численность населения, которое в 2011 г. получало услуги централизованного водоснабжения, составило: в г. Киеве – 100 %, в Херсонской области – 99 %, Донецкой – 95 %, Запорожской и Днепропетровской областях – по 87 %, АР Крым – 84 %, Одесской – 83 %, Киевской – 77 %, Полтавской – 76 %, Николаевской – 74 %, Харьковской – 64 %, Сумской – 60 %. Еще в четырех областях 50–60 % населения охвачено централизованным водоснабжением, в других – менее половины (рис. 2).

Круглосуточное водоснабжение было доступно для 100 % населенных пунктов лишь в двух областях – Харьковской и Тернопольской. В других областях эти показатели составили: Полтавской – 99,6 %, и 99,9 %, Ровненской – 99,6 и 53,3 %, Винницкой – 97 % и 89 %, Чернивецкой – 93 % и 97 %, Ивано-

Франковской – 91 и 88 %, Днепропетровской – 83 и 93 %, Черкасской – 75 и 29 %, Львовской – 73 %, Хмельницкой – 73 и 62 %, Запорожская – 59 и 75 %. Наихудшая ситуация остаётся в Одесской области, где вода «по графику» подается почти в 95 % населенных пунктов для 41 % населения, в Донецкой области эти показатели равны, соответственно, 86 и 57 %, в АРК круглосуточно обеспечивается всего 13 % населенных пунктов.



Рисунок 1 – Показатели обеспеченности централизованным питьевым водоснабжением населенных пунктов

К сожалению, еще в 11 областях страны пользуются привозной водой, в частности, в Запорожской области – 38 % населенных пунктов и 7 % населения, в других областях эти показатели, соответственно, равны: в Николаевской – 16 и 0,5 %, Днепропетровской – 11 и 0,9 %, АР Крым – 4 и 1 %, Кировоградской – 3 и 1 % населенных пунктов, Херсонской – 3 и 1 %, Полтавской – 0,4 и 0,1 %, Ивано-Франковской – 0,3 и 0,1 %, Винницкой – 0,1 и 0,5 %, Донецкой – 0,4 % населения.



Рисунок 2 – Охват населения услугами водоснабжения

Протяженность ветхих и аварийных сетей водоснабжения и канализации ежегодно растет и уже достигла 35 % от их общей протяженности. Более 40 % оборудования систем водоснабжения и водоотведения сегодня требует замены, 25 % канализационных станций очистки находятся в эксплуатации более 50 лет.

На снимке (рис. 3) показана типичная насосная станция и уровень оборудования, установленного 30–50 лет назад, эксплуатируемая практически во всех регионах Украины.





Машинний зал 2-ХПП

Рисунок 3 – Насосная станция

Для того чтобы улучшить ситуацию, правительством принята общегосударственная Программа «Питьевая вода Украины», направленная на реализацию государственной политики относительно обеспечения населения качественной питьевой водой, что является для многих регионов одной из приоритетных проблем, решение которой необходимо для сохранения здоровья и повышения уровня жизнедеятельности населения, и соответственно увеличения степени ремонтпригодности сетей и сооружений. Вместе с тем, очевидно, что темпы и эффективность реализации программы "Питьевая вода Украины" нужно увеличивать, потому как из общей протяженности водопроводной сети в Украине 35 % находятся в аварийном состоянии и нуждаются в замене. Анализируя ситуацию нельзя не отметить, что динамика нарастания протяженности изношенных сетей критическая. Только за 20 лет протяженность трубопроводов, находящихся в аварийном состоянии, выросла более чем на 30 % и как следствие – снижение надежности в эксплуатации систем и понижения их ремонтпригодности.

Согласно данным доктора технических наук, профессора, заслуженного изобретателя Украины Гиролы М.М. [3], общее состояние трубопроводной сети часто характеризуется 1–4 авариями на 1 км трубы, что в 5–40 раз превышает соответствующий показатель в странах Западной Европы, а большинство аварий чаще всего случаются на трубах диаметром менее 200 мм и стальных трубах без покрытия. Данные по трубам, которые были получены с 359 городов, показывают, что 57 % длины сети составляют трубы диаметром 50–200 мм.

Сказанное выше наводит на мысль о необходимости проведения модернизации и реконструкции систем водоснабжения и канализации в Украине, и направить инновационные мероприятия на повышение надежности и ремонтоспособности систем и как следствие – повышение энергоэффективности отрасли. Особенно это касается промышленно активных регионов [4,5].

Для того чтобы модернизировать всю систему водоснабжения и канализации, в первую очередь, необходимо произвести анализ технического состояния функционирующих сооружений и сетей водоснабжения и канализации в Украине. Во многих областях, к сожалению, у большинства предприятий водоснабжения и канализации сети эксплуатируются, а их реконструкция не проводится из-за отсутствия финансирования. В тариф следует закладывать составляющую, которая будет идти именно на эти нужды [6].

Контроль надежности и ремонтпригодности систем, поддержание и восстановление работоспособного состояния систем водоснабжения и канализации является наиболее важной задачей технической эксплуатации для обеспечения требуемого уровня надежности, при заданной долговечности и технико-экономических показателях.

Эксплуатация систем водоснабжения и канализации должна обеспечивать бесперебойную и надежную работу всех сооружений при высоких технико-экономических показателях с учетом рационального использования энергетических ресурсов. Для повышения качества, эффективности функционирования в области энергетической эффективности систем водоснабжения и водоотведения необходимо стабилизировать уровень надежности ее работы [7,8].

Полное изучение анализа причин аварий позволяет предвидеть возможность их возникновения, своевременно принимать меры для их предотвращения и тем самым существенно повысить общую надежность и бесперебойность водоснабжения. Вопрос надежности систем водоснабжения и водоотведения очерчивает ряд пунктов, которые непосредственно касаются обеспечения и поддержания необходимого уровня бесперебойности работы и ремонтпригодности всех видов оборудования и сооружений системы в целом.

### Выводы. Необходимо:

- провести комплексное решение проблемы рационального использования водных ресурсов, их воспроизводство и охрану от количественного и качественного истощения,
- повысить надежность системы водоснабжения и водоотведения, ее надежное функционирование, способствующее сохранению и улучшению степени ремонтпригодности систем, экономии материальных и энергетических ресурсов, эффективному использованию общественных фондов и дальнейшему повышению жизнеобеспечения уровня населения.

### Литература

1. Эпоян С.М., Штонда И.Ю., Штонда Ю.И., Зубко А.Л. Повышение эффективности очистки сточных вод от соединений азота на малогабаритных канализационных очистных сооружений. – Х.: ХДТУБА, 2011. – Вип. 63. – С. 89–95.
2. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2010 році. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, Київ, – 2011.
3. Гіроль М.М. Стан водопостачання та водовідведення в Україні / М.М. Гіроль, О.А. Ткачук, Г.М. Семчук та ін. // Вісн. одес. держ. акад. будівництва та архітектури. – 2005. – № 19. – С. 3–9.
4. Бабаєв В.М. Підвищення ефективності управління великим містом у структурі державного управління : автореф. дис... д-ра наук з держ. упр. : 25.00.04 / В.М. Бабаєв. – К., 2000. – 36 с.
5. Эпоян С.М., Друшляк О.Г., Исакиева О.Г., Айрапетян Т.С., Бруев Н.А. Современные водяные системы пожаротушения. – «Науковий вісник будівництва». – Х.: ХДТУБА, 2011. – Вип. 63. – С. 32–37.
6. Салієв Е.І. Пропозиції щодо зміни організаційно-правової структури підприємств водопровідно-каналізаційного господарства Автономної Республіки Крим / В.А. Кравченко, Д.А. Левицький, Е.І. Салієв // Міжнародний конгрес «ЕТЕВК–2007»: зб. доп. – Сімф., 2007. – С. 372–385. – Авторські с. 372–375.
7. Салієв Е.І. Напрямки вдосконалення систем водопостачання і водовідведення з метою забезпечення раціонального використання природних ресурсів Криму // 66-а. Науково-технічна конференція. Харків – 2011. С. 461–470. (ВАК)
8. Ильин Ю.А. Надежность водопроводного оборудования и сооружений. – М.: Стройиздат, 1985. – 240 с.

### Bibliography (transliterated)

1. Epoyan S.M., Shtonda I.Yu., Shtonda Yu.I., Zubko A.L. Povyishenie effektivnosti ochistki stochnyih vod ot soedineniy azota na malogabaritnyih kanalizatsionnyih ochistnyih sooruzheniy. – H.: HDTUBA, 2011. – Vip. 63. – p. 89–95.
2. Natsionalna dopovid pro yakist pitnoyi vodi ta stan pitnogo vodopostachannya v Ukrayini u 2010 rotsi. Ministerstvo regionalnogo rozvitku, budivnitstva ta zhitlovo-komunalnogo gospodarstva Ukrayini, Kiyiv, – 2011.
3. Girol M.M. Stan vodopostachannya ta vodovidvedennya v Ukrayini M.M. Girol, O.A. Tkachuk, G.M. Semchuk ta in. Visn. odes. derzh. akad. budivnitstva ta arhitekturi. – 2005. – # 19. – p. 3–9.
4. Babaev V.M. Pidvischennya effektivnosti upravlinnya velikim mistom u strukturi derzhavnogo upravlinnya : avtoref. dis... d-ra nauk z derzh. upr. : 25.00.04 V.M. Babaev. – K., 2000. – 36 p.
5. Epoyan S.M., Drushlyak O.G., Isakieva O.G., Ayrapetyan T.S., Bruev N.A. Sovremennyye vodyanye sistemy pozharotusheniya. – «Naukoviy visnik budivnitstva». – H.: HDTUBA, 2011. – Vip. 63. – p. 32–37.
6. Saliev E.I. Propozitsiyi schodo zmini organizatsiyno-pravovoyi strukturi pidpriemstv vodoprovodno-kanalizatsiynogo gospodarstva Avtonomnoyi Respubliki Krim V.A. Kravchenko, D.A. Levitskiy, E.I. Saliev Mizhнародний kongres «ETE VK–2007»: zb. dop. – Simf., 2007. – p. 372–385. – Avtorski p. 372–375.
7. Saliev E.I. Napryamki vdoskonalennya sistem vodopostachannya i vodovidvedennya z metoyu zabezpechennya ratsionalnogo vikoristannya prirodni resursiv Krimu 66-a. Naukovo-tehnichna konferentsiya. Harkiv – 2011. p. 461–470. (VAK)
8. Ilin Yu.A. Nadezhnost vodoprovodnogo oborudovaniya i sooruzheniy. – M.: Stroyizdat, 1985. – 240 p.

УДК 628.1-2

Салієв Е. І., Каленік І. М.

**СУЧАСНИЙ СТАН СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА КАНАЛІЗАЦІЇ, ЯКІСТЬ ПИТНОЇ ВОДИ В УКРАЇНІ, ПРОБЛЕМИ ТА ШЛЯХИ ЇХ ВИРІШЕННЯ**

У статті охарактеризовано сучасний стан галузі водопровідно-каналізаційного господарства України, окреслено коло проблем, які не дозволяють підприємствам, що надають послуги водопостачання і каналізації, працювати ефективно з урахуванням принципів ресурсозбереження та інвестиційної привабливості. Розглянуто основні аспекти підвищення ефективності роботи підприємств водопровідно-каналізаційного господарства і відповідні методи вирішення поставлених проблем на поліпшення якості води.

Saliev E.I., Kalenik I.N.

**CURRENT STATE OF SYSTEM OF WATER SUPPLY AND THE WATER DRAIN, QUALITY OF POTABLE WATER IN UKRAINE, PROBLEMS AND WAYS OF THEIR DECISION**

The article concerns the modern Ukrainian state of water and sewer utilities. The problems which do not allow utility enterprises, providing water supply and sewerage services to work efficiently, taking into account resource-saving are presented. The main aspects of increasing working efficiency of water supply and sewerage and methods of problem-solving of improvement of water quality are considered.

Быканова В.В., Козуб П.А., Булавин В.И., Козуб С.Н.

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ФОТОКАТАЛИЗАТОРОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ (ОБЗОР)

**Введение.** В условиях современного мира научно-технический прогресс обуславливает необходимость в защите окружающей среды, более рациональном использовании материальных и энергетических ресурсов. Современная химическая промышленность нуждается, прежде всего, в новых, экономически оправданных и технологически простых методах очистки промышленных сточных вод и отходящих газов. Поэтому одним из наиболее перспективных путей решения вышеперечисленных проблем является применение фотокатализа на основе высокоэффективных фотокатализаторов.

На современном этапе развития науки под понятием «фотокатализатор» понимают вещества, которые способны вызывать химические превращения реагентов под воздействием квантов света [1]. Как известно, несмотря на отрицательное значение  $\Delta G_0^{298}$ , многие химические реакции при комнатной температуре и нормальном давлении не протекают (например, получение водорода из воды) или осуществляются в жестких условиях (например, глубокое окисление). Поэтому применение источника облучения и фотокатализатора позволяет решить эту проблему, то есть повысить вероятность проведения тех химических реакций, которые в обычных условиях неосуществимы.

Однако, несмотря на постоянно растущее количество публикаций по данной проблематике, большинство обзоров имеет общенаучное значение и посвящено классификации и методам синтеза фотокаталитических структур вне зависимости от их функционального предназначения. Так, в работах [2, 3] проанализированы различные типы полупроводниковых фотокатализаторов в коллоидных растворах, эмульсиях и липидных везикулах. В обзоре [4] рассмотрены методы получения полупроводниковых фотокатализаторов различных редокс-процессов.

На наш взгляд, основным недостатком указанных обзоров является отсутствие областей применения фотокатализаторов для решения проблем химических технологий. Кроме того, в данных обзорах отсутствует информация о механизмах фотокаталитических превращений конкретных классов химических соединений вследствие сложности самого процесса. Поэтому в настоящей работе рассмотрены возможные варианты механизмов протекания фотокаталитических реакций, типы существующих в настоящее время фотокатализаторов, а также различные варианты промышленного применения фотокаталитических структур.

**Механизмы протекания фотокаталитических реакций.** Одним из наиболее известных фотокатализаторов в настоящее время является полупроводниковый титан (IV) диоксид с кристаллической модификацией анатаза. Это связано с его высокой фотокаталитической активностью, химической стабильностью, невысокой токсичностью и относительно низкой стоимостью. Фотокаталитические свойства  $\text{TiO}_2$  обусловлены особенностями его электронной структуры, а именно существованием в нем валентной зоны и зоны проводимости. Поэтому наиболее целесообразным будет рассмотреть механизм протекания реакций под воздействием квантов света на титан (IV) диоксиде.

В процессе поглощения кванта света при облучении объемом частицы диоксида титана образуется электронная вакансия  $h^+$  и свободный электрон  $e^-$  по следующему маршруту [5]:



которые рекомбинируют или мигрируют в теле полупроводника, частично локализуясь на дефектных структурных центрах его кристаллической решетки.

Как известно, в полупроводниковых соединениях электроны могут находиться в двух состояниях: свободном и связанном [5]. В первом случае электроны движутся по кристаллической решетке титан (IV) диоксида, которая образована катионами  $\text{Ti}^{4+}$  и анионами  $\text{O}^{2-}$ . Во втором случае, электроны, в основном, связаны с каким-либо ионом кристаллической решетки и принимают участие в образовании химических связей. Для перехода электрона из связанного состояния в свободное необходимо затратить энергию, равную величине ширины запрещенной зоны, которая для титан (IV) диоксида составляет 3,2 eV [6].

Так, на поверхности  $\text{TiO}_2$  образуются реакционноспособные частицы – дырки. Предполагаемый механизм образования этих частиц следующий. Дырка реагирует либо с водой по реакциям [6]:





или с каким-то адсорбированным органическим (в некоторых случаях – и неорганическим) соединением.

Радикал  $\text{OH}^{\bullet}$  или  $\text{O}^{\bullet}$  также способны окислить практически любое органическое соединение. Таким образом, электрон способен взаимодействовать с кислородом согласно следующим реакциям [6]:



Кроме того, образующийся по реакции (5) пероксид-ион  $\text{O}_2^{2-}$  реагирует с протоном  $\text{H}^+$  (реакция (2)):



В итоге, на поверхности титан (IV) диоксида образуются частицы  $\text{H}_2\text{O}_2$ , которые являются сильным окислителем.

Описанный выше механизм протекания фотокаталитических реакций на титан (IV) диоксиде под действием квантов света можно проиллюстрировать следующей схемой (рис. 1) [6]:

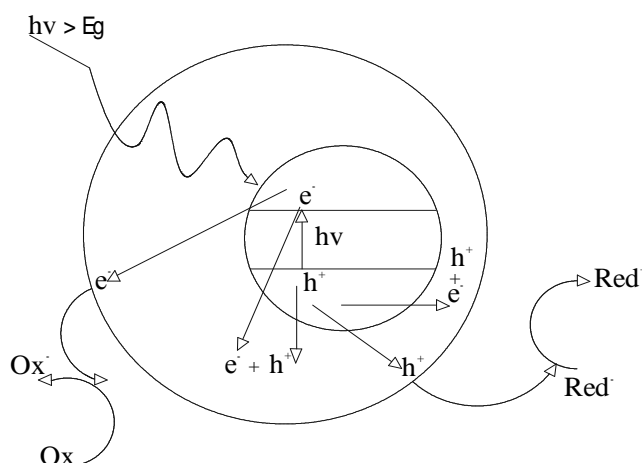


Рисунок 1 – Механизм протекания фотокаталитических реакций на титан (IV) диоксиде

Существует еще возможные варианты взаимодействия электрона  $e$  (реакции (7) и (8) [6]):



либо



Однако, согласно данным [6], механизм протекания фотокаталитических реакций по маршруту (7) и (8), может реализовываться только в водных растворах и при низких концентрациях кислорода.

Таким образом, на сегодняшний день описано несколько механизмов протекания фотокаталитических превращений, но однозначных выводов и единой модели нет. Причиной недостаточной изученности этих механизмов является то, что фотогенерирование электрических зарядов в системе фотокатализатор-адсорбат находится в динамическом равновесии с их миграцией и рекомбинацией.

Поэтому, на основании анализа литературных данных можно сделать выводы, что окончательный механизм будет определяться как условиями протекания реакций (газовая или жидкая среда), так и химической природой прекурсоров (органических или неорганических веществ).

Ввиду недостаточной изученности механизма фотокаталитических реакций, существует большое количество фотокаталитических структур, которые мало исследованы даже на лабораторном уровне. Данные о потенциальных фотокатализаторах для промышленного использования практически отсутствуют. Поэтому очевидна необходимость в исследовании и анализе тех фотокатализаторов, которые могут применяться именно для решения конкретных проблем химических технологий.

**Классификация фотокатализаторов для промышленного использования.** Фотокатализаторы для промышленного использования должны обладать фото- и химической стабильностью, биологической инертностью, высокой фоточувствительностью, развитой удельной, химически активной поверхностью, способностью к адсорбции реагентов под действием квантов света, а также иметь доступную сырьевую базу и невысокую стоимость [7]. Однако, как известно, главным свойством фотокатализатора является фотокаталитическая активность, которая определяется совокупностью факторов:

- тип материала, который образует фотокатализатор;
- тип кристаллической структуры частиц;
- форма частиц;
- пористость;
- концентрация поверхностных гидроксильных групп и др. [4].

Поэтому фотокаталитические структуры можно классифицировать с учетом вышеприведенных признаков. С технологической же точки зрения, наиболее целесообразной является классификация по типу твердотельного материала, который образует фотокатализатор (табл. 1).

Таблица 1 – Классификация фотокатализаторов по типу твердотельного материала [4]

Тип материала		Примеры	
Халькогениды металлов	простые	CdS, ZnS, ZnSe, In <sub>2</sub> S <sub>3</sub> , ZnSe, Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	
Оксиды металлов		TiO <sub>2</sub> , ZnO, CuO, BiOBr	
	сложные	бинарные оксидные	TiO <sub>2</sub> /ZnO, TiO <sub>2</sub> /SnO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CeO <sub>2</sub> /TiO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> /Cu(OH) <sub>2</sub> , SnO <sub>2</sub> /ZnO, TiO <sub>2</sub> /ZrO <sub>2</sub>
		халькогенид-оксидные	CdS/TiO <sub>2</sub> , CdS/ZrO <sub>2</sub> , PbS/TiO <sub>2</sub> , CdSe/TiO <sub>2</sub> , Bi <sub>2</sub> S <sub>3</sub> /TiO <sub>2</sub> , WS <sub>2</sub> /TiO <sub>2</sub>
		металл-полупроводниковые	Pt/TiO <sub>2</sub> , Pd/TiO <sub>2</sub> , Au/ZnO, Ag/ZnO
	допированные	катионы металлов	TiO <sub>2</sub> -Fe, -Co, -V, -Nb, -Zr, -Sm, -W, -Cr, -Cu, -Sn, -Ag, -Ta, -Ce
		атомы неметаллов	TiO <sub>2</sub> -N, -S, -C, -Cl
Металлатные полупроводники		SrTiO <sub>3</sub> , ZrTiO <sub>4</sub> , K <sub>4</sub> Nb <sub>6</sub> O <sub>17</sub> , Bi <sub>3</sub> WO <sub>6</sub> , NiTiO <sub>3</sub>	

Как следует из данных, приведенных в табл. 1, большинство применяемых в качестве фотокатализаторов материалов относятся к переходным d-элементам, в атомах которых заполняются орбитали предвнешнего слоя: кадмий, цинк, титан, медь, железо, цирконий, вольфрам, платина, палладий, золото, серебро, кобальт, ванадий, ниобий, хром, медь, тантал, никель. Также достаточно широко в качестве составляющих материалов для получения фотокатализаторов применяются р-элементы, валентными электронами и орбиталями которых являются внешние слои атома: селен, индий, висмут, бром, олово, свинец, а также углерод, азот, хлор, сера и кислород. Реже всего для изготовления фотокатализаторов используют s-элементы (стронций, калий) и f-элементы (церий, самарий).

По типу кристаллической структуры частиц твердотельные фотокатализаторы делят на порошкообразные и пленочные [4].

Порошкообразные фотокатализаторы в промышленных масштабах используются в виде суспензий в воде и других растворителях. Методы их получения относительно просты и состоят из двух стадий: непосредственный синтез порошка и дальнейшая его компоновка.

Пленочные фотокатализаторы имеют значительные преимущества по сравнению с порошкообразными с точки зрения организации технологического процесса, особенно при фотокаталитическом окислении летучих токсических соединений. Однако такие фотокатализаторы в промышленных условиях практически не используются вследствие недостаточной их изученности.

Особую роль при получении пленочных фотокатализаторов также играет материал подложки, поскольку он может сказываться на фотокаталитической активности. В качестве подложек используют оптическое волокно, стекло, кварц, различные металлы, оксиды и т.д.

**Области промышленного применения фотокатализаторов.** Среди публикаций, касающихся фотокатализа, можно выделить ряд статей, имеющих прикладное значение и посвященных применению синтезированных фотокаталитических структур [4, 8]. К основным направлениям применения фотокатализаторов в производстве относят: экологическую очистку канализационных и промышленных сточных вод, промышленных газовых выбросов, получение водорода из различного водородсодержащего сырья, получение углерод (II) оксида в производстве метанола, разработку фотокаталитических преобразователей солнечной энергии.

Существует фотокаталитическая очистка промышленных сточных вод от неорганических загрязнителей – цианид- и сульфит-ионы, ртуть  $\text{Hg}^{2+}$ , хром  $\text{Cr}^{6+}$  [9, 10]. Характерной особенностью данного вида очистки является перевод загрязнителей в менее токсичные формы.

Фотокаталитическая очистка воды от таких органических загрязнителей, таких, как хлорсодержащие соединения, фенолы, различные красители, уксусная кислота, 4-нитрофенол, изопропанол [11–13] и др., имеет основное преимущество – в процессе окисления на фотокатализаторе все органические примеси подвергаются полной деструкции с образованием минеральных кислот. Таким образом, образуются безопасные для окружающей среды вещества. Однако следует отметить, что большинство исследований, несмотря на свой прикладной характер, проведены только в лабораторных условиях, хотя имеются некоторые данные [14] о полупромышленных испытаниях устройств очистки и обеззараживания воды с использованием фотокатализаторов.

В работах [15, 16] описана также фотокаталитическая очистка воздуха от различных органических загрязнителей: толуола, трихлорэтилена, ацетона, формальдегида и др. Этот метод позволяет очищать воздух от указанных выше загрязнителей, как в производственных, так и в жилых помещениях. На сегодняшний день существуют данные и отечественных, и зарубежных исследователей о разработках опытных образцов фотокаталитических очистителей воздуха, часть из которых уже запущена в серийное производство и успешно реализуется в условиях современного рынка.

Особняком отстоит проблема фотокаталитической очистки воздуха от выбросов дизельных двигателей. В данном направлении ведутся комплексные лабораторные исследования по изучению возможности нейтрализации углерод (II) оксида, углеводородов и оксидов азота в выхлопных газах с помощью различных фотокатализаторов [17, 18]. На сегодняшний день в промышленности применяются обычные каталитические конверторы [17]. Однако они имеют существенные недостатки, а именно: низкую степень очистки, высокие капиталовложения и др.

Одной из важнейших областей промышленного применения фотокатализаторов является получение водорода из воды путем разложения под действием излучения в видимой области спектра. Ряд исследований [19, 20], посвященный поискам новых, возобновляемых энергоносителей, являющихся альтернативой углю, бензину, природному газу и другим видам топлива, предлагает использовать водород, выделенный по указанной выше методике. В данное время эта тематика успешно разрабатывается на стадии лабораторных исследований, позволяющих в перспективе перейти на производство водорода в больших масштабах.

Существуют и публикации [21], посвященные получению водорода из метана. Такой метод может получить широкое применение в промышленных масштабах, Однако на сегодняшний день большая часть публикаций посвящена получению водорода в непромышленных условиях.

Перспективными направлениями в этой же области являются выделение водорода из раствора сульфата натрия [22], водно-спиртовых смесей [23], однако данные разработки выполнены также в лабораторных условиях.

**Выводы.** Фотокатализ в настоящее время представляет собой быстро развивающуюся область науки, которая в рамках постоянно растущего научно-технического прогресса может способствовать решению многих экологических и энергетических проблем. На основании проведенного анализа можно сделать выводы, что применение различных фотокатализаторов для решения проблем современной промышленности является актуальной прикладной задачей. Для этого необходимо активно исследовать фотофизические свойства тех материалов и композиций, на основе которых можно получить эффективные, каталитически активные фотокатализаторы.

На сегодняшний день имеются противоречивые данные о механизмах протекания фотокаталитических реакций, причем исследованы, в основном, титановые фотокатализаторы. Механизмы протекания реакций на других фотокатализаторах не изучены. Кроме того, особое внимание в дальнейших исследованиях необходимо уделить получению пленочных фотокатализаторов, как наиболее перспективных для промышленного использования, а именно материалам для самих фотокатализаторов, подложек, методам нанесения и закрепления катализирующих веществ на носителях.

## Литература

1. Воронцов А.В. Фотокаталитические превращения органических соединений серы и  $H_2S$  // Успехи химии. – 2008. – № 77 (10). – С. 973–991.
2. Стрюк А.П., Крюков А.И., Кучмий С.Я. Нанопотокатализ: физико-химические аспекты формирования коллоидных полупроводниковых фотокатализаторов // Химия, физика и технология поверхности. – 2009. – № 15. – С. 215–245.
3. Shchukin D.G., Sviridov D.V. Photocatalytic processes in spatially-confined micro- and nanoreactors // J. Photochem. Photobiol. C: Photochemistry Reviews. – 2006. – № 7 (1). – P. 23–39.
4. Стрюк А.П., Крюков А.И., Кучмий С.Я. Получение и применение в нанопотокатализе твердотельных полупроводниковых материалов с размерными эффектами // Наносистемы, наноматериалы, нанотехнологии. – 2010. – № 8 (1). – С. 1–78.
5. Fujishima A., Rao T.N., Tryk D.A. Titanium dioxide photocatalysis // J. Photochem. Photobiol. C: Photochemistry Reviews. – 2000. – № 1. – P. 1–21.
6. Jović F., Tomašić V. Heterogena fotokataliza: osnove i primjena za obradu onečišćenog zraka // Kem. Ind. – 2011. – № 60 (7–8). – P. 387–403.
7. Colmenares J.C., Luque R., Campelo J.M., Colmenares F. Nanostructured Photocatalysts and Their Applications in the Photocatalytic Transformation of Lignocellulosic Biomass: An Overview // Materials. – 2009. – № 2. – P. 2228–2258.
8. Mills A., Lee S.-K., A web-based overview of semiconductor photochemistry-based current commercial applications // J. Photochem. Photobiol. – 2002. – № 152. – P. 233–247.
9. Vinu R., Madras G. Kinetics of simultaneous photocatalytic degradation of phenolic compounds and reduction of metal ions with nano- $TiO_2$  // Env. Sci. Technol. – 2008. – № 42. – P. 913–919.
10. Jeon S.H., Eom Y., Lee T.G. Photocatalytic oxidation of gas-phase elemental mercury by nanotitanosilicate fibers // Chemosphere. – 2008. – № 71. – P. 969–974.
11. Di Paola A., García-López E., Marcì G., Palmisano L. A survey of photocatalytic materials for environmental remediation // Journal of Hazardous Materials. – 2012. – № 211–212. – P. 3–29.
12. Shen X., Zhu L., Wang N., Tang H. Molecular imprinting for removing highly toxic organic pollutants // Chem. Commun. – 2012. – № 48. – P. 788–789.
13. Wu D., Xiao B., Liu N., Xiao Y. One step from ZnO rod to ZnS porous tube // Mater. Sci. And Engin. B. – 2010. – № 3. – P. 195–200.
14. Савинов Е.Н. Фотокаталитические методы очистки воды и воздуха // СОЖ. – 2000. – № 11. – С. 52–56.
15. Mills A., O'Rourke C. Photocatalytic oxidation of toluene in an NMR tube // J. of Photochem. and Photobiol. A. – 2012. – № 233. – P. 34–39.
16. Cojocararu B., Neațu S., Sacaliuc-Pârvolescu E., Lévy F. Influence of gold particle size on the photocatalytic activity for acetone oxidation of Au/ $TiO_2$  catalysts prepared by dc-magnetron sputtering // Appl. Catal. B. – 2011. – № 107. – P. 140–149.
17. Коршовец И.К., Веденяпин А.А., Веденяпина М.Д. Фундаментальные и прикладные химические проблемы охраны окружающей среды в разработках Российской академии наук // Инженерная экология. – 2008. – № 6. – P. 4–56.
18. Ballari M.M., Hunger M., Hüsken G., Brouwers H.J.H.  $NO_x$  photocatalytic degradation employing concrete pavement containing titanium dioxide // Appl. Catal. B. – 2010. – № 95. – P. 245–254.
19. Ni M., Leung M.K.H., Sumathy K., Leung D.Y.C. A review and recent developments in photocatalytic water-splitting using  $TiO_2$  for hydrogen production // Renewable Sust. EEnergy Rev. – 2006. – № 11. – P. 401–425.
20. Lu X.-H., Xie S.-L., Zhai T., Zhao Y.-F. Monodisperse  $CeO_2/CdS$  heterostructured spheres: one-pot synthesis and enhanced photocatalytic hydrogen activity // RSC Advances. – 2011. – № 1. – P. 1207–1210.



21. Yuliati L., Hamajima T., Hattori T., Yoshida H. Highly dispersed Ce(III) species on silica and alumina as new photocatalysts for non-oxidative direct methane coupling // *Chem. Commun.* – 2005. – № 111. – P. 4824–4826.
22. Lu X.-J., Fu W.-F., Chang H.-X., Zhang H. Hydrogen evolution from water using semiconductor nanoparticle/graphene composite photocatalysts without noble metals // *J. Mater. Chem.* – 2012. – № 22. – P. 1539–1546.
23. Strataki N., Bekiari V., Kondarides D.I., Lianos P. Hydrogen production by photocatalytic alcohol reforming employing highly efficient nanocrystalline titania films // *Appl. Catal.* – 2007. – № 77. – P. 184–189.

## Bibliography (transliterated)

1. Vorontsov A.V. Fotokataliticheskie prevrascheniya organicheskikh soedineniy seryi i H<sub>2</sub>S Uspehi himii. – 2008. – # 77 (10). – p. 973–991.
2. Stroyuk A.P., Kryukov A.I., Kuchmiy S.Ya. Nanofotokataliz: fiziko-himicheskie aspekty formirovaniya kolloidnykh poluprovodnikovyykh fotokatalizatrov Himiya, fizika i tehnologiya poverhnosti. – 2009. – # 15. p. 215–245.
3. Shchukin D.G., Sviridov D.V. Photocatalytic processes in spatially-confined micro- and nanoreactors J. Photochem. Photobiol. C: Photochemistry Reviews. – 2006. – # 7 (1). – P. 23–39.
4. Stroyuk A.P., Kryukov A.I., Kuchmiy S.Ya. Poluchenie i primenenie v nanofotokatalize tverdotelnykh poluprovodnikovyykh materialov s razmernymi efektami Nanosistemi, nanomateriali, nanotekhnologiyi. – 2010. – # 8 (1). – p. 1–78.
5. Fujishima A., Rao T.N., Tryk D.A. Titanium dioxide photocatalysis J. Photochem. Photobiol. C: Photochemistry Reviews. – 2000. – # 1. – P. 1–21.
6. Jović F., Tomašić V. Heterogena fotokataliza: osnove i primjena za obradu onečišćenog zraka Kem. Ind. – 2011. – № 60 (7–8). – P. 387–403.
7. Colmenares J.C., Luque R., Campelo J.M., Colmenares F. Nanostructured Photocatalysts and Their Applications in the Photocatalytic Transformation of Lignocellulosic Biomass: An Overview Materials. – 2009. – # 2. – P. 2228–2258.
8. Mills A., Lee S.-K., A web-based overview of semiconductor photochemistry-based current commercial applications J. Photochem. Photobiol. – 2002. – # 152. – R. 233–247.
9. Vinu R., Madras G. Kinetics of simultaneous photocatalytic degradation of phenolic compounds and reduction of metal ions with nano-TiO<sub>2</sub> Env. Sci. Technol. – 2008. – # 42. – R. 913–919.
10. Jeon S.H., Eom Y., Lee T.G. Photocatalytic oxidation of gas-phase elemental mercury by nanotitanosilicate fibers Chemosphere. – 2008. – # 71. – P. 969–974.
11. Di Paola A., García-López E., Marci G., Palmisano L. A survey of photocatalytic materials for environmental remediation Journal of Hazardous Materials. – 2012. – № 211–212. – P. 3–29.
12. Shen X., Zhu L., Wang N., Tang H. Molecular imprinting for removing highly toxic organic pollutants Chem. Commun. – 2012. – # 48. – P. 788–789.
13. Wu D., Xiao B., Liu N., Xiao Y. One step from ZnO rod to ZnS porous tube Mater. Sci. And Engin. B. – 2010. – # 3. – P. 195–200.
14. Savinov E.N. Fotokataliticheskie metodyi ochkistki vodyi i vozduha SOZh. – 2000. – # 11. – p. 52–56.
15. Mills A., O'Rourke C. Photocatalytic oxidation of toluene in an NMR tube J. of Photochem. and Photobiol. A. – 2012. – # 233. – P. 34–39.
16. Cojocaru B., Neațu S., Sacaliuc-Pârvolescu E., Lévy F. Influence of gold particle size on the photocatalytic activity for acetone oxidation of Au/TiO<sub>2</sub> catalysts prepared by dc-magnetron sputtering Appl. Catal. B. – 2011. – № 107. – P. 140–149.
17. Korshovets I.K., Vedenyapin A.A., Vedenyapina M.D. Fundamentalnyie i prikladnyie himicheskie problemyi ohranyi okruzhayushey sredy v razrabotkakh Rossiyskoy akademii nauk Inzhenernaya ekologiya. – 2008. – # 6. – P. 4–56.
18. Ballari M.M., Hunger M., Hüsken G., Brouwers H.J.H. NO<sub>x</sub> photocatalytic degradation employing concrete pavement containing titanium dioxide Appl. Catal. B. – 2010. – № 95. – P. 245–254.
19. Ni M., Leung M.K.H., Sumathy K., Leung D.Y.C. A review and recent developments in photocatalytic water-splitting using TiO<sub>2</sub> for hydrogen production Renewable Sust. EEnergy Rev. – 2006. – # 11. – P. 401–425.
20. Lu X.-H., Xie S.-L., Zhai T., Zhao Y.-F. Monodisperse CeO<sub>2</sub>/CdS heterostructured spheres: one-pot synthesis and enhanced photocatalytic hydrogen activity RSC Advances. – 2011. – # 1. – P. 1207–1210.

21. Yuliati L., Hamajima T., Hattori T., Yoshida H. Highly dispersed Ce(III) species on silica and alumina as new photocatalysts for non-oxidative direct methane coupling Chem. Commun. – 2005. – # 111. – P. 4824–4826.

22. Lu X.-J., Fu W.-F., Chang H.-X., Zhang H. Hydrogen evolution from water using semiconductor nanoparticle/graphene composite photocatalysts without noble metals J. Mater. Chem. – 2012. – # 22. – P. 1539–1546.

23. Strataki N., Bekiari V., Kondarides D.I., Lianos P. Hydrogen production by photocatalytic alcohol reforming employing highly efficient nanocrystalline titania films Appl. Catal. – 2007. – # 77. – P. 184–189.

УДК 66.094.37

Биканова В.В., Козуб П.А., Булавін В.І., Козуб С.М.

#### ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ ФОТОКАТАЛІЗАТОРІВ У ВИРОБНИЦТВІ (ОГЛЯД)

Розглянуто основні проблеми використання фотокаталізаторів для рішення різноманітних проблем хімічних технологій. Проаналізовано передбачені механізми перебігу фотокаталітичних реакцій на титан (IV) діоксиді. Запропоновано класифікацію фотокаталізаторів за типом тврдотільного матеріалу. Встановлено та проаналізовано загальні напрямки промислового використання фотокаталізаторів.

Bykanova V.V., Kozub P.A., Bulavin V.I., Kozub S.N.

#### TECHNOLOGICAL ASPECTS OF THE APPLICATION OF PHOTOCATALYSTS IN THE INDUSTRY (THE OVERVIEW)

The main problems of the application of photocatalysts for decision of the different problems of chemical technologies are considered. The supposed mechanisms of photocatalytic reactions behavior on a titanium (IV) dioxide are analyzed. The classification of photocatalysts on the type of solid-state materials is offered. The basic areas of industrial applications of photocatalysts are installed and analyzed.

### ДИНАМИКА ПЛАСТИНЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА ПРИ ПРЯМОТОЧНОМ ДВИЖЕННІ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ

**Введение.** Управление тепловыми схемами, которые включают поверхностные теплообменные аппараты (ТА), требует знаний относительно статических и динамических характеристик всех звеньев объекта автоматического регулирования. Это обусловлено тем, что регулируемый объект и теплообменный аппарат неразрывно связаны с элементами системы автоматического регулирования как взаимно влияющие друг на друга. Поэтому знание переходных характеристик ТА является необходимым для проектирования оптимальных теплоэнергетических и теплотехнологических установок, которые работают в условиях изменяющихся нагрузок или параметров производственного процесса. Кроме того, в ряде случаев ТА является не отдельным звеном схемы, а самостоятельным объектом регулирования.

Целью настоящей работы является разработка наиболее совершенной методики численного анализа переходных процессов пластинчатых ТА с прямоточным движением теплоносителей. Методика базируется на применении модифицированных схем бегущего счета применительно к решению системы дифференциальных уравнений, которая описывает переходной процесс ТА при изменении входных параметров одного или обоих теплоносителей.

Обзор литературы по нестационарным процессам ТА [1–4] позволяет сделать вывод, что данная работа расширяет возможности теоретического анализа переходных процессов в ТА на основе последних достижений прикладной математики по численным методам решения дифференциальных уравнений в частных производных [5, 6]. Модификация устойчивых схем бегущего счета применительно к математической модели (ММ) позволило получить устойчивый алгоритм численного расчета динамических характеристик ТА.

**Математическая модель задачи.** Развитие методов исследования динамических характеристик теплообменных аппаратов идет по пути экспериментальных и математических методов. Сочетание указанных методов позволяет повысить надежность полученных данных для разработки систем автоматического управления теплотехнологическими звеньями объектов регулирования [2,4].

Математические методы имеют определенные преимуществам по сравнению с экспериментом, поскольку позволяют выяснить влияние большего числа параметров на переходные характеристики аппаратами и получить эти данные еще на стадии проектирования.

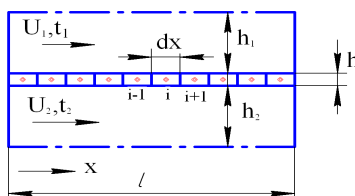


Рисунок 1 – Расчетный модуль прямоточного ТА

Нестационарный режим работы ТА можно описать тремя дифференциальными уравнениями в частных производных, которые выражают баланс энергии контрольного объема на участке теплообменной стенки площадью  $1 \cdot dx$  (рис. 1):

уравнение энергии для первого теплоносителя

$$\frac{\partial t_1}{\partial \tau} + u_1 \frac{\partial t_1}{\partial x_1} + B_1(t_1 - t) = 0, \quad (1)$$

где  $B_1$  – размерный комплекс, определяемый соотношением

$$B_1 = \frac{\alpha_1}{c_1 \rho_1 h_1}; \quad (2)$$

уравнение энергии второго теплоносителя

$$\frac{\partial t_2}{\partial \tau} + u_2 \frac{\partial t_2}{\partial y_2} + B_2(t_2 - t) = 0, \quad (3)$$

где  $B_2$  – комплекс, аналогичный  $B_1$ ,

$$B_2 = \frac{\alpha_2}{c_2 \rho_2 h_2}; \quad (4)$$

дифференциальное уравнение энергии для разделительной стенки

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} + A_1(t_1 - t) + A_2(t - t_2) = 0, \quad (5)$$

где  $A_1$  и  $A_2$  – размерные комплексы, которые определяются соотношениями

$$A_1 = \frac{\alpha_1}{c \rho h}; \quad (6)$$

$$A_2 = \frac{\alpha_2}{c \rho h}. \quad (7)$$

Таким образом, дифференциальные уравнения (1), (3) и (5) представляют собой математическую модель динамики пластинчатого теплообменника с прямооточным движением теплоносителей независимо от того, какой является греющим или нагреваемым.

Для решения системы дифференциальных уравнений (1), (3) и (5) должны быть заданы начальные и граничные условия.

Учитывая, что температура теплоносителей и стенки зависит только от одной координаты  $x$  и времени, начальные условия можно сформулировать следующим образом:  $\tau = 0, 0 \leq x \leq 1$ :

$$t_1(x, 0) = f_1(x); \quad (8)$$

$$t_2(x, 0) = f_2(x); \quad (9)$$

$$t(x, 0) = f(x), \quad (10)$$

где  $f_1(x), f_2(x), f(x)$  – известные функции распределения температуры соответственно первого и второго теплоносителей и стенки в начальный момент времени.

В качестве граничных условий необходимо задать температуры теплоносителей на входе. В общем случае эти условия можно записать следующим образом:

для первого теплоносителя

$$\begin{aligned} \tau > 0, x = 0: \\ t_1(0, \tau) = \varphi_1(\tau); \end{aligned} \quad (11)$$

для второго теплоносителя

$$\begin{aligned} \tau > 0: x = 0: \\ t_2(0, \tau) = const, \end{aligned} \quad (12)$$

где  $\varphi_1(\tau), \varphi_2(\tau)$  – заданные функции, например, при скачкообразном изменении температуры первого теплоносителя до значения  $t_{1,max}$  условие (11) будет записано

$$t_1(0, \tau) = t_{1,max}.$$

В силу допущений об отсутствии теплоотвода на торцах граничные условия для стенки не формулируются.

**Численный алгоритм.** Для прямооточного движения теплоносителей математическая модель динамического процесса теплообменника представляет собой сопряженную систему уравнений. Это выражается в том, что система дифференциальных уравнений (1), (3) и (5) состоит из дифференциальных уравнений в частных производных, которые связаны между собой, т.е. искомая температура одного компонента теплообменника зависит от температуры двух других, которые тоже являются неизвестными.

Поэтому получить аналитическое решение задачи не представляется возможным, если не ввести ряд упрощений, которые могут существенно ограничить область исследования динамики аппарата с прямоточным движением теплоносителей. [1].

Здесь предлагается численный метод, который базируется на неявных схемах бегущего счета [5], модифицированных с учетом сопряженности дифференциальных уравнений ММ и особенностей изменяющихся граничных условий.

Разностные схемы для системы дифференциальных уравнений (1), (3) и (5) могут быть записаны следующим образом:

для первого теплоносителя

$$\frac{t_{1,i}^{k+1} - t_{1,i}^k}{\Delta \tau} + u_1 \frac{t_{1,i}^{k+1} - t_{1,i-1}^{k+1}}{\Delta x} + B_1(t_{1,i}^{k+1} - t_i^k) = 0, \quad (13)$$

для второго теплоносителя

$$\frac{t_{2,i}^{k+1} - t_{2,i}^k}{\Delta \tau} + u_2 \frac{t_{2,i}^{k+1} - t_{2,i-1}^{k+1}}{\Delta x} + B_2(t_{2,i}^{k+1} - t_i^{k+1}) = 0, \quad (14)$$

тоже для разделительной стенки

$$\frac{t_i^{k+1} - t_i^k}{\Delta \tau} + A(t_i^{k+1} - t_{1,i}^{k+1}) + B(t_i^{k+1} - t_{2,i}^k) = 0, \quad (15)$$

$$0 < i \leq N1$$

Порядок аппроксимации приведенных разностных уравнений пропорционален первой степени шагов интегрирования  $\Delta x$  и  $\Delta \tau$ .

На каждом временном слое решение системы разностных уравнений (13)–(15) может быть выполнено по схеме бегущего счета. При этом отпадает необходимость в решении систем связанных алгебраических уравнений (13)–(15) с неизвестными  $t_i^{k+1}$ ,  $t_{1,i}^{k+1}$ ,  $t_{2,i}^{k+1}$ .

Следует отметить, что при решении необходимо соблюдать определенный порядок в последовательности решения, что видно из анализа уравнений (13)–(15).

**Результаты численного эксперимента.** Исходные данные численного эксперимента были выбраны близкими к реальным по конструкции и эксплуатации пластинчатых теплообменных аппаратов:  $h_c = 0,001$  м;  $h_1 = 0,005$  м;  $h_2 = 0,005$  м). В качестве греющей среды были выбраны дымовые газы среднего состава, в качестве нагреваемой – воздух. Скорости движения теплоносителей составляли 5 м/с. Температура греющего теплоносителя менялась по экспоненциальному закону с различными значениями показателей  $m_1$ .

Коэффициенты теплообмена  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  определялись по соотношениям для развитого движения в плоском канале [7], шаги интегрирования имели значения  $\Delta x = 0,02$  м,  $\Delta \tau = 5$  с. Водяные эквиваленты потоков составляли:  $W_1 = 16,82$  Вт/°С,  $W_2 = 26,63$  Вт/°С;  $W_1 = 33,64$  Вт/°С,  $W_2 = 53,26$  Вт/°С;  $W_1 = 67,28$  Вт/°С,  $W_2 = 106,5$  Вт/°С.

На рис. 2 и 3 представлены отдельные результаты проведенных численных исследований.

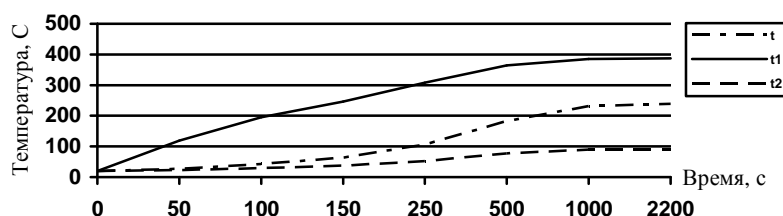


Рисунок 2 – Изменение температуры теплоносителя и стенки на выходе из теплообменника ( $x = 1$ ) при  $m_1 = 0.01$  1/с;  $W_1 = 16,82$  Вт/°С,  $W_2 = 26,63$  Вт/°С

**Выводы.** Разработана методика численного исследования динамики пластинчатого теплообменного аппарата с прямоточным движением теплоносителей. Численный алгоритм составлен из последовательно решаемых устойчивых разностных уравнений бегущего счета. Предложенный алгоритм пригоден для

експоненциального закона изменения температуры одного или одновременно двух теплоносителей для отношений водяных эквивалентов.

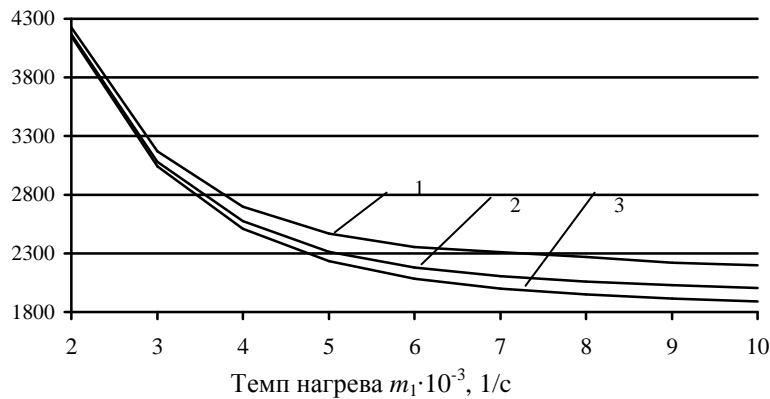


Рисунок 3 – Зависимость времени переходного процесса ТА

от темпа увеличения температуры греющего теплоносителя для параметра сходимости  $\varepsilon = |t_N^{k+1} - t_N^k| < 10^{-3}$ ;  
 1 –  $W_1 = 16.82$  Вт/°С; 2 –  $W_1 = 33.64$  Вт/°С; 3 –  $W_1 = 67.28$  Вт/°С;  $W_2 / W_1 = 1.58$

Литература

1. Архипов Г.В. Автоматическое регулирование поверхностных теплообменников / Г.В. Архипов. – М.: Энергия. 1971. – 304 с.
2. Кафаров В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии / В.В. Кафаров. – М.: Химия, 1976. – 464 с.
3. Шевяков А.А. Управление тепловыми процессами с распределенными параметрами / А.А. Шевяков, Р.В. Яковлева. – М.: Энергоатомиздат. 1985. – 205 с.
4. Федоров В.И. Метод элементарных балансов для расчета нестационарных процессов поверхностных теплообменных аппаратов / В.И. Федоров, З.А. Марценюк. – К.: Наукова думка, 1977. – 140 с.
5. Шокин Ю.И. Метод дифференциального приближения / Ю.И. Шокин, Н.Н. Яненко. – Новосибирск: Наука, 1985. – 372 с.
6. Себиси Т. Конвективный теплообмен / Т. Себиси, П. Брэдшоу. – М.: Мир, 1987, 592 с.
7. Михеев М. А. Основы теплопередачи / Михеев М.А., Михеева И.М. – М.: Энергия, 1977. – 344 с.

Bibliography (transliterated)

1. Plastinchatyie teploobmenniki v promyishlennosti L.L. Tovazhnyanskiy, P.A. Kapustenko, G.L. Havin, O.P. Arseneva. – Harkov: NTU «HPI», 2004. – 232 p.
2. Modernizatsiya sistemyi posledovatelno ustanovlennyih podogrevateley saharnogo soka Arseneva O.P., Babak T.G., Demirskiy A.V., Havin G.L. Naukovi pratsi ONAHT. – Odesa: 2011, Vip.39. – Tom.2. – p. 151–155.
3. Arseneva O.P., Demirskiy A.V., Havin G.L. Optimizatsiya plastinchatogo teploobmennika Probl. mashinostroeniya. – 2011. – t.14, #1. – p. 23–31.
4. Sagan I.I., Razladin Yu.S. Borba s nakipeobrazovaniem v teploobmennikah. – Kiev: Tehnika, 1986. – 133 p.
5. Nakipeobrazovanie i puti ego snizheniya v saharnoy promyishlennosti/ A.T. Bogorosh, I.M. Fedotkin, I.S. Gulyiy. – М.: Legkaya i pischevaya prom-st, 1983. – 192 p.
6. Bogorosh A.T. Vozmozhnosti upravleniya svoystvami kristallicheskih otlozheniy. – К.: Vischa shkola, 1987. – 247 p.
7. Bogorosh A.T. Voprosyi nakipeobrazovaniya. – К.: Vischa shkola, 1987. – 179 p.
8. Hesselgraves J.E. An approach to fouling allowances in the design of compact heat exchangers Applied Thermal Engineering, 2002. – 22. – P. 755–762.
9. Issledovanie vliyaniya skorosti dvizheniya soka na koeffitsient nakipeobrazovaniya v podogrevatelyah saharnoy promyishlennosti Tobilevich N.Yu., Sagan I.I., Garyazha V.T., Knyazev A.A. Pischevaya promyishlennost. – Kiev, 1965. – p. 132–135.

УДК 66.045.1

Шевелев О.О., Тарасенко О.М.

**ДИНАМІКА ПЛАСТИНЧАСТОГО ТЕПЛОБМІННОГО АПАРАТУ  
ПРИ ПРЯМОТОЧНОМУ РУСІ ТЕПЛОНОСІЇВ**

Чисельним методом розрахунку, «що біжить», вирішена пов'язана система диференціальних рівнянь динаміки прямооточного пластинчастого теплообмінника. Розраховані відгуки входних температур потоків на експонентний закон збільшення входної температури гріючого теплоносія. Показано вплив відносини водяних еквівалентів теплоносіїв на час перехідного процесу теплообмінника для широкого діапазону зміни темпу збільшення входної температури гріючого середовища.

Shevelev A.A., Tarasenko A.N.

**DYNAMICS OF PLATE HEAT EXCHANGE  
WITH UNIFLOW MOTION HEAT CARRYING AGENTS**

The numeral method of running account is decide coupled system of differential equations dynamics of uniflow plate heat exchange. calculated response of input flow temperatures for the exponential law of increasing the inlet temperature of heating fluid. shows the effect of the ratio of water equivalents heat carrying agents during the transition for a wide range variation the rate of increase inlet temperature of the heating medium.

**«ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

**Ежеквартальный научно-практический журнал**

Редколлегией к опубликованию принимаются статьи по следующим научным направлениям:

- ✓ энергетика и энергосбережение; энерготехнология энергоемких отраслей промышленности; нетрадиционная энергетика; ресурсосбережение; энергетика и окружающая среда;
- ✓ теплоиспользующие установки; моделирование процессов промышленного оборудования; процессы и аппараты различных отраслей промышленности (химической, пищевой, мед. оборудования и проч.);
- ✓ применение ЭВМ в технологических процессах; автоматизированные системы управления и обработки информации;
- ✓ тепло- и массообменные процессы и оборудование специальной техники; тепловые процессы и криогенное оборудование медицинского назначения;
- ✓ электроэнергетика; оборудование электростанций и передача электроэнергии;
- ✓ экономические аспекты энергетики и промышленной экологии; коммерческий инжиниринг, реинжиниринг и технологический менеджмент,

а также другим направлениям, на стыке различных отраслей знаний.

Материалы к опубликованию в каждый последующий номер принимаются до 20 числа последнего месяца предыдущего квартала. Рукописи авторам не возвращаются.

Материал должен быть подготовлен на IBM-совместимом компьютере и распечатан в 2-х экземплярах. К материалам должен прилагаться диск CD-R или CD-RW со статьей, набранной в редакторе текстов **MS Word for Windows версий 97, XP, 2000 или 2003.**

К статье необходимо приложить экспертное заключение о возможности опубликования материалов в открытой печати и рецензию доктора наук по профилю подаваемой статьи.

**ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЬИ:**

Размер бумаги А4 (210×297 мм); левое и правое поля – 25 мм, верхнее и нижнее – 30 мм; рекомендуемый шрифт Times New Roman Сут; размер шрифта – 12; межстрочный интервал – 1.

**ПОРЯДОК РАЗМЕЩЕНИЯ МАТЕРИАЛА:**

- непосредственно под верхней границей слева **БОЛЬШИМИ БУКВАМИ** печатается УДК статьи;
- пропустив одну строку, по центру печатаются инициалы и фамилии авторов;
- пропустив одну строку, по центру полужирным шрифтом **БОЛЬШИМИ БУКВАМИ** печатается название статьи;
- пропускается одна строка и с абзаца (1,25 см) печатается основной текст, отформатированный по ширине страницы;
- перед и после формул и уравнений должно быть расстояние в одну пустую строку до текста с интервалом 1;
- формулы и уравнения должны быть выровнены по центру;
- номера формул и уравнений выровнены по правому краю;
- размер шрифта формул и уравнений для основного текста – 12 пт.;
- рисунки, схемы и графики должны быть выполнены в черно-белом изображении;
- пропустив одну строку, следует список литературы, оформленный в соответствии с требованиями ДСТУ;
- в конце статьи на украинском (русском – для статьи на украинском языке), русском и английском языках должны быть напечатаны УДК, авторы, название и аннотация.

**РЕДКОЛЛЕГИИ**

Украина, 61002,  
Харьков-2, ул. Фрунзе, 21,  
НТУ «ХПИ», редколлегия журнала  
«Интегрированные технологии и энергосбережение»,  
секретарю редколлегии Горбунову К.А.  
Тел. (057) 707-69-58.  
(057) 707-61-99  
Email: [sita\\_gor@mail.ru](mailto:sita_gor@mail.ru)

**СТАТЬИ, ОФОРМЛЕННЫЕ НЕ В СООТВЕТСТВИИ С ПРАВИЛАМИ,**

**РЕДКОЛЛЕГИЕЙ НЕ РАССМАТРИВАЮТСЯ**

**НА ЖУРНАЛ ОТКРЫТА ПОДПИСКА  
В ПОЧТОВЫХ ОТДЕЛЕНИЯХ УКРАИНЫ**

**ПОДПИСНОЙ ИНДЕКС 22786**