



Қазақстан Республикасы
Ұлттық инженерлік академиясының

ХАБАРШЫСЫ

ВЕСТНИК

Национальной инженерной академии
Республики Казахстан

№ 3 (53)

**Алматы
2014**

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
ВЕСТНИК НАЦИОНАЛЬНОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ АКАДЕМИИ РК**

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
академик Б. Т. ЖУМАГУЛОВ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Н. К. Надиров – академик, заместитель главного редактора; **Н. С. Шарипова** – член-корреспондент, ответственный секретарь; академик **Ж. М. Адилов**, академик **А. Ч. Джомартов**, академик **Р. А. Алшанов**, академик **М. Ж. Битимбаев**, академик **М. М. Бекмагамбетов**, академик **А. В. Болотов**, академик **А. И. Васильев** (Украина), академик **Б. В. Гусев** (Россия), академик **Г. Ж. Жолтаев**, академик **П. Г. Никитенко** (Белоруссия), академик **К. К. Кадыржанов**, академик **А. Х. Катаев** (Республика Таджикистан), академик **К. С. Кулажанов**, академик **А. А. Кулибаев**, академик **А. М. Пашаев** (Азербайджан), академик **Х. Милошевич** (Сербия), академик **М. М. Мырзахметов**, академик **А. Ш. Татыгулов**, академик **А. К. Тулешов**, академик **Ю. И. Шокин** (Россия).

**INTERNATIONAL
SCIENTIFICALLY-TECHNICAL JOURNAL
HERALD TO NATIONAL ENGINEERING ACADEMY
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

B. T. ZHUMAGULOV
Editor-in-Chief, academician

THE EDITORIAL BOARD:

N. K. Nadirov – academician, Deputy Editor; **N. S. Sharipova** – associate member, Managing Editor; **Zh. M. Adilov**, academician; **A. Ch. Dzhomartov**, academician; **R. A. Alshanov**, academician; **M. Zh. Bitimbayev**, academician; **M. M. Bekmagambetov**, academician; **A. V. Bolotov**, academician; **A. I. Vasilyev**, academician (Ukraine); **B. V. Gusev**, academician (Russia); **G. Zh. Zholtayev**, academician; **P. G. Nikitenko**, academician (Belorussia); **K. K. Kadyrzhanov**, academician; **A. H. Kataev**, academician (Republic Tadzhhikistan); **K. S. Kulazhanov**, academician; **A. A. Kulibayev**, academician; **A. M. Pashayev**, academician (Azerbaijan); **H. Miloshevich**, academician (Serbiya); **M. M. Myrzakhmetov**, academician; **A. Sh. Tatygulov**, academician; **A. K. Tuleshov**, academician; **Yu. I. Shokin**, academician (Russia).

УЧРЕДИТЕЛЬ:

Республиканское общественное объединение
«Национальная инженерная академия Республики Казахстан».

Издается с 1997 года.

Выходит 4 раза в год.

Свидетельство о регистрации издания № 287 от 14.11.1996 г.,
выдано Национальным агентством по делам печати и массовой информации
Республики Казахстан.

Свидетельство о перерегистрации № 4636-Ж от 22.01.2004 г.,
выдано Министерством информации Республики Казахстан.

Журнал включен Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан
в перечень изданий для публикации основных результатов научно-технических работ соис-
кателей ученых степеней доктора философии PhD и доктора по профилю и ученых званий
доцента и профессора.

Журнал включен в международную англоязычную базу реферативных данных по техниче-
ским наукам INSPEC.

Подписку на журнал можно оформить в отделениях связи АО «Казпочта» и
ТОО Агенстве «Евразия пресс».

Подписной индекс:

для физических лиц – **75188**,
для юридических лиц – **25188**.

Подписка продолжается в течение года.

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Богенбай батыра, 80, к. 415.

Тел. 8-7272-915290, факс: 8-7272-915190,

e-mail: nia_rk@mail.ru, shns2004@mail.ru, www.neark.kz

FOUNDER:

Republic public association
“National Engineering Academy of the Republic of Kazakhstan”.

Published since 1997 year.

Issued 4 times a year.

Certificate about registration the edition N 287, November, 14, 1996,
was given by National agency on affaires of press and mass information
of the Republic of Kazakhstan.

Certificate about re-registration N 4636-Zh, January, 22, 2004,
was given by Ministry of information of the Republic of Kazakhstan.

The Committee of Science of Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan has included the Journal into the list of issues for publication of the main results of scientific-technical investigations of applicants for scientific degrees (Doctor philosophy PhD, Doctor on specialization) and academic ranks (Professor and Associate professor).

The Journal was included into international English-language abstracts database on technical sciences “INSPEC”.

Subscription to journal may be drawn up at post offices of OJSC “Kazpochta” and in PLL Agency “Evraziya press”.

Subscription index:

for natural persons – **75188**,

for juristic persons – **25188**.

Subscription continues during a year.

Address of editorial offices: 050010, Almaty city, Bogenbay Batyr str., 80, off. 415.

Tel. 8-7272-915290, fax: 8-7272-915190,

e-mail: nia_rk@mail.ru, shns2004@mail.ru, www.neark.kz

КЛЮЧЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ НАУКИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

VIII КАЗАХСТАНСКО-РОССИЙСКАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМАХ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ»

20 – 21 июня 2014 года в городе Атырау прошла VIII Казахстанско-Российская международная научно-практическая конференция «Математическое моделирование в научно-технологических и экологических проблемах нефтегазовой отрасли», объединяющая усилия ученых-математиков и специалистов производства в проведении передовых математических исследований и разработок и внедрении их результатов в производство. Сегодня задачи по модернизации сырьевого сектора являются актуальными как для Казахстана, так и для России, в обеих странах нефтегазовый сектор – одна из основ их экономического развития.



Организаторы конференции: Министерство образования и науки Республики Казахстан, акимат Атырауской области, Национальная инженерная академия Республики Казахстан, Атырауский институт нефти и газа, Институт вычислительных технологий СО РАН, Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, Казахский национальный университет им. аль-Фараби; Научно-исследовательский институт математики и механики при КазНУ им. аль-Фараби.

У истоков создания этой конференции стояли ведущие ученые: академики Российской академии наук В. Н. Монахов и Ю. И. Шокин, казахстанские академики Ш. С. Смагулов, Б. Т. Жумагулов, Н. Т. Данаев и другие.

В нынешней конференции участвовали около 300 ученых (из них свыше 60 докторов наук) и производственников из Казахстана, России и зарубежных стран, которые представили секционные и стендовые доклады по актуальным проблемам нефтегазовой отрасли, в частности математического моделирования процессов разведки, добычи, транспортировки и переработки углеводородов.

Открыл конференцию председатель Международного программного комитета академик Б. Т. Жумагулов. Он подчеркнул, что в Республике Казахстан поддержка науки и наращивание ее вклада в экономику входят в число ведущих приоритетов политического курса Президента страны Н. А. Назарбаева и выдвинутой им масштабной Стратегии «Казахстан-2050». Новые перспективы в данном направлении открываются с созданием Евразийского экономического союза и задачами, поставленными Главой государства на 27-м пленарном заседании Совета иностранных инвесторов. Поэтому совместный труд ученых и производственников в этой сфере приобретает все большее значение.

С приветственным словом к участникам обратились аким Атырауской области Б. С. Измухамбетов, директор Института вычислительных технологий Сибирского отделения Российской академии наук, академик РАН Ю. И. Шокин, директор НИЦ «Нефть» академик Н. К. Надиров, ректор Атырауского института нефти и газа Д. У. Кульжанов.

Работа конференции проходила по четырем секциям: *Секция 1.* Перспективы развития нефтегазовой отрасли, ее экологические и социально-экономические проблемы. *Секция 2.* Математическое моделирование динамики многофазных сред. *Секция 3.* Вычислительные и информационные технологии в решении проблем нефтегазовой отрасли. *Секция 4.* Инновационные технологии в науке, технике и образовании.

На пленарных и секционных заседаниях конференции были заслушаны 80 докладов, рассмотрены и обсуждены 110 стендовых докладов. Участники конференции обсудили современное состояние и перспективы развития нефтегазовой отрасли, важнейшие направления использования в ней математического моделирования. Рассмотрели вопросы разработки математических моделей процессов в гетерогенных средах и воздействия на нефтяные пласты; создания практических систем автоматического анализа и оптимизации разработки месторождений; решения экологических и социально-экономических проблем отрасли; развития инновационных технологий в науке, технике и образовании. Проанализировали пути практической реализации полученных научных достижений, направления и задачи дальнейшего развития научно-инновационной деятельности в этой сфере.

Конференция проходила два дня, за это время прошли три пленарных, ряд секционных заседаний, круглый стол с участием ученых, представителей нефтяных компаний и специалистов производства, посвященный повышению эффективности взаимодействия академической, вузовской и отраслевой науки с производством.

ЖУМАГУЛОВ Б. Т.

*Президент Национальной инженерной академии РК,
президент Казахстанского математического общества,
академик НАН РК.*

*Выступление на VIII Казахстанско-Российской международной научно-
практической конференции «Математическое
моделирование в научно-технологических и экологических
проблемах нефтегазовой отрасли».
Атырау, 20-21 июня 2014 года*

Уважаемые коллеги!

Рад приветствовать собравшихся в этом зале участников VIII Казахстанско-Российской международной конференции. Наша конференция зарождалась в очень нелегкие 90-е годы. У ее истоков стояли выдающиеся ученые – Ю. И. Шокин, Ш. С. Смагулов и многие другие энтузиасты. И сегодня здесь присутствует солидная российская делегация во главе с академиком Российской академии наук Ю. И. Шокиным.

Разрешите от вашего имени поприветствовать наших российских коллег.



Конференция вот уже 16 лет собирает самый авторитетный состав ученых и специалистов производства нефтегазовой сферы, расширяет свою географию. Нынешняя наша встреча проходит в нефтяной столице Казахстана – городе Атырау. И мы видим, каким мощным и красивым стал этот город – настоящим символом взлета казахстанской экономики.

Россия и Казахстан – это страны, где нефтегазовый сектор является одной из основ экономического развития. И оба наших государства во главу угла развития своего научного потенциала ставят его все более эффективное взаимодействие с реальным сектором экономики. Путь здесь один – через инновационный процесс, интегрирующий прикладные исследования, разработку новых технологий и их промышленное освоение, а значит через единение усилий ученых и производителей, стремление их к единым целям технологического и экономического успеха.

За прошедшие годы мы с вами многое сделали. Проведение нашей конференции стало традиционным, и каждый раз проходит на все более высоком уровне, существенно расширилось число участников. Конференция вышла за рамки чисто казахстанско-российского формата и приобрела солидный международный статус с участием видных ученых из многих стран мира. Из первоначально небольших научных проектов, которые обсуждались на первых наших заседаниях, сегодня выросли целые научные направления.

Математику не зря называют «царицей наук» – она открывает новые дороги в любом виде деятельности. И в нефтегазовой отрасли сфера ее применения очень широка. Могут называть три базовых вектора.

Во-первых, это технологическое совершенствование процессов добычи. Здесь большие перспективы в математическом моделировании этих процессов, управлением воздействием на пласты в целях повышения их отдачи и извлекаемости запасов.

Во-вторых, развитие транспорта углеводородного сырья на основе математических моделей и компьютерных технологий.

В-третьих, моделирование и решение экологических проблем, неизбежно связанных с добычей и переработкой углеводородного сырья. Эти векторы вы прекрасно знаете, и по многим направлениям у нас есть серьезное продвижение.

Ряд достижений науки уже апробирован на практике и идет процесс их внедрения в производство. По другим направлениям ведется активная исследовательская работа, решаются самые серьезные математические вопросы, также в конечном счете нацеленные на практическое использование. Мы это видим на наших конференциях, то есть наш с вами форум стал механизмом, позволяющим успешно аккумулировать достижения ведущих ученых наших стран и транслировать их в реальное производство. Возможности для этого у нас постоянно расширяются. Большую роль здесь играет наращивание государственной поддержки науки и инновационной деятельности.

В Республике Казахстан это направление входит в число ведущих приоритетов политического курса Президента нашей страны Н. А. Назарбаева. У нас реализуется Государственная программа форсированного индустриально-инновационного развития страны. В масштабной Стратегии «Казахстан-2050» Главой государства поставлена задача вхождения Казахстана в число 30-ти самых развитых стран.

В решении всех этих задач важнейшее место занимает наука и ее органическая связь с экономикой, с производством. Яркой иллюстрацией такого подхода является прошедшее 12 июня заседание Совета иностранных инвесторов при Президенте Республики Казахстан. На нем Нурсултан Абишевич поставил такие цели, как:

- участие инвесторов в формировании основ инновационной экономики и подготовке соответствующих кадров;

- создание корпоративных научно-исследовательских и опытно-конструкторских центров;
- развитие государственно-частного партнерства и другие.

Для этого Правительством РК разработан масштабный пакет новых стимулов для инвестиций. Инновационная сфера и сырьевые сектора вошли в число главных приоритетов, а значит научно-технологическим разработкам в нефтегазовой отрасли, которыми мы с вами занимаемся, открыт зеленый свет. Очень масштабные возможности для продвижения наших исследований в экономику открываются с созданием Евразийского экономического союза, поэтому совместный труд ученых и производителей в этой сфере – наш с вами труд – приобретает еще большее значение и перспективы.

Через три года в столице Казахстана Астане пройдет большое событие – Всемирная выставка ЭКСПО-2017 «Энергия будущего». В ее рамках нам доверено провести небывалое ранее мероприятие – Всемирный конгресс инженеров и ученых, посвященный этой же тематике. Но ведь мировая энергетика сегодня – это, прежде всего, нефть и газ, поэтому наши с вами достижения обязательно должны быть представлены на этих мероприятиях. Это очень серьезная мировая площадка. На ней мы сможем показать самые передовые подходы и результаты единения науки и производства в нефтегазовой сфере. Думаю, на этой цели нам стоит сосредоточить свои усилия – задача будет впечатляющей.

Уважаемые коллеги!

Желаю вам огромных творческих достижений и успехов!

Работу VIII Казахстанско-Российской международной конференции «Математическое моделирование в научно-технологических и экологических проблемах нефтегазовой отрасли» объявляю открытой!

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА

УДК 519.63; 519.684

Б. Т. ЖУМАГУЛОВ¹, А. А. ИСАХОВ²

¹Национальная инженерная академия Республики Казахстан

²Казахский национальный университет им. аль-Фараби

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ С ПОМОЩЬЮ ЗОНАЛЬНОГО RANS/LES МЕТОДА

В исследовании применен зональный RANS / LES метод для несжимаемого турбулентного пограничного слоя с использованием синтетической генерации турбулентности для области LES. Для создания реалистического мгновенного поля скорости использована модифицированная синтетическая турбулентность, предложенная Памиезом. Для численного моделирования турбулентного пограничного слоя зональным RANS/LES методом применен блочно-структурированный алгоритм, который основывается на центрированном методе конечного объема. Нелинейный конвективный член дискретизируется смешанной центральной схемой против потока AUSM (Advective Upstream Splitting Method). Диссипативные члены были дискретизированы центральной схемой второго порядка. Интегрирование по времени выполнено 5-шаговым методом Рунге–Кутты. При сравнении численных результатов чистого LES, чистого RANS и зонального RANS/LES получены очень хорошие результаты.

Ключевые слова: зональный RANS/LES метод, пограничный слой, метод крупных вихрей, уравнения Рейнольдса.

LES аймағы үшін турбуленттіліктің синтетикалық генерациясын пайдалану арқылы бұл жұмыста сығылмайтын турбуленттік шекаралық қабат үшін зоналдық RANS/LES әдісі қолданылған. Жылдамдықтың шапшаң реалисті көрісін құру үшін модификацияланған Памиез ұсынған синтетикалық турбуленттілік қолданылады. Теңдеуді турбулентті шекаралық қабатты зоналдық RANS/LES әдісімен сандық моделдеу үшін ақырлы көлемді орталықтандырылған әдіске негізделген блоқты құрылымды алгоритм қолданылады. Сызықты емес конвективті мүшесі ағынға қарсы AUSM (Advective Upstream Splitting Method) аралас орталықтандырылған сұлбасымен дискретизацияланады. Диссипативті мүшелері орталық екінші ретті сұлбамен дискретизацияланады. Уақыт бойынша интегралдау 5 қадамды Рунге–Кутта әдісімен орындалады. Алынған сандық нәтижелер таза LES, таза RANS, зоналдық RANS/LES салыстырылды және жақсы нәтижелер берді.

Кілттік сөздер: зоналдық RANS/LES әдісі, шекаралық қабат, ірі құйындар әдісі, Рейнольдс теңдеуі.

In this paper zonal RANS/LES method was applied for incompressible turbulent boundary layer with synthetic turbulence generation using for LES domain. To create realistic instantaneous velocity field modified synthetic turbulence, proposed by Pamiés, was used. For numerical simulation

of turbulent boundary layer by the zonal RANS/LES method, block-structured algorithm was used, which is based on centered finite-volume method. Non-linear convection term is discretized by AUSM (Advective Upstream Splitting Method). Dissipative terms were discretized by the central second-kind scheme. The integrating over the time was carried out by the 5-step method of Runge-Kutta. When comparing received numerical results with pure LES, pure RANS and zonal RANS/LES, very good results were received.

Keywords: *zonal RANS/LES method, boundary layer, large eddy simulation, Reynolds equations.*

В последние годы зональным RANS/LES методам моделирования уделяется значительное внимание из-за их возможности использовать LES только в необходимых зонах потока. Одним из применений этих методов является вычисление RANS в зонах, где стандартные модели турбулентности ожидаются точными, в то время как LES используется в неравновесных зонах потока. Проблема, которая возникает в этих приложениях, это поведение потока в зоне перехода между зонами LES и RANS. В зоне RANS решение для потока содержит информацию только о самых больших масштабах движения, если будет присутствовать крупномасштабная неустойчивость; большинство или все напряжения Рейнольдса обеспечиваются моделью турбулентности. С другой стороны, в зоне LES разрешенные масштабы должны предоставлять большую часть напряжения Рейнольдса, а для обеспечения этого должны присутствовать структуры мелкого масштаба. Генерация реалистических турбулентных колебаний в переходе от RANS к LES является критическим фактором при определении длины этой зоны перехода. Существуют два способа обеспечить переходное условие в зональном подходе: первый подход использует модель непрерывной турбулентности, которая переходит из RANS метода в LES метод – для замыкания системы уравнений в единой области, например такие методы, как Detached eddy simulation (DES). Другой метод включает использование двух различных вычислительных областей, в которых результаты RANS используются, чтобы предоставить статистику турбулентности, которая будет применяться в качестве притока для LES, и затем обе зоны накладываются вместе на одну область.

Нами взят более реалистичный подход, где зона LES добавлена к RANS, и статистические результаты RANS используются, чтобы предоставить информацию, требуемую синтетической генерацией турбулентности, а также и методы, контролирующие вынуждение, чтобы генерировать турбулентные вихри для LES. Зональные вычисления сравниваются с полным LES вычислением, решенным для целой области. Мы изучаем пограничные слои на плоской пластине. Далее, сначала описываем главные уравнения, численный метод, синтетические алгоритмы генерации турбулентности, затем предоставляем результаты для четырех случаев, полностью решенных с помощью LES и двух вариантов, решенных методами RANS (Spalart-Allmaras [3] и Fare-Schroder). Наконец, формулируются некоторые выводы.

В зональном RANS/LES методе для пограничного слоя, представленного в этой работе, применяется другой подход. Говоря более подробно о другом подходе, можно отметить, что области RANS и LES перекрываются в связывающей зоне. Зональная область RANS/LES проиллюстрирована на рисунке 1. На этом рисунке можно увидеть, что некоторое зональное наложение и моделирование повторяются в некоторых точках. На них действует переход, который расположен относительно далеко от тур-

булентного пограничного слоя. На границах плоскости притока зональной области LES используются силы контролируемого вынуждения, чтобы вызвать мгновенное турбулентное течение [1,2,14].

Эти условия зависят от местных турбулентных профилей напряжения сдвига, которые получены из решения RANS. В данной работе метод генерации притока плоскости проверяется для пространственно развитого турбулентного пограничного течения. Это показывает, что полностью развитое турбулентное течение может быть сгенерировано за короткий пространственный промежуток на последнем потоке управляемой плоскости.

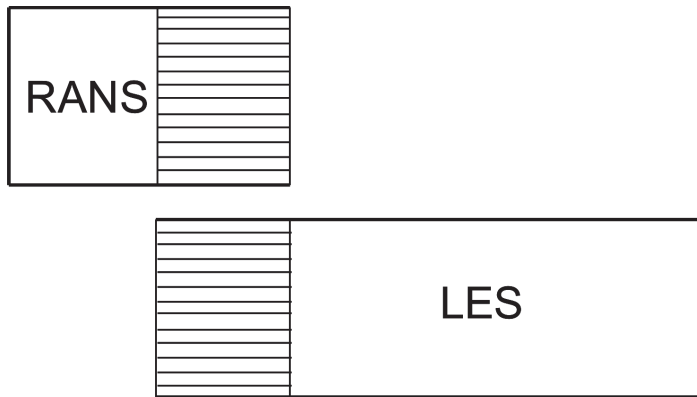


Рисунок 1 – Зональная область RANS/LES

Затем этот метод применен для входного потока зоны LES. В этой работе показано сравнение результатов зонального RANS/LES метода с полным LES методом. Использование компьютерных ресурсов зональным RANS/LES методом уменьшается почти на 50 % по сравнению с полным моделированием LES [2].

Численный метод. Моделирование методом крупных вихрей основано на отфильтрованном уравнении Навье–Стокса для трехмерного сжимаемого потока. Для произвольной переменной потока ϕ используется пространственное осреднение по Фавру:

$$\bar{\phi} = \frac{1}{V} \int_V G(x_i) \phi(x_i, t) dV \quad \text{и} \quad \tilde{\phi} = \frac{\rho \phi}{\rho},$$

где $G(x_i)$ – функция фильтрации и ρ – плотность. Используя стандартные обозначения, отфильтрованные по пространству, уравнение получим в таком виде:

$$\frac{\partial \bar{\rho}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\bar{\rho} \tilde{u}_i) = 0,$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\bar{\rho} \tilde{u}_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{\rho} \tilde{u}_i \tilde{u}_j) + \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} = \frac{\partial \bar{\tau}_{ij}}{\partial x_j} + \frac{\partial \tau_{ij}^{SGS}}{\partial x_j},$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\bar{\rho}\tilde{e}_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\bar{\rho}\tilde{e}_i + p)\tilde{u}_j = \frac{\partial}{\partial x_j}(\tilde{u}_i\bar{\tau}_{ij} + \tilde{u}_i\tau_{ij}^{SGS}) - \frac{\partial}{\partial x_j}(\bar{q}_j + q_j^{SGS})$$

или в виде безразмерного вектора для обобщенных координат:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial F_{a,i}}{\partial \xi_i} = \frac{\partial F_{v,i}}{\partial \xi_i},$$

где

$$Q = \begin{pmatrix} \bar{\rho} \\ \bar{\rho}u_i \\ \bar{\rho}\tilde{e}_i \end{pmatrix}, \quad F_{a,i} = \begin{pmatrix} \bar{\rho}\tilde{u}_i \\ \bar{\rho}\tilde{u}_i\tilde{u}_j + \bar{p} \\ (\bar{\rho}\tilde{e}_i + p)\tilde{u}_j \end{pmatrix}, \quad F_{v,i} = \begin{pmatrix} 0 \\ \bar{\tau}_{ij} + \tau_{ij}^{SGS} \\ \tilde{u}_i\bar{\tau}_{ij} + \tilde{u}_i\tau_{ij}^{SGS} - \bar{q}_j - q_j^{SGS} \end{pmatrix}.$$

Примененный блочно-структурированный алгоритм основан на центрированном методе конечного объема, где уравнения неявно фильтруются по фильтру типа «ящик». Из-за нелинейности конвективного члена ее дискретная формулировка будет сильно влиять на решения, и эта дискретизация должна выбираться тщательно. В работах [12,13] было показано, что смешанная центральная схема против потока AUSM с низкой численной диссипацией подходит для дискретизации этих конвективных потоков. Диссипативные члены были дискретизированы центральной схемой второго порядка. Интегрирование по времени выполняется 5-шаговым методом Рунге–Кутты, коэффициенты которого оптимизированы для максимальной устойчивости. Поставленная задача является общим приближением второго порядка по пространству и времени [11–13,15, 16].

Моделирование RANS основано на усредненном по времени уравнении Навье–Стокса. Эти уравнения незамкнутые, а неизвестные связаны со средними переменными потока через модель турбулентности. Для RANS были выбраны модели Spalart-Allmaras и Fare-Schroder. Эти результаты были использованы для зонального моделирования RANS/LES, связывающего зоны передачи для генерации турбулентного притока во входном сечении зонального LES.

Генерация синтетического турбулентного притока. Основой синтетического метода вихря SEM (Synthetic eddy method) является генерация скоростного сигнала с предписанным первым и вторым моментами в трехмерном виртуальном поле. Моменты второго порядка задаются в виде нормализованного стохастического сигнала $\tilde{u}_j(x, y, z, t)$, наложенного на среднее значение $U_i(y)$ с использованием разложения Холецкого $A_j(y)$ и предписанного тензора напряжения Рейнольдса $R_j(y)$:

$$u_j(x, y, z, t) = U_i(y) + \sum_j A_{ij} \tilde{u}_j(x, y, z, t), i = 1, 2, 3,$$

где \tilde{u}_j должен быть случайной последовательностью с различными модулями и нулевой ковариацией. В частности, случайный сигнал \tilde{u}_j , необходимый для разложения Холецкого, вычислен как сумма P зон, которые делят перекрывающую RANS/LES зону на отдельные зоны:

$$\tilde{u}_j = \sum_{p=1}^P \tilde{v}_{jp} ,$$

где \tilde{v}_{jp} соответствует нормализованным случайным последовательностям, а также имеет компактный носитель в зоне p и будет упоминаться как мод.

Полный случайный сигнал \tilde{u}_j сгенерирован согласно

$$\tilde{u}_j(y, z, t) = \sum_{p=1}^P \frac{1}{\sqrt{N(p)}} x \sum_{k=1}^{N(p)} \varepsilon_k \underbrace{\Xi_{jp} \left(\frac{t - t_k - l'_p}{l'_p} \right) \Phi_{jp} \left(\frac{y - y_k}{l'_p} \right) \Psi_{jp} \left(\frac{z - z_k}{l'_p} \right)}_{g_{jp}(t, y, z)} ,$$

где \tilde{u}_j выражен непосредственно во входной плоскости с использованием координаты времени. В существующем подходе эта гипотеза неявно используется, чтобы определить шкалу времени турбулентной структуры $l'_p = l_p^x / c_p$, где l_p^x – направленная по течению шкала расстояний структуры и c_p – скорость конвекции.

Количество структур на каждый $N(p)$ мод может быть скорректировано так, чтобы носитель p мода оставался статистически покрытым структурами

$$N(p) = \frac{S_p}{S_s} ,$$

где S_p – поверхность поперечной плоскости и S_s – поперечная поверхность, носитель функции формы.

Функция формы нормализована так, чтобы целый сигнал соответствовал условию:

$$\frac{1}{2^3} \int_{[-1,1]^3} [g_{jp}(t, y, z)]^2 dt dy dz = 1 .$$

Заметим, что через это условие энергетическое исправление на интервале $[-1,1]^3$ непосредственно управляет экстремумом функции [4–7,9,10].

Результаты моделирования. Начальные моделирования выполнялись для турбулентного пограничного слоя. Были выполнены три моделирования: полное LES моделирование (размер области $60\delta_0^* \times 25\delta_0^* \times 25\delta_0^*$), где δ_0^* – толщина вытеснения в притоке, зональное RANS/LES моделирование и два полных RANS вычисления. В зональных моделированиях RANS/LES уравнения RANS были решены при использовании моделей Spalart-Allmaras и Fare-Schroder. Плоскости управления за вихрями были распределены по длине $15\delta_0^*$ потока, находящегося вниз по потоку, где был переход с RANS области в LES область. Также для сравнения было показано полное вычисление RANS, которое использовало модели Spalart-Allmaras и Fare-Schroder.

Число Рейнольдса потока было $Re_s^* = 1000$. Данные из решения RANS в перекрывающейся зоне использовались для генерации синтетической турбулентности в зоне LES зонального вычисления, а также как целевой профиль для контролируемого воздействия.

На рисунке 2 показан коэффициент поверхностного трения [8] вниз по потоку. Результаты RANS и LES отличаются даже в этом простом случае пограничного слоя.

Это различие вызвано комбинацией относительно низкого разрешения LES и низкого числа Re , влияющего на модель турбулентности Spalart-Almaras. Другие четыре случая используют зональные моделирования RANS/LES. Различает их различная структура и длина вихрей. На рисунке 2 мы можем видеть, что лишь четвертый случай показал лучшие результаты этого моделирования. При применении зонального метода перехода от RANS в LES решение хорошо сходится в продольном распределении c_f по сравнению с чистыми LES и RANS примерно с толщиной в два пограничного слоя. На рисунке 3 представлены распределения скорости в переменных стенке в точке $x/\delta_0 = 2$ для чистого RANS, чистого LES, зонального RANS/LES и аналитического решения [8].

На рисунке 4 проиллюстрированы трехмерные зональные результаты моделирования RANS/LES. Можно отметить внушительную точность быстрого перехода с метода RANS к LES.

Хорошее согласование результатов зонального RANS/LES метода с результатами полного LES повышает доверие к применению зонального RANS/LES метода, поскольку метод генерации синтетической турбулентности может применяться для зонального RANS/LES метода без модификации математической постановки и параметров других сложных трехмерных турбулентных потоков.

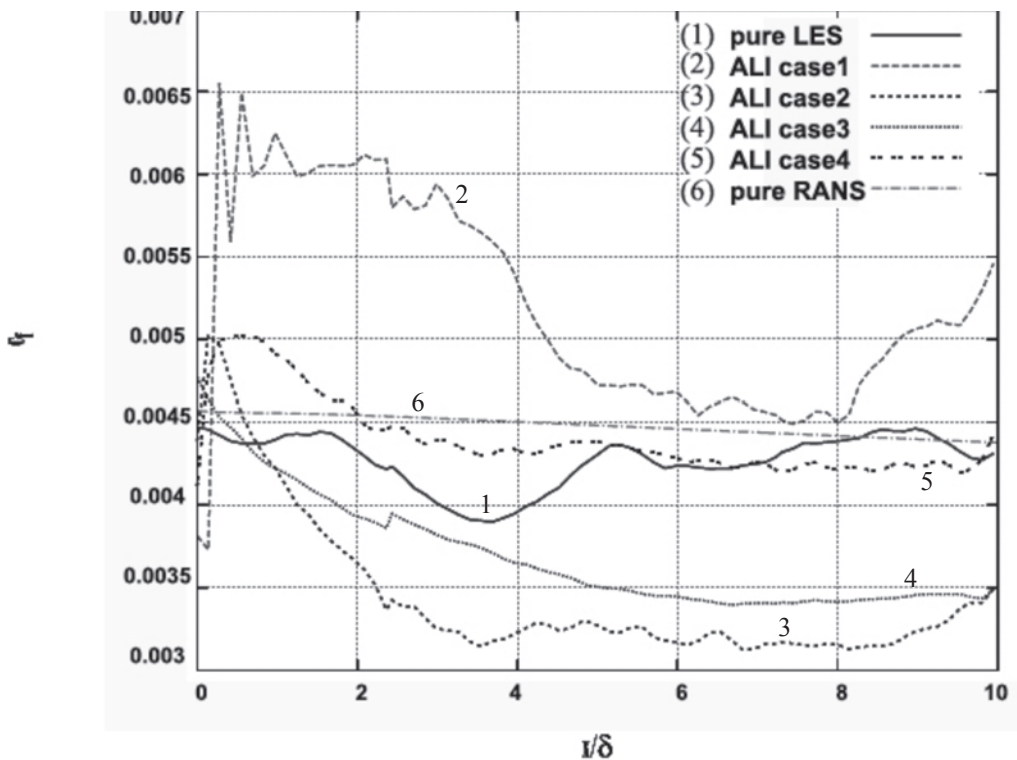


Рисунок 2 – Коэффициент поверхностного трения. 1 – моделирование полным LES; 2 – 1-й случай; 3 – 2-й случай; 4 – 3-й случай; 5 – 4-й случай; 6 – моделирование полным RANS

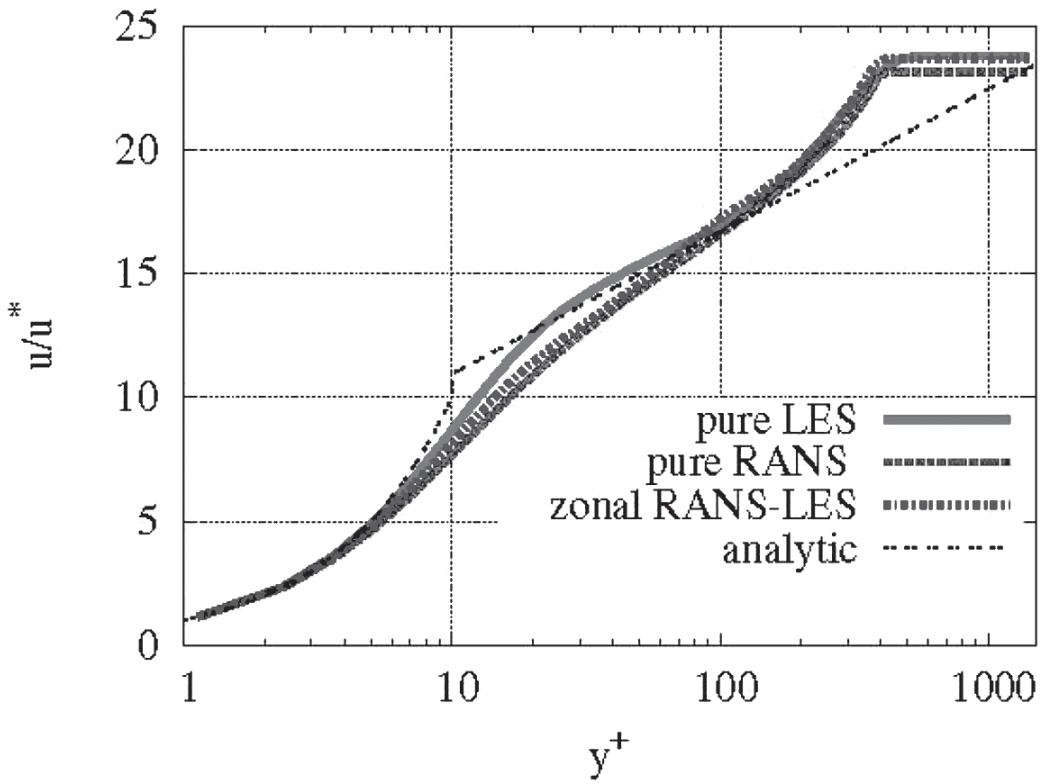


Рисунок 3 – Распределение скорости по van-Driest в точке

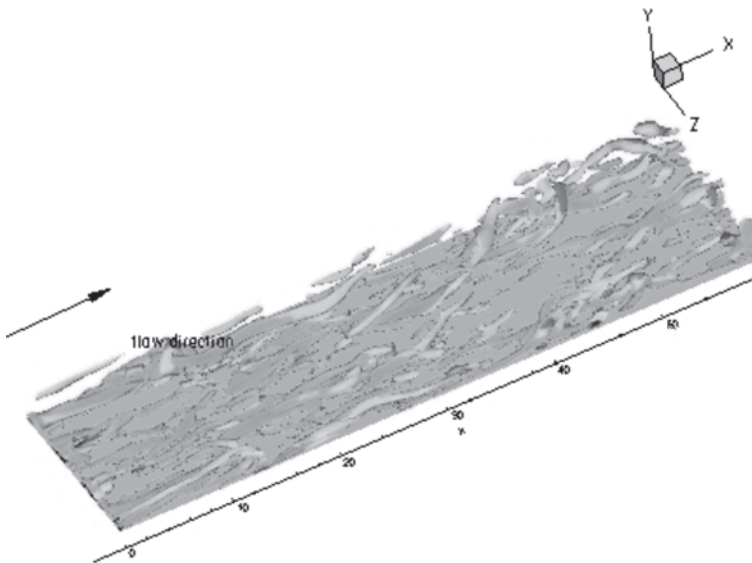


Рисунок 4 – Трехмерное представление зонального моделирования RANS/LES

Заключение. Был представлен метод генерации синтетической турбулентности для зонального RANS/LES метода. Зональные моделирования RANS/LES были выполнены с помощью связывающего метода, основанного на объединенной синтетической турбулентности и на методе контролируемого воздействия, который, как показано, был эффективен при создании полностью реалистической турбулентности, запускающейся с синтетической турбулентностью в пределах короткого расстояния и времени. В этом методе используется перекрывающаяся зона, в которой решение RANS обеспечивает статистические данные для синтетической генерации турбулентности и для метода контролируемых воздействий, используемых в зоне LES. Этот метод мог бы также использоваться в аналогичном потоке в предложенном виде для полного LES моделирования, если бы применялась та же плоскость, которая разделяет переходную область с RANS в LES. В целом были выполнены успешные зональные моделирования RANS/LES неравновесных пограничных слоев. Эти моделирования подчеркивают, что правильное переключение с RANS в LES является критическим в получении точных результатов в зонах LES. Использование синтетической турбулентности в одном переходе приводит к тому, что турбулентность в зоне LES быстро затухает, порождая неправильную среднюю скорость. При использовании зоны наложения RANS/LES метода, в которой, чтобы управлять напряжением сдвига в LES, к значениям, полученным из RANS, добавляется метод контролируемого воздействия. Он дал хороший результат по сравнению с полным моделированием LES. С помощью построенного зонального RANS/LES метода проведено моделирование несжимаемого турбулентного пограничного слоя и проведены сравнения полученных результатов моделирования с зональным RANS/LES методом с чистыми методами RANS и LES.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Batten P., Goldberg U., Chakravarthy S. Interfacing statistical turbulence closures with large-eddy simulation // *AIAA J.* – 2004. – V. 42 (3). – P. 485 – 492.
- 2 Zhang Q., Schroder W., Meinke M.. A zonal RANS-LES method to determine the flow over a high-lift configuration // *Computers & Fluids.* – 2010 – V. 39. – P. 1241 – 1253.
- 3 Spalart P.R., Allmaras S.R. A one-equation turbulence model for aerodynamic flow//*AIAA.*– 1992. – Paper 92-0439. DOI: 10.2514/6.1998-325.
- 4 Pamies M., Weiss PE., Garnier E., Deck S. Generation of synthetic turbulent inflow data for large eddy simulation of spatially evolving wall-bounded flows // *Phys. of fluids.* – 2009. – V. 21. – P. 12–27.
- 5 Keating U., Piomelli E., Balaras H. and Kaltenbach H.-J. A priori and a posteriori tests of inflow conditions for large-eddy simulation//*Phys. Fluids.* – 2004 –V.16. – P. 4696–4712.
- 6 Jarrin N., Benhamadouche S., Laurence D., and Prosser R. A synthetic-eddy-method for generating inflow conditions for large-eddy-simulations//*Int. J. Heat Fluid Flow.* – 2006. – V. 27. – P. 585-593.
- 7 Pamies M., Garnier E., Marlen A., and Sagaut P. Response of a spatially developing turbulent boundary layer to active control strategies in the framework of opposition control//*Phys. Fluids.* 19 (10): 108102, 2007.
- 8 Schlichting H. *Boundary-Layer theory.* – New York, 1979. –817 p.
- 9 Keating G., Prisco De., Piomelli U. Interface conditions for hybrid RANS/LES calculations// *Int. J. of Heat and Fluid Flow.* – 2006. – V. 27. – P. 778-788.
- 10 Keating U., Piomelli E. Synthetic generation of inflow velocities for large-eddy simulations// *AIAA.* – 2004. Paper 2004-2547. DOI: 10.2514/6.2004-2547.

11 Meinke M., Schroder W., Krause E., Rister Th. A comparison of second- and sixth-order methods for large-eddy simulations//Comput. Fluids. – 2002. – V. 31. – P. 695-718.

12 Meinke M., El-Askary WA., Zhang Q., Schroder W. Large eddy simulation of airfoil flows//Proceeding of the 4thaeroacoustic workshop SWING+. – Aachen, 2004.

13 El-Askary W., Schroder W., Meinke M. LES of compressible wall-bounded flows//AIAA. – 2003. – Paper 2003-3554. DOI: 10.2514/6.2003-3554.

14 Roidl B., Issakhov A., Meinke M., Schröder W. Synthetic Turbulence Generation for a Zonal RANS-LES Method//Notes on Numerical Fluid Mechanics and Multidisciplinary Design. – 2012. – V. 117. – P. 181-192. DOI: 10.1007/978-3-642-31818-4_16.

15 Issakhov A. Modeling of Synthetic Turbulence Generation in Boundary Layer by Using Zonal RANS/LES Method//International Journal of Nonlinear Sciences and Numerical Simulation. – 2014. – V. 15, issue 2. – P. 115–120. DOI: 10.1515/ijnsns-2012-0029.

16 Исахов А.А. Численное исследование турбулентного пограничного слоя с использованием зонального RANS/LES метода//Математическое моделирование. – 2013. – Т. 25, № 7. – С. 59–68.

**Д. Ш. АХМЕДОВ, С. А. ЕЛУБАЕВ, Ф. Н. АБДОЛДИНА,
Т. М. БОПЕЕВ, Д. М. МУРАТОВ**

*ДТОО “Институт космической техники и технологий”
АО “Национальный центр космических исследований и технологий”*

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ АРХИТЕКТУРЫ КЛАСТЕРНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ GPU-УСКОРИТЕЛЕЙ

Представлены результаты тестирования производительности экспериментального образца кластерной гибридной вычислительной системы в тесте Linpack. Тестировались шесть вариантов кластерной системы, отличающиеся количествами узлов кластера и графических процессоров в узле, а также объемом оперативной памяти. Проведен качественный анализ результатов тестирования с использованием аппроксимационных методов. В результате были получены формулы, определяющие зависимость реальной производительности (Тфлпс) кластерной системы от объема оперативной памяти и количества графических процессоров в узле. Полученные уравнения позволят на этапе проектирования архитектуры кластерной вычислительной системы, подбора состава и характеристик основной элементной базы получить оптимальное соотношение «цена/производительность».

Ключевые слова: параллельные вычисления, высокопроизводительные вычисления, гибридная вычислительная система, кластерная вычислительная система, графический ускоритель, CUDA технология.

Мақалада Linpack тестілеуінде жүргізілген кластерлік буданды есептеу жүйелерінің тәжірибелік үлгідегі өнімділік тестілеу нәтижелері келтірілген. Кластер түйіндерінің санымен, түйіндегі графикалық үрдістердің санымен және жедел жады көлемімен өзара ерекшеленетін кластерлік жүйенің алты нұсқасы тестілеуден өткізілді.

Аппроксимациялық әдістерді қолдана отырып, тестілеу нәтижелеріне сапалық талдау жүргізілді. Нәтижесінде кластерлік жүйе нақты өнімділігінің түйіндегі графикалық үрдістер саны мен жедел жады көлеміне тәуелділігін анықтайтын формулалар анықталды. Алынған теңдеу кластерлік есептеу жүйелерінің құрылысын жобалау, құрылымын іріктеу және негізгі элементтік базасын сипаттау сатысында баға/өнімділік қатынасында тиімді шешім алуға мүмкіндік береді.

Кілттік сөздер: параллелді есептеулер, жоғары өнімді есептеулер, буданды есептеуіш жүйе, кластерлік есептеуіш жүйе, графикалық күшейткіштер, CUDA технология

In the paper results are presented of testing performance of experimental model of hybrid cluster computing system in Linpack test. Six variants of cluster system differing by a number of nodes in the cluster, by a number of GPU in the node and the main memory size of RAM were tested.

Qualitative analysis of the tests' results was carried out with approximation methods using. As a result, formulas were obtained evaluating dependence of real performance (Tflops) of cluster system on the main memory size RAM and a number of GPU in the node. Received equations will allow getting optimum value of price/performance ratio at a stage of design of cluster computing system architecture, selection of structure and characteristics of the main base of elements.

Keywords: parallel computing, high-performance computing, hybrid computing system, cluster computing system, GPU accelerator, CUDA technology.

В рамках бюджетного проекта Министерства образования и науки Республики Казахстан «Разработать кластерную гибридную вычислительную систему на базе GPU-процессоров» создан экспериментальный образец кластерной гибридной вычислительной системы (КГВС) на основе графических процессоров Nvidia Tesla [1]. Пиковая производительность экспериментального образца кластерной гибридной вычислительной системы составляет 16 Тфлопс одинарной и 8 Тфлопс двойной точности.

В дальнейшем планируется создать опытно-промышленный образец КГВС производительностью 21 Тфлопс двойной и 41 Тфлопс одинарной точности.

Для тестирования производительности было создано шесть вариантов конфигурации кластерной гибридной вычислительной системы:

- 1-й вариант содержит 2 узла, в каждом узле по 2 GPU;
- 2-й вариант – 2 узла по 3 GPU;
- 3-й вариант – 2 узла по 4 GPU;
- 4-й вариант – 3 узла по 2 GPU;
- 5-й вариант – 3 узла по 3 GPU;
- 6-й вариант – 3 узла по 4 GPU.

Конфигурация каждого узла экспериментального образца КГВС включает следующие компоненты: два центральных процессора Intel Xeon E5-2620 2,0 ГГц; материнскую плату MB Supermicro X9DRG-QF; графический процессор Nvidia Tesla M2090, количество процессоров изменялось от 2 до 4; оперативную память DDR3 4Гб, в каждом узле по 8 модулей памяти; сетевой адаптер Mellanox ConnectX-2 VPI.

Инструментом тестирования производительности был выбран Cuda Accelerated Linpack 2.0 v16 как тест, используемый для составления рейтингов самых высокопроизводительных суперкомпьютеров мира и стран СНГ [2, 3].

Тестирование производительности экспериментального образца КГВС. Анализ результатов. Выполним анализ результатов тестирования [5] и определим оптимальные конфигурации КГВС с точки зрения различных критериев в зависимости от объема ОП и числа используемых GPU.

Экспериментальный образец КГВС, состоящий из 2-х узлов [4, 5]. Пиковая производительность первого варианта экспериментального образца КГВС равна 2640 Гфлопс, второго – 3960 Гфлопс, третьего – 5280 Гфлопс двойной точности. Тесты позволили определить зависимость реальной производительности кластерной системы от используемого объема оперативной памяти (ОП).

В таблице 1 представлены результаты тестирования первых трех рассматриваемых вариантов, включающие значения реальной производительности, эффективности работы системы и удельной стоимости 1 Гфлоп/с – иначе говоря, значение соотношения «цена/производительность».

Таблица 1 – Результаты тестирования 1–3 вариантов КГВС

Объем ОП, Гб	Размерность задачи	1-й вариант КГВС			2-й вариант КГВС			3-й вариант КГВС		
		Реальная производительность, Гфлопс	Эффективность, %	Удельная стоимость 1 Гфлопс, тенге	Реальная производительность, Гфлопс	Эффективность, %	Удельная стоимость 1 Гфлопс, тенге	Реальная производительность, Гфлопс	Эффективность, %	Удельная стоимость 1 Гфлопс, тенге
4,2	14 273	540,2	20,5	2 536,1	479,0	12,1	4 279,7	299,9	5,7	9 103,0
...
42,7	69 715	1 367,0	51,8	1 035,1	1 673,0	42,2	1 252,2	1 676,0	31,7	1 655,7
46,3	72 930	1 380,0	52,3	1 029,0	1 707,0	43,1	1 230,2	1 779,0	33,7	1 562,7
50,1	76 146	1 370,0	51,9	1 040,1	1 708,0	43,1	1 232,4	1 830,0	34,7	1 521,9
54,7	79 361	1 367,0	51,8	1 046,1	1 739,0	43,9	1 213,3	1 865,0	35,3	1 496,0
58,8	82 577	1 350,0	51,1	1 063,0	1 750,0	44,2	1 208,6	1 923,0	36,4	1 453,5

Для более качественного анализа полученных результатов используем аппроксимационные методы. Рассмотрим отдельно зависимости реальной производительности, эффективности и удельной стоимости от наращиваемого объема оперативной памяти. Во всех трех случаях применяем полиномиальную аппроксимацию второго порядка.

На рисунке 1 маркерами показаны табличные данные, гладкими кривыми представлены результаты аппроксимации табличных данных. Как видно из рисунка 1, полученные кривые достаточно качественно аппроксимируют реальные данные. Уравнение, описывающее зависимость реальной производительности от объема оперативной памяти, имеет следующий вид:

$$y = ax^2 + bc + c, \quad (1)$$

где $a = -0,4205$; $b = 36,853$; $c = 587,65$.

Для нахождения максимума данной функции приравняем к нулю первую производную и определим координату точки максимума и соответственно сам максимум реальной производительности. В результате вычислений получим

$$x_{\max} = 43,8, \quad y_{\max} = 1395,1,$$

т.е. в первом варианте максимальная производительность 1395,1 Гфлопс достигается при объеме оперативной памяти 43,8 Гбайт. Дальнейшее увеличение оперативной памяти не приведет к росту производительности. Это связано с тем, что с повышением размерности задачи возрастает нагрузка на каналы передачи данных, которые в конечном итоге и начинают тормозить обмен данными между GPU и оперативной памятью.

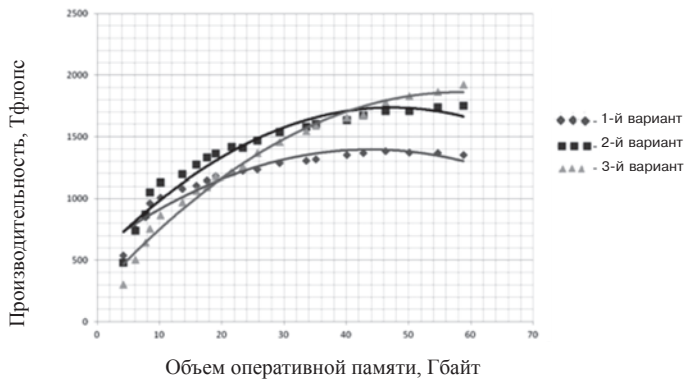


Рисунок 1 – Зависимости производительности КГВС для 1–3 вариантов от объема оперативной памяти

Такую же обработку данных провели для 2 и 3 вариантов КГВС. Сводный результат представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты определения максимальной реальной производительности в зависимости от объема оперативной памяти

Вариант КГВС	Коэффициенты аппроксимирующего полинома 2-го порядка			Максимум производительности y_{max} , Тфлопс	Объем оперативной памяти в точке максимума x_{max} , Тбайт
	a	b	c		
1-й	-0,4205	36,853	587,65	1395,1	43,8
2-й	-0,542	51,23	525,7	1736,3	47,3
3-й	-0,4773	55,574	243,21	1860,9	58,2

Рассмотрим теперь зависимость эффективности от объема оперативной памяти. На рисунке 2 маркерами показаны значения табличных данных. Как и в предыдущем случае, проведем аппроксимацию этих данных полиномом 2-й степени, вид которого представлен в формуле (1).

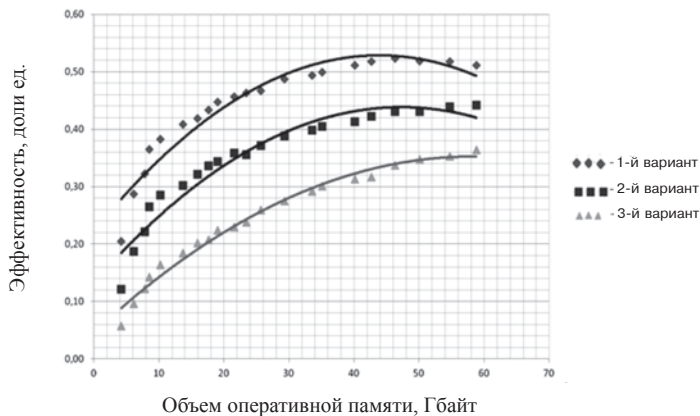


Рисунок 2 – Зависимости эффективности КГВС для 1–3 вариантов от объема оперативной памяти

В таблице 3 представлен сводный результат обработки данных.

Таблица 3 – Результаты определения максимальной эффективности по тесту Linpack в зависимости от объема оперативной памяти

Вариант КГВС	Коэффициенты аппроксимирующего полинома 2-го порядка			Максимум эффективности по Linpack y_{max} , %	Объем оперативной памяти в точке максимума x_{max} , Тбайт
	a	b	c		
1-й	-0,00016	0,013958	0,22259	53,1	43,62
2-й	-0,00014	0,012922	0,132875	43,0	46,15
3-й	-0,0009	0,010519	0,046248	35,3	58,338

Рассмотрим теперь зависимость удельной стоимости 1 Гфлопс от объема оперативной памяти. На рисунке 3 маркерами показаны значения табличных данных. Как и в первом случае, проведем аппроксимацию этих данных полиномом 2-й степени, вид которого представлен в выражении (1).

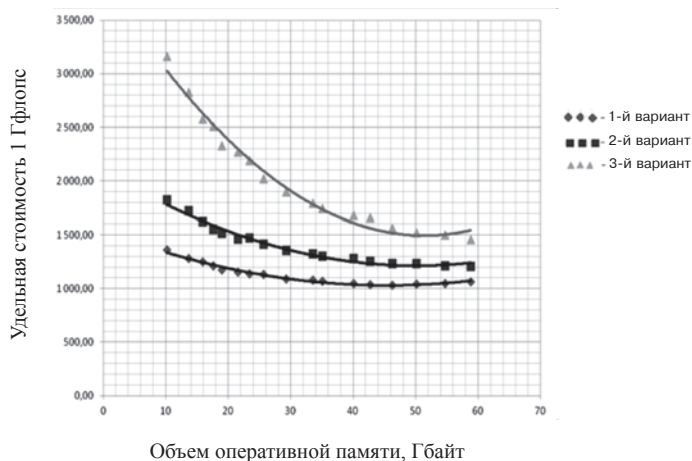


Рисунок 3 – Зависимости удельной стоимости 1 Гфлопс КГВС для 1–3 вариантов от объема оперативной памяти

Сводный результат обработки данных представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты определения минимальной удельной стоимости 1 Гфлопс КГВС в зависимости от объема оперативной памяти

Вариант КГВС	Коэффициенты аппроксимирующего полинома 2-го порядка			Минимальная удельная стоимость 1 Гфлопс КГВС y_{min} , тенге	Объем оперативной памяти в точке минимума x_{min} , Тбайт
	a	b	c		
1-й	0,2452	-22,317	1537,1	1029,1	45,5
2-й	0,3537	-35,45	2101,5	1213,3	50,1
3-й	0,9041	-92,97	3879,8	1489,7	51,4

Экспериментальный образец КГВС, состоящий из 3-х узлов. Пиковая производительность четвертого варианта экспериментального образца КГВС равна 3960 Гфлопс, пятого – 5940 Гфлопс, шестого – 7920 Гфлопс двойной точности. Размерность задачи изменялась от 14 273 до 101 870, необходимый для решения задачи объем оперативной памяти колебался от 4,2 до 85,1 Гб. В таблице 5 представлены результаты тестирования.

Для 4, 5 и 6 вариантов тестирования была выполнена обработка, в полной мере соответствующая группе вариантов тестирования с двумя узлами. Результаты обработки представлены соответственно на рисунках 4–6 и в таблицах 6–8.

Таблица 5 – Результаты тестирования 4–6 вариантов КГВС

Объем ОП, Гб	Размерность задачи	4-й вариант КГВС			5-й вариант КГВС			6-й вариант КГВС		
		Реальная производительность, Гфлопс	Эффективность, %	Удельная стоимость 1 Гфлопс, КЗТ	Реальная производительность, Гфлопс	Эффективность, %	Удельная стоимость 1 Гфлопс, КЗТ	Реальная производительность, Гфлопс	Эффективность, %	Удельная стоимость 1 Гфлопс, КЗТ
4,2	14 273	431,8	10,9	6 970,8	229,2	3,9	19 677,1	433,6	5,5	13 860,7
...
71,3	92 224	1 799,0	45,4	1 717,6	2 295,0	38,6	2 000,0	2 519,0	31,8	2 417,6
75,3	95 439	1 860,0	47,0	1 664,0	2 390,0	40,2	1 922,6	2 569,0	32,4	2 372,5
80,9	98 655	1 912,0	48,3	1 624,0	2 396,0	40,3	1 922,0	2 608,0	32,9	2 340,9
85,1	101 870	1 897,0	47,9	1 639,4	2 421,0	40,8	1 904,2	2 622,0	33,1	2 330,3

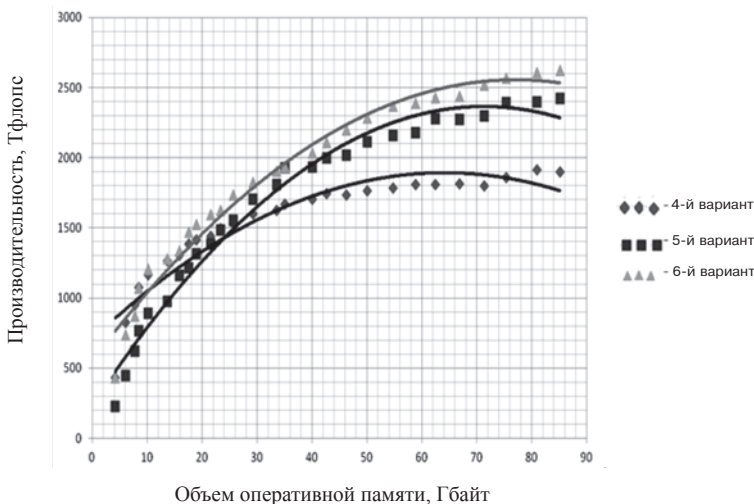


Рисунок 4 – Зависимости производительности КГВС для 4–6 вариантов от объема оперативной памяти

Таблица 6 – Результаты определения максимальной реальной производительности в зависимости от объема оперативной памяти

Вариант КГВС	Коэффициенты аппроксимирующего полинома 2-го порядка			Максимум производительности y_{max} , Тфлопс	Объем оперативной памяти в точке максимума x_{max} , Тбайт
	a	b	c		
4-й	-0,289	37,034	705,84	1892,2	64,07
5-й	-0,4199	59,844	232,07	2364,8	71,25
6-й	-0,3377	52,009	552,14	2554,6	77,0

Таблица 7 – Результаты определения максимальной эффективности по тесту Linpack в зависимости от объема оперативной памяти

Вариант КГВС	Коэффициенты аппроксимирующего полинома 2-го порядка			Максимум эффективности по Linpack y_{max} , %	Объем оперативной памяти в точке максимума x_{max} , Тбайт
	a	b	c		
4-й	-0,00007	0,0094	0,1782	49,3	67,1
5-й	-0,00007	0,0101	0,0393	40,3	72,1
6-й	-0,00004	0,0066	0,0699	34,2	82,5

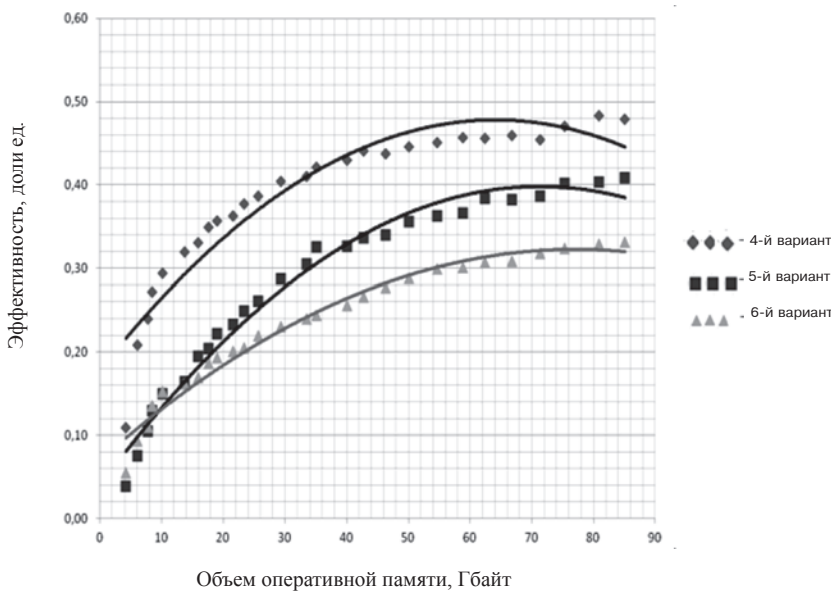


Рисунок 5 – Зависимости эффективности КГВС для 4–6 вариантов от объема оперативной памяти

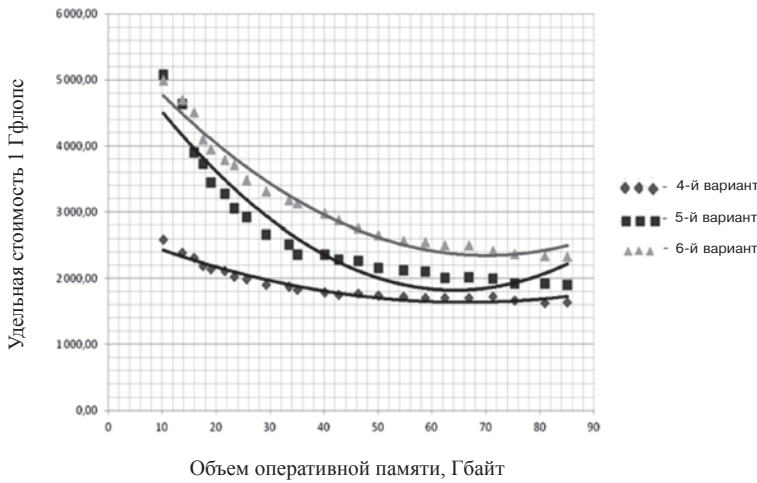


Рисунок 6 – Зависимости удельной стоимости 1 Гфлопс КГВС для 4–6 вариантов от объема оперативной памяти

Таблица 8 – Результаты определения минимальной удельной стоимости 1 Гфлопс КГВС в зависимости от объема оперативной памяти

Вариант КГВС	Коэффициенты аппроксимирующего полинома 2-го порядка			Минимальная удельная стоимость 1 Гфлопс КГВС y_{min} , тенге	Объем оперативной памяти в точке минимума x_{min} , Тбайт
	a	b	c		
4-й	0,2527	-33,43	2742,9	1636,8	66,15
5-й	0,9166	-117,76	5603,8	1821,6	64,23
6-й	0,6728	-94,35	5655,2	2347,7	70,12

Методика разработки имитационной модели оптимизации архитектуры КГВС на основе результатов численных экспериментов. В предыдущем разделе приведены численные результаты для получения данных о зависимости реальной производительности (Тфлопс), эффективности по Linpack (%) и удельной себестоимости 1 Гфлопс КГВС (тенге) от объема оперативной памяти, которые представлены в табличной форме (см. таблицы 1, 5). Полученные данные были обработаны с использованием методов аппроксимации численных значений на базе полиномов 2-го порядка, в результате были найдены аналитические зависимости, результаты которых представлены на рисунках 1–6, а коэффициенты полиномов и оптимальные значения реальной производительности (Тфлопс), эффективности по Linpack (%) и удельной себестоимости 1 ГФлопс КГВС (тенге) и соответствующие им значения объемов оперативной памяти даны в таблицах 2–4, 6–8.

Рассмотрим для примера рисунок 1 и соответствующую ему таблицу результатов 2.

Как видно из рисунка 1, графики зависимости производительности от объема оперативной памяти имеют ярко выраженную параболическую форму, независимо

от количества GPU, которое в данном эксперименте изменялось от 2 до 4. Для всех рассматриваемых вариантов получены аналитические зависимости, выраженные в полиномиальном виде, коэффициенты которых приведены в таблице 2.

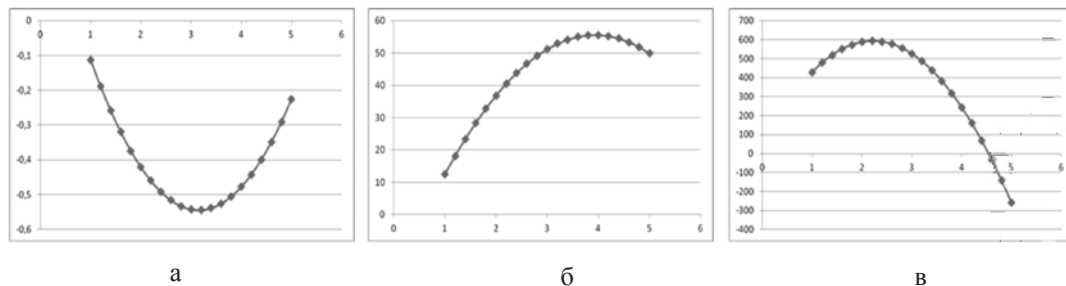


Рисунок 7 – Зависимости коэффициентов a , b , c полинома (1) от количества GPU

Поставим теперь следующую задачу. Для каждого из коэффициентов уравнения (1) a, b, c определим соответственно функции $a(G)$, $b(G)$, $c(G)$, где G – количество GPU, применяемое в узлах КГВС. Для этого используем информацию из таблицы 2, т.е. аппроксимируем искомые зависимости тем же самым полиномом 2-го порядка. Полином 2-го порядка выбран в связи с тем, что зависимости коэффициентов уравнения (1) имеют ярко выраженный параболический характер (рисунок 7).

Аппроксимируя численные значения коэффициентов a , b , c на данных из таблицы 2, получаем результаты аппроксимации, представленные в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты аппроксимации коэффициентов уравнения (1) от числа используемых GPU

Вариант архитектуры	Коэффициенты аппроксимирующего полинома 2-го порядка					
	a		b		c	
2 узла	a_1	0,0931	b_1	-5,0165	c_1	-110,27
	a_2	-0,587	b_2	39,459	c_2	489,4
	a_3	0,3811	b_3	-22,0	c_3	49,93

Таким образом, получили функции $a(G)$, $b(G)$, $c(G)$ в следующем виде:

$$\begin{aligned}
 a(G) &= a_1 G^2 + a_2 G + a_3, \\
 b(G) &= b_1 G^2 + b_2 G + b_3, \\
 c(G) &= c_1 G^2 + c_2 G + c_3,
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

где коэффициенты $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3, c_1, c_2, c_3$ определены в таблице 9.

Теперь найдем функцию F от двух переменных P и G , где P – объем оперативной памяти, а G – число графических процессоров GPU. Для этого используем уравнение (1), в которое подставим уравнение (2) и в результате получим

$$\begin{aligned}
 F(P, G) &= a(G)P^2 + b(G)P + c(G) = \\
 &= (a_1G^2 + a_2G + a_3)P^2 + (b_1G^2 + b_2G + b_3)P + (c_1G^2 + c_2G + c_3) .
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Для проверки правильности найденных соотношений рассчитаем производительность варианта узла с двумя GPU (т.е. параметр $G = 2$) на основе соотношений (1) и (3).

Сначала определим коэффициенты $a(G)$, $b(G)$, $c(G)$ с использованием уравнений (2) и значений коэффициентов из таблицы 9:

$$\begin{aligned}
 a(G) &= a_1G^2 + a_2G + a_3 = 0,0931G^2 - 0,587G + 0,3811 = -0,42053, \\
 b(G) &= b_1G^2 + b_2G + b_3 = -5,0165G^2 + 39,459G - 22,0 = 36,852, \\
 c(G) &= c_1G^2 + c_2G + c_3 = -110,27G^2 + 489,4G + 49,93 = 587,653.
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Данные расчетов представлены в таблице 10, а графические результаты построения – на рисунке 8.

Таблица 10 – Данные расчетов реальной производительности, выполненные по формулам (1) и (4)

№ п/п	Объем оперативной памяти, Гбайт	Производительность, рассчитанная по формуле (1), Тфлопс	Производительность, рассчитанная по формуле (4), Тфлопс
1	4,2	540,2	573,2688
2	6,1	757,7	794,9067
3	7,8	850,2	847,4248
4	8,5	963	868,3275
5	10,2	1 009,00	917,3368
6	13,7	1 077,00	1010,412
7	15,9	1 107,00	1063,525
8	17,6	1 144,00	1101,715
9	19	1 181,00	1131,3
10	21,6	1 207,00	1181,771
11	23,4	1 221,00	1213,307
12	25,7	1 233,00	1249,548
13	29,3	1 286,00	1297,14
14	33,54	1 304,00	1338,899
15	35,1	1 317,00	1350,373
16	40,1	1 349,00	1373,043
17	42,7	1 367,00	1376,334
18	46,3	1 380,00	1371,294
19	50,1	1 370,00	1353,883
20	54,7	1 367,00	1316,19
21	58,8	1 350,00	1267,257

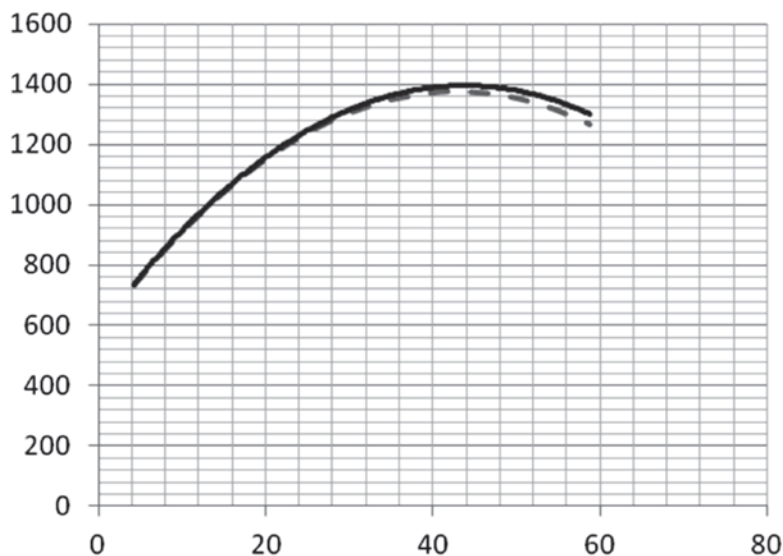


Рисунок 8 – Графики реальной производительности, рассчитанные по формуле (1) (сплошная линия) и формуле (4) (пунктирная линия)

Таким образом, получены формулы, определяющие зависимость реальной производительности (Гфлопс) от объема оперативной памяти и количества графических процессоров, которые могут лечь в основу имитационной компьютерной модели, позволяющей а priori определять оптимальную производительность с возможностью варьирования как объема оперативной памяти, так и количества графических процессоров. Это дает возможность резко ускорить определение оптимальных параметров архитектуры КГВС.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 NVidia Technical support, <http://developer.nvidia.com>
- 2 Top500 Supercomputer sites, <http://www.top500.org>
- 3 Computer performance tests and system software, <http://www.parallel.ru/computers/benchmarks>
- 4 Akhmedov D. Determination of dependence of performance from specifications of separate components of the hybrid personal computing system based on GPU-processors / Akhmedov D., Yelubayev S., Abdoldina F., Bopayev T., Muratov D., Povetkin R., Karataev A. // Proceedings 12th International Conference on Parallel Computing Technologies (PaCT 2013). – St. Petersburg, 2013. – P. 135–138.
- 5 Akhmedov D. Research on performance dependence of cluster computing system based on GPU accelerators on architecture and number of cluster nodes / D. Akhmedov, S. Yelubayev, T. Bopayev, F. Abdoldina, D. Muratov, R. Povetkin // Collection of scientific papers International conference “High Performance Computing 2013”. – Kiev, 2013. – P. 9–13.

А. Т. БЕКТЕМЕСОВ, Д. Ж. АХМЕД-ЗАКИ

Казахский национальный университет им. аль-Фараби

МОДЕЛИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ И ИХ ВЕРИФИКАЦИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТРАНЗАКЦИОННОЙ ПАМЯТИ

Проанализированы особенности использования транзакционной памяти при высокопроизводительных вычислениях. Проведены исследования для моделей реализаций функций MPI с использованием транзакционной памяти WSTM. Построен алгоритм на языке PROMELA с объединением реализаций для моделей MPI и WSTM. Алгоритм верифицирован с помощью пакета Spin. Проведено сравнение результатов алгоритма при синхронном и асинхронном вычислениях.

Ключевые слова: верификация, model checking, HPC, MPI, параллельные вычисления.

Бұл мақалада транзакциялы жады әдісін жоғары өнімді компьютерлердегі параллельді есептеулер үшін қолдану ерекшеліктеріне анализ жүргізіледі. WSTM транзакциялы жадыны қолданған MPI функцияларының моделдеріне зерттеу жасалды. MPI және WSTM біріккен алгоритмі PROMELA тілінде моделі құрылған. Spin пакеті арқылы алгоритм верификацияланды. Бұл алгоритмнің синхронды және асинхронды есептеу нәтижелеріне салыстырулар жасалды.

Кілттік сөздер: верификация, Model Checking, HPC, MPI, параллельді есептеулер.

In this paper the features were analyzed of transactional memory using for high-performance computing. Studying was carried out for models of MPI function's realization with WSTM transactional memory using. The integrated version of algorithm for joint technology MPI/WSTM is constructed with PROMELA language using. The algorithm was verified by a way of Spin package using. The comparison of the algorithm results for synchronous and asynchronous computations is given.

Key words: verification, Model Checking, HPC, MPI, parallel computing.

Широкое развитие суперкомпьютеров все чаще приводит к сложностям при построении параллельных программ. В то же время отказоустойчивость и надежность работы многоядерных систем являются очень важным аспектом при проектировании параллельных программ для HPC (High Performance Computing). При построении параллельных программ разработчики имеют дело с общим ресурсом памяти, при котором довольно сложно обеспечить синхронизацию параллельных процессов. Чтобы упростить задачи синхронизации, существует так называемый алгоритм поддержки транзакционной памяти [1]. Параллельно выполняющиеся запросы конфликтуют во время чтения и изменения некоторого элемента хранилищ данных (памяти), что может привести к конфликту при одновременном выполнении таких запросов. Общая структура транзакции состоит из четырех компонентов ACID: изоляции, согласованности, атомарности и долговечности.

На основании работы N. Shavit и D. Touitou [2], посвященной STM (Software Transactional Memory), показано, что программным путем можно полностью реализовать без блокировок атомарные операции над несколькими переменными. Для этого программе следует заранее инициализироваться, определить, к каким ячейкам памяти будет обращаться эта транзакция.

Основными методами проверки правильности сложных систем являются: имитационное моделирование;

тестирование;
 дедуктивный анализ;
 проверка модели (Model Checking).

Model Checking – это один из наиболее перспективных и широко используемых подходов к решению проблемы автоматизации отладки и проверки правильности программ [3]. Для заданной анализируемой программы строится ее абстрактная формальная модель. К примеру, можно представить систему взаимодействия двух процессов параллельной программы. Проверяемое свойство или требование выражается на формальном математическом языке в виде логической формулы: $M \models \phi$, которая означает, что некоторая булева формула ϕ удовлетворяет модели M .

Таким образом, верификация программы сводится к проверке выполнимости формализованного требования спецификации на абстрактной модели программ.

На 10-й Международной конференции PaCT'09 [4] был представлен «оконный» алгоритм транзакционной памяти (WSTM). Несмотря на представленное в этой работе доказательство правильности работы алгоритма, А. Б. Беляев [5] доказал обратное: построил модель и верифицировал в системе Spin.

Как следует из работы [5], «оконный» алгоритм представляет собой описание трех процессов: чтение, запись и завершение. Действия «чтение» и «запись» используются для обращения транзакции к переменным, а «завершение» вносит изменение в выполнение транзакции.

Транзакция принимается или отклоняется в зависимости от состояния временного окна: при конечной верхней границе отклоняются пишущие транзакции (во время операции завершения), при пустом окне – любые (во время операции чтения).

Основная идея транзакционной памяти оконного режима (Window-based STM) состоит в том, что на определенный промежуток времени потоки транзакции обращаются в память для редактирования значения выделенной области (рисунок 1). Таким образом, поток транзакции выполняется единовременно. Это облегчит рутинную работу программиста для синхронизации общей памяти.

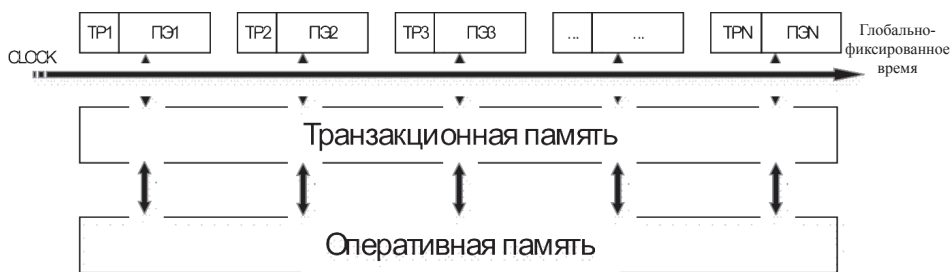


Рисунок 1 – Window-based STM. TP1–TPN – транзакционные процессы, ПЭ1–ПЭN – процессные элементы. CLOCK – глобально-фиксированное время

Одним из эффективных методов проверки алгоритма является верификация модельных тестирований. По такой методике авторами осуществлена проверка на отсутствие ошибок при реализации функций MPI и WSTM при высокопроизводительных вычислениях. Учитывая корректность работы WSTM [4, 5], мы проанализировали

работу MPI функций отправки/получения сообщений `MPI_Send()` и `MPI_Recv()` соответственно (рисунок 2).

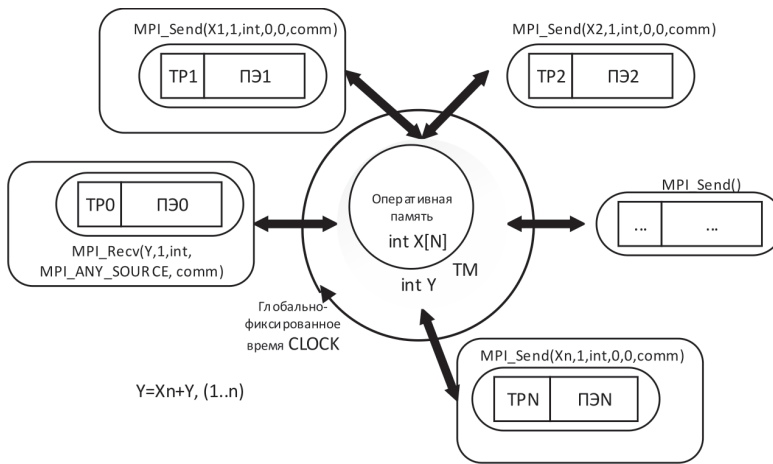


Рисунок 2 – Схема работы MPI и WSTM

Каждый процесс, добавляя значения Y_n соответственно к X , отправляет результат к нулевому процессу. X является промежуточной общей переменной транзакционной памяти.

Предположим, что каждая транзакция имеет функцию отправки сообщений `MPI_Send(Yn, 1, int, 0, 0, comm)` в виде `chan_mpi!Yn` на языке PROMELA, где Y_n – это значение переменной, которая хранится в буфере обмена, 1 – это только одно выслаемое значение, `int` – тип, 0 – адрес получателя, где 0 – значение тега, используемое для идентификации сообщений, `comm` – коммутатор. Нулевой процесс получает сообщения о результате сложения $X = Y_n + X$ через функцию `MPI_Recv(X, 1, int, 0, comm)` и имеет вид `chan_mpi!X` на языке PROMELA. Описание событий отправка/получение сообщений на языке PROMELA осуществляется по методу рандеву.

Для того чтобы провести модельную проверку на утверждениях LTL, сделаем модификацию событий, которые могут быть упорядочены во времени: `BeginTPn` – событие начала транзакции TP_n ; `CommitTPn`, `AbortTPn` – принятие и отклонение; `COMP_TPn` – вход транзакции TP_n в состояние изменения данных; `rTPn(X)v` – событие чтения значения v (возвращаемое значение) в переменную X из общей памяти транзакцией TP_n . Событие записи `wTPn(X)v` определяется аналогично. При этом записываемое значение v – идентификатор транзакции TP_n . Событие `LinerTPn` представляет собой точку линеаризации – момент времени, когда может быть однозначно решено, принимать транзакцию TP_n или отклонять. Событие `LinerTPn` может соответствовать событию `CommitTPn` (принятию транзакции) либо быть связанным с критическим изменением границ временных окон транзакции TP_n , которое впоследствии обязательно приведет к событию `AbortTPn`.

В зависимости от положения транзакции `COMP_TPn` меняют свое значение либо устанавливаются в модели при выполнении транзакций `BeginTPn`, `CommitTPn`, `AbortTPn`, `LinerTPn`, `rTPn(X)v`, `wTPn(X)v`.

Таким образом, используем алгоритм из работы [5] для того, чтобы детально смоделировать одну транзакцию при применении MPI функций (рисунок 3).

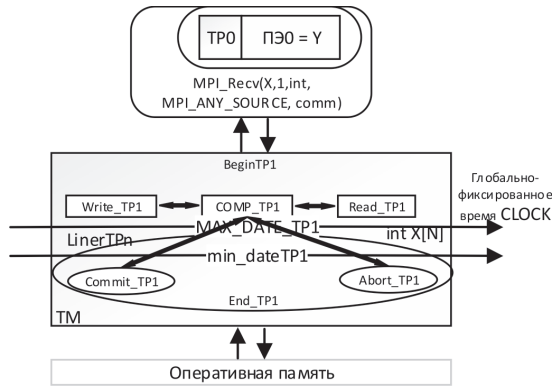


Рисунок 3 – Выполнение одной транзакции WSTM для одного процесса MPI_Send()

Псевдокод объединения технологий WSTM [4] и MPI представлен как:

```

#define procnum 50
inline wstm()
{ operation X.readTP(); operation X.writeTP(v);
  operation try_to_commitTP(); }
chan chan_mpi = [0] of {int}; int x=0;
proctype sender(int y)
{ int rank=0;
  do :: (rank < procnum) -> chan_mpi!x; x=x+y; rank++ od; }
proctype receiver()
{ int sum=0;
  do :: chan_mpi?x; sum = sum + x od; }
init { run receiver(); run sender(1); run sender(1); }
    
```

Так как в модельном языке PROMELA не существует функций, мы используем оператор inline, который компилируется по блочно один раз на препроцессоре Си. После этого мы получаем дееспособную модель WSTM и параллельную программу для дальнейшей верификационной работы.

На рисунке 4 приведен автомат Бюхи для процессов sender и receiver.

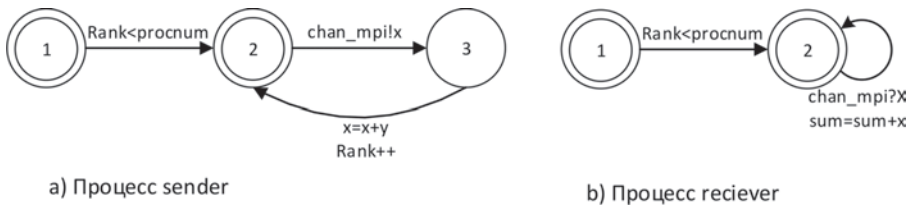


Рисунок 4 – Автомат Бюхи для отправки и получения сообщения

Как пример на этой модели вычислим сумму целых чисел от 1 до 100, используя синхронный и асинхронный методы. Верификация показала следующие выводы, представленные на рисунке 5.

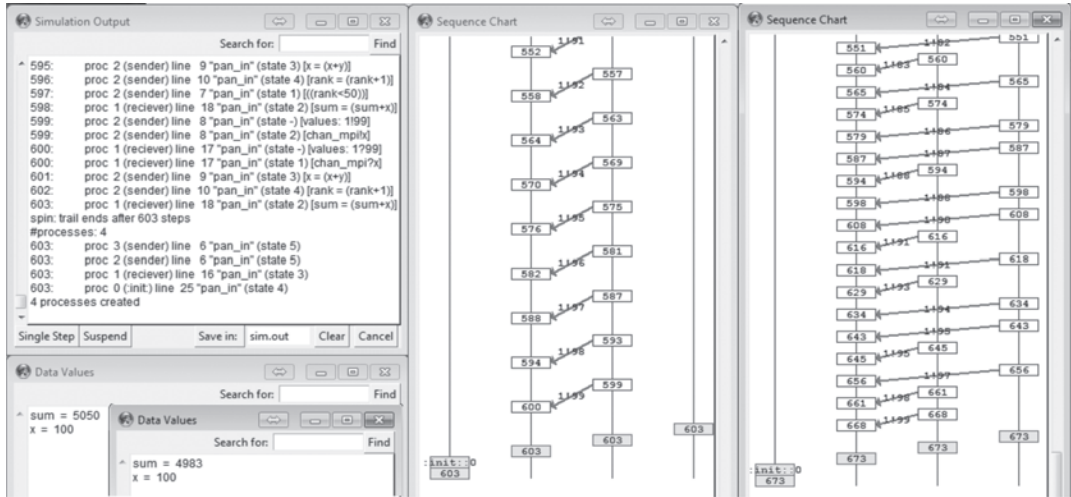


Рисунок 5 – Вычисления и верификация алгоритма в системе XSpin

Синхронное вычисление выдает результат $sum=5050$ без какой-либо потери данных. При асинхронном вычислении $sum=4983$ теряются данные при выполнении операторов суммирования. Так как суммирование состоит из четырех операций, потери данных могут быть при присвоении x , y ; также при суммировании $x+y$; в конце при присвоении x . В итоге параллельно работающие процессы между этими операциями вычисляются недетерминировано. Аналогично при асинхронной работе каждый оператор имеет метку атомарности с использованием WSTM (рисунок 6).

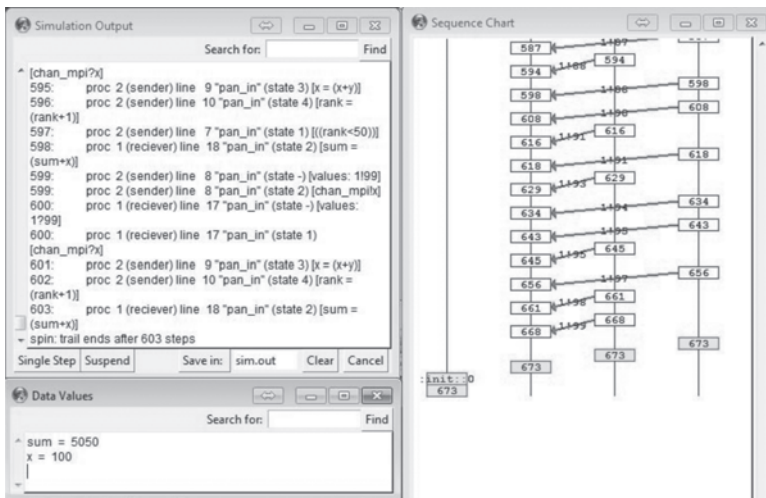


Рисунок 6 – Асинхронное вычисление и верификация алгоритма с помощью WSTM

Таким образом, для проверки алгоритма для параллельной программы с транзакционной памятью WSTM и функциями MPI разработан модельный алгоритм и верифицирован с помощью xSpin. При верификации выявились ошибки параллельных процессов при асинхронном вычислении с использованием разделяемой памяти. Используя алгоритмы [4, 5], мы показали корректность работы программы с применением WSTM для случая отправки/получения сообщений.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Gray J. and Reuter A. Transaction Processing: Concepts and Techniques // Morgan Kaufmann Publishers. – San Francisco, 1992. – P. 25-50.
- 2 Shavit N. and Touitou D. Software transactional memory // In Proceedings of the 14th ACM Symposium on Principles of Distributed Computing. Ottawa, Canada. ACM, NY, 1995. – P. 204–213.
- 3 Clarke E. M., Grumberg O., Peled D.A. Model Checking // The MIT Press. – London, 1999. – 330 p.
- 4 Imbs D., Raynal M. Software Transactional Memories: An Approach for Multicore Programming // PaCT 2009. LNCS. – 2009. – Vol. 5698. – P. 26–40.
- 5 Беляев А. Б. Верификация алгоритма поддержки транзакционной памяти // Телематика-2010: телекоммуникации, веб-технологии, суперкомпьютинг. – СПб., 2010. – № 101. – С. 186-192.

ГОРНОЕ ДЕЛО, МЕТАЛЛУРГИЯ

УДК 669.85/.86. 054.8:553.495

Т. Ю. СУРКОВА, С. Б. ЮЛУСОВ, Д. А. БЕЙСАХМЕТОВ

АО «Центр наук о Земле, металлургии и обогащения», г. Алматы

ОБ ИЗВЛЕЧЕНИИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ТЕХНОГЕННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ОТ ПЕРЕРАБОТКИ ФОСФАТНЫХ УРАНОВЫХ РУД

Рассмотрены вопросы извлечения редкоземельных элементов из техногенных минеральных образований от переработки фосфатных урановых руд. Предложено вести выщелачивание сырья в две стадии. Щелочное выщелачивание на первой стадии позволяет разделить фосфор и редкоземельные элементы, а кислотное на второй – перевести редкоземельные элементы в раствор. Определены оптимальные условия щелочного и кислотного выщелачивания техногенных минеральных образований.

Ключевые слова: *техногенные минеральные образования, редкоземельные элементы, щелочное и кислотное выщелачивание, оптимальные условия, ортофосфат натрия.*

Фосфатты уранды кендерден өңделген техногенді минералды түзушілерден СЖЭ алу мәселелері қаралды. Шикізатты ерітінділеуді екі саты бойынша жүргізу ұсынылды. Сілтілі ерітінділеудің бірінші сатысында фосфор мен СЖЭ бөліп алуға болады, ал екінші сатысы – СЖЭ ерітіндіге өткізуге мүмкіндік береді.

Кілттік сөзер: *минералды техногенді түзілулер, сирек кездесетін жер элементтері, сілтілі және қышқылды ерітінділеу, тиімді шарттар, натрий ортофосфаты.*

In the paper problems are considered of rare-earth elements extraction from technogenic mineral formations of phosphate uranium ores processing. Two stages of raw materials leaching were offered. Alkaline leaching at the first stage allows separating phosphorus and rare-earth elements, and acid leaching at the second stage allows transferring rare-earth elements into solution. Optimum conditions of alkaline and acid leaching of technogenic mineral formations were determined.

Key words: *technogenic mineral formations, rare-earth elements, alkaline and acid leaching, optimum conditions, sodium orthophosphate.*

В природе известно более 250 минералов, содержащих редкоземельные элементы. К собственно минералам относятся те из них, сумма оксидов РЗЭ в которых выше 5,0–8,0 %. Наибольшее промышленное значение имеют такие минералы, как монацит, бастнезит, паризит, лопарит, эвксенит, ксенотим. Техногенные минеральные образования (ТМО), полученные при переработке фосфатных урановых руд, характеризуются содержанием суммы оксидов редкоземельных элементов свыше 5,0 % [1–3].

Исходный состав ТМО представлен в таблице 1, из которой следует, что в ТМО преобладают редкоземельные элементы легкой подгруппы.

Для переработки техногенных минеральных образований был выбран щелочной метод вскрытия. Преимущество щелочного метода состоит в отделении фосфора уже на первой стадии процесса в виде тринатрийфосфата.

Щелочное вскрытие осуществляли двумя способами: непосредственным выщелачиванием ТМО в щелочном растворе и предварительным спеканием ТМО и щелочи при температуре 350 °С с последующей отмывкой спека водой.

Таблица 1 – Исходный химический состав усредненной руды ТМО, %

Наименование	РЗЭ тяжелой подгруппы											ΣTR _Y	ΣTR
	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Y			
ТМО	0,182	0,037	0,162	0,027	0,175	0,041	0,196	-	0,67	1,030	1,917	4,958	
	РЗЭ легкой подгруппы					Примеси							
	La	Ce	Pr	Nd	ΣTR _{Ce}	Fe	Mg	Al	Th	Ca	P		
	0,094	1,430	0,091	0,574	3,041	11,1	1,20	3,06	0,05	2,65	15,5		

Выщелачивание щелочным раствором вели при температуре 80°С и отношении Т:Ж= 1:3 в течение 4 ч при концентрации щелочи 20–150 г/дм³. В ходе исследований установлено, что при концентрации 80–100 г/дм³ в раствор переходит 50–60% содержащегося в ТМО фосфора, при увеличении концентрации щелочи содержание фосфора в растворе повышается незначительно. В этой связи при щелочном вскрытии ТМО целесообразно использовать щелочь концентрации 80–100 г/дм³. Результаты, полученные в процессе щелочного вскрытия ТМО, представлены в таблицах 2 и 3. Из приведенных таблиц следует, что в процессе выщелачивания редкоземельные элементы в раствор не переходят, они сосредоточены в кеке.

Таблица 2 – Химический состав раствора после щелочного выщелачивания, мг/дм³

Наименование	РЗЭ тяжелой подгруппы											ΣTR _Y	ΣTR
	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Y			
Раствор	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	
	РЗЭ легкой подгруппы					Примеси							
	La	Ce	Pr	Nd	ΣTR _{Ce}	Fe	Mg	Al	Th	Ca	P		
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,3	0,0	3310,0	0,1	0,0	1,31		

Таблица 3 – Химический состав кека после щелочного выщелачивания, %

Наименование	РЗЭ тяжелой подгруппы											ΣTR_{γ}	ΣTR
	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Y			
Кек	0,182	0,037	0,162	0,027	0,175	0,041	0,196		0,067	1,03	1,917	4,958	
	РЗЭ легкой подгруппы					Примеси							
	La	Ce	Pr	Nd	ΣTR_{Ce}	Fe	Mg	Al	Th	Ca	P		
	0,946	1,430	0,091	0,574	3,041	7,7	1,20	1,53	0,08	3,63	1,38		

После фильтрации кек отмыли от щелочи водой, промывные воды и щелочной раствор объединили, упарили и охладили. Фосфор выпал в осадок в виде ортофосфата натрия. Кристаллы полученного ортофосфата натрия представлены на рисунке 1, а состав – в таблице 4. Из таблицы следует, что основными примесными элементами являются F, Al, Si, S, Cl и Ca.



Рисунок 1 – Кристаллы ортофосфата натрия, полученного в процессе щелочного вскрытия ТМО

Далее отмытый кек выщелачивали серной кислотой при pH 1,2–4,0. Выщелачивание вели при Т:Ж=1:3 и температуре 25 °С, продолжительность процесса – 6 ч. Результаты исследований представлены в таблице 5.

Таблица 4 – Химический состав ортофосфата натрия, %

O	F	Na	Al	Si	P	S	Cl	Ca
31,249	1,004	27,510	0,024	0,031	12,370	0,019	0,017	0,019

Таблица 5 – Выщелачивание кека в рН режиме серной кислотой, мг/дм³

рН	РЗЭ тяжелой подгруппы											ΣTR _γ	ΣTR
	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Y			
4	4,8	1,37	0,6	0,9	0,5	2,1	2,3	0,0	0,3	5,5	18,3	31,5	
	РЗЭ легкой подгруппы					Примеси							
	La	Ce	Pr	Nd	ΣTR _{ce}	Fe	Mg	Al	Th	Ca	P		
	3,0	4,8	4,2	1,2	13,3	65,4	1870,0	747,0	0,0	986,0	0,4		
2,3	РЗЭ тяжелой подгруппы											2390,6	
	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Y	ΣTR _γ		
	59,9	154,0	69,4	127,0	42,9	177,0	20,7	26,1	17,6	442,0	1136,6		
	РЗЭ легкой подгруппы					РЗЭ легкой подгруппы							
La	Ce	Pr	Nd	ΣTR _{ce}	Fe	Mg	Al	Th	Ca	P			
	448,0	616,0	45,0	145,0	1254,0	2410,1	4000,0	410,0	3,8	2920,0	0,32		
1,2	РЗЭ тяжелой подгруппы											3965,5	
	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Y	ΣTR _γ		
	58,50	20,50	154,0	31,10	233,0	40,7	164,0	19,3	153,0	2350	3224,5		
	РЗЭ легкой подгруппы					РЗЭ легкой подгруппы							
La	Ce	Pr	Nd	ΣTR _{ce}	Fe	Mg	Al	Th	Ca	P			
	289,0	282,0	39,40	131,0	741,4	1237,0	1630,0	358,0	1,2	99,0	0,7		

Из приведенных результатов видно, что максимальная степень извлечения редкоземельных элементов наблюдается при рН 1,2 и составляет 79,98 %, при рН 2,3 – 48,2 % и при рН 4 – менее 1 %.

Во второй серии опытов ТМО сплавляли со щелочью при отношении 1: 0,4–1,4, температуре 350 °С в течение 1 ч. Полученные данные представлены в таблице 6, из которой следует, что максимальная степень удаления легколетучих примесей происходит при отношении ТМО и щелочи 1:0,6 и снижается по мере увеличения отношения массы сырья к массе щелочи.

Таблица 6 – Результаты сплавления ТМО со щелочью

№ п/п	Отношение ТМО-NaOH	Масса ТМО, г	Масса NaOH, г	Общая масса до проковки, г	Общая масса после проковки, г	Степень удаления примесей, %
1	1-0,4	10,0	4,0	14,0	10,7	34,3
2	1-0,6		6,0	16,0	10,3	35,6
3	1-0,8		8,0	18,0	12,0	33,3
4	1-1		10,0	20,0	15,0	25,0
5	1-1,2		12,0	22,0	17,8	19,1
6	1-1,4		14,0	24,0	17,6	26,6

Полученный спек отмывали водой при температуре 90^oC от избытка щелочи до нейтральной среды. В ходе исследований установлено, что количество перешедшего в раствор фосфора прямо пропорционально содержанию щелочи в спеке.

Далее отмытый горячей водой спек выщелачивали серной кислотой при pH 1,2 в течение 6 ч при температуре 25 ^oC. Результаты выщелачивания представлены в таблице 7, из которой следует, что степень извлечения редкоземельных элементов снижается от 92,2 до 56,7 % по мере увеличения отношения ТМО: щелочь при сплавлении.

Таблица 7 – Сернокислотное выщелачивание спеков, мг/дм³

Соотношение	РЗЭ тяжелой подгруппы												
	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Y	ΣTR_Y	ΣTR	
1-0,6	141,0	32,	138,0	22,0	145,0	34,0	80,0	5,0	39,0	756,0	1376,0	4569,0	
	РЗЭ легкой подгруппы					Примеси							
	La	Ce	Pr	Nd	ΣTR_{Ce}	Fe	Mg	Al	Th	Ca	P		
	1050	1450	140,0	537,0	3,177	1210,0	82,0	74,0	3,0	1490,0	383,0		
1-0,8	РЗЭ тяжелой подгруппы												
	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Y	ΣTR_Y	4100	
	157,0	157,0	147,0	26,0	149,0	34,0	143,0	5,0	46,0	608,0	1351,0		
	РЗЭ легкой подгруппы					РЗЭ легкой подгруппы							
	La	Ce	Pr	Nd	ΣTR_{Ce}	Fe	Mg	Al	Th	Ca	P		
1280,0	782,0	782,0	558,0	0,558	3250,0	85,0	440,0	2,5	1490,0	0,19			
1-1	РЗЭ тяжелой подгруппы												
	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Y	ΣTR_Y	3194	
	108,0	24,0	110,0	19,0	117,0	30,0	99,0		52,0	790,0	1359,0		
	РЗЭ легкой подгруппы					РЗЭ легкой подгруппы							
	La	Ce	Pr	Nd	ΣTR_{Ce}	Fe	Mg	Al	Th	Ca	P		
596,0	861,0	35,0	353,0	1845,0	1080,0	712,0	610,0	5,6	2460,0	0,23			
1-1,2	РЗЭ тяжелой подгруппы												
	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Y	ΣTR_Y	2808	
	117,0	28,0	112,0	21,0	115,0	26,0	88,0	6,0	47,0	523,0	1083,0		
	РЗЭ легкой подгруппы					РЗЭ легкой подгруппы							
	La	Ce	Pr	Nd	ΣTR_{Ce}	Fe	Mg	Al	Th	Ca	P		
454,0	806,0	91,0	374,0	1725,0	1310,0	1150,0	950,0	8,0	352,0	142,0			

Таким образом, исследование щелочного способа вскрытия показало, что оптимальными условиями при выщелачивании ТМО щелочным раствором являются температура 80°C , отношение Т:Ж= 1:3, концентрация щелочи $80\text{--}100\text{ г/дм}^3$, продолжительность процесса – 4 ч, а при сплавлении со щелочью – температура 350°C , отношение ТМО:щелочь – 1:0,6, продолжительность процесса – 1 ч.

Как нами было показано, кек после щелочного вскрытия ТМО поступает на кислотное выщелачивание, которое ведут при рН 1,2. В условиях производства для выщелачивания предпочтительнее использовать кислоту определенной концентрации. Кроме того, согласно литературным данным, при последующем экстракционном концентрировании РЗЭ процесс более эффективно протекает в азотнокислой среде. В этой связи нами была исследована зависимость степени перехода редкоземельных элементов в раствор от концентрации серной и азотной кислот.

Полученный после щелочной обработки ТМО кек направили на кислотное выщелачивание. Процесс проводили серной и азотной кислотами разной концентрации при температуре 25°C , отношении Т:Ж=1:3, продолжительность процесса – 8 ч. Результаты исследований представлены на рисунке 2. Из рисунка следует, что степень перехода редкоземельных элементов в раствор выше при выщелачивании кека азотной кислотой по сравнению с серной и увеличивается по мере роста концентрации кислот. Оптимальной следует считать концентрацию 150 г/дм^3 .

Влияние температуры на степень извлечения редкоземельных элементов при выщелачивании кека азотной кислотой исследовали при 25 , 50 и 90°C и концентрации кислоты 150 г/дм^3 (рисунок 3).

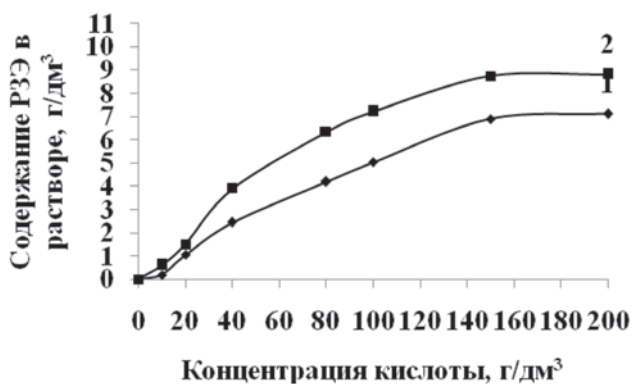


Рисунок 2 – Выщелачивание ТМО серной (1) и азотной (2) кислотой разной концентрации

Из данных рисунка следует, что с увеличением температуры повышается степень извлечения редкоземельных элементов в раствор, однако при $50\text{--}90^{\circ}\text{C}$ рост менее выражен по сравнению с интервалом $25\text{--}50^{\circ}\text{C}$. В этой связи выщелачивание целесообразно осуществлять при 50°C , что делает процесс менее энергозатратным.

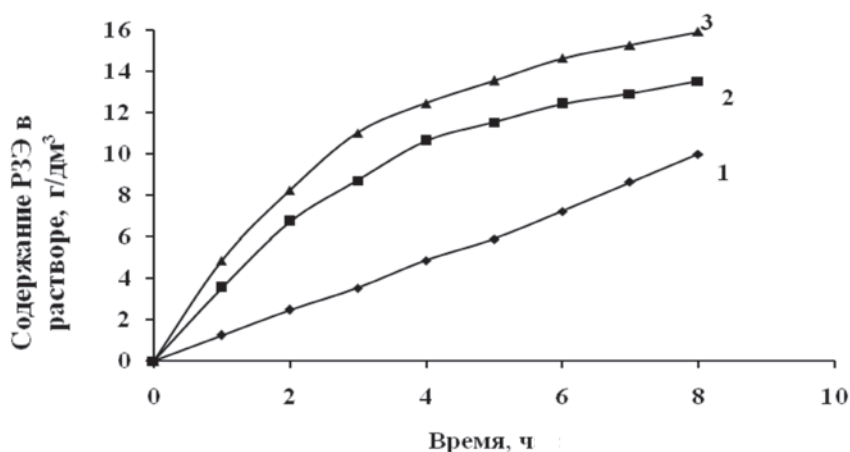


Рисунок 3 – Выщелачивание ТМО азотной кислотой при разных температурах:
1 – 90С°; 2 – 25С°; 3 – 50С°

Таким образом, исследования показали эффективность ведения процесса выщелачивания в две стадии: на первой щелочное выщелачивание позволяет отделить основное количество фосфора от РЗЭ в виде ортофосфата натрия, а на второй, при кислотном выщелачивании, – перевести в раствор редкоземельные элементы.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Большаков К.А. Химия и технология редких и рассеянных элементов. М.: Высшая школа, 1978. – 361 с.
- 2 Зеликман А.Н. Металлургия редкоземельных металлов, тория и урана. – М.: Металургиздат, 1960. – 380 с.
- 3 Суркова Т.Ю., Мукушева А.С., Юлусов С.Б. и др. О попутном извлечении редкоземельных элементов из руд Северной урановой провинции Казахстана // 1-я Международная Российско-Казахстанская конференция по химии и химической технологии. – Томск, 2011.

М. Ж. БИТИМБАЕВ¹, Е. С. ОРЫНГОЖИН¹, В. С. МУЗГИНА²

¹Национальная инженерная академия Республики Казахстан

²Институт горного дела им. Д. А. Кунаева

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕНСИВНОГО КУЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ

Описана система инженерных мероприятий для снижения вредного воздействия на окружающую среду при проведении опытно-промышленных испытаний инновационной технологии управляемого интенсивного кучного выщелачивания на золоторудном месторождении Акжал. Обоснованы основные направления мониторинга состояния элементов окружающей среды. Предусмотрен комплекс мер по контролю за размещением и утилизацией твердых отходов и рекультивацией площадок выщелачивания.

Ключевые слова: кучное выщелачивание, мониторинг состояния окружающей среды, утилизация отходов, рекультивация площадок выщелачивания.

Мақалада Ақжал алтын кен орнында қарқынды шоғырлы сілтіден айыруды басқаратын инновациялық технологияларды тәжірибелік өндірістік сынақтан өткізу кезінде қоршаған ортаға теріс әсерін төмендетуге арналған инженерлік іс шаралар жүйесі сипатталған. Қоршаған орта элементтері жағдайының мониторингінің негізгі бағыттары негізделді. Қатты қалдықтарды орналастыру мен оларды кәдеге асыру және сілтіден айыру алаңдарындағы топырақты қайта қалпына келтіруді бақылау бойынша шаралар кешені қарастырылды.

Кілттік сөздер: шоғырлы сілті, қоршаған орта жағдайының мониторингі, қалдықтарды жою, сілтіден айыру алаңдары.

In the paper system of engineering measures is described for decreasing of harmful environmental impact when pilot testing of innovation technology of controlled intensive heap leaching at Akzhal gold ore deposit. The main directions of monitoring of the state of the environment were substantiated. Set of measures was provided for control of solid waste disposal and utilization and recultivation of leach fields.

Keywords: heap leaching, monitoring of the state of the environment, waste utilization, recultivation of leach fields.

Одним из перспективных путей расширения минерально-сырьевой базы для производства золота в Казахстане является применение кучного выщелачивания (КВ) бедных и забалансовых руд, а также техногенных ресурсов. Учитывая, что технологии кучного выщелачивания свойствен ряд недостатков, в том числе относительно низкое извлечение золота и большая продолжительность цикла выщелачивания каждого сформированного штабеля, авторы разработали инновационную технологию управляемого интенсивного кучного выщелачивания [1, 2].

В технологическом процессе этой технологии, как и в других существующих технологиях кучного выщелачивания, активно используются токсичные реагенты, поэтому вопросы экологической безопасности являются весьма важными при оценке перспектив ее промышленного освоения.

Опытно-промышленные испытания разработанной технологии намечено провести на расположенном в Восточном Казахстане золоторудном месторождении Акжал, руды которого являются многокомпонентными, причем их единственным полезным компонентом является золото (коренное – 5–50 г/т, россыпное 0,3–2 г/т). В процессе

разработки технологического регламента на производство опытно-промышленных работ были исследованы вопросы экологической безопасности и охраны окружающей среды.

Проанализировав экологические аспекты применяющихся в России и Казахстане технологий кучного выщелачивания золота [3–7], мы выявили следующее:

– при комплексной оценке экологической безопасности применения технологии кучного выщелачивания необходимо определять наиболее незащищенные объекты окружающей среды исходя из условий района расположения предприятия и технологических параметров, при которых степень воздействия на окружающую среду минимальна;

– для оценки уровня загрязнения окружающей природной среды в районе промышленного освоения необходима объективная информация, отражающая общую ситуацию, состояние экосистем по главным показателям на всей изучаемой территории до начала работ по кучному выщелачиванию;

– на основании этой информации можно выявить наиболее нарушенные компоненты окружающей среды и основные факторы антропогенного воздействия, которые необходимо контролировать в процессе работ.

В связи с этим нами предусмотрено использование данных комплексной геоэкологической оценки территории, на которой планируется размещение рудных штабелей и осуществление дальнейшего постоянного мониторинга состояния окружающей среды. В качестве основных направлений мониторинга окружающей среды нами приняты следующие:

1. Анализ и контроль принятых технологических параметров (состав, pH и температура выщелачивающих растворов, площадь и высота рудных штабелей).

2. Контроль системы орошения рудных штабелей – разбрызгивание производится с помощью неподвижных либо вращающихся оросителей, равномерно распределяющих раствор по штабелю с интенсивностью подачи 0,002–0,003 л/с/м² для обеспечения скорости проникновения раствора через штабель не менее 10⁻⁴ см/с.

3. Мониторинг отвода продуктивных и промывных растворов из штабелей системой закрытых трубопроводов.

4. Организация системы мониторинга по охране поверхностных вод:

– анализ водного баланса участка выщелачивания;

– наличие резервной емкости для сбора технологических растворов и приема атмосферных осадков, выпадающих на поверхность штабелей и растворосборников;

– оценка концентрации цианидов и других загрязняющих веществ в сточных водах;

– контроль состояния гидроизолирующих обваловок штабеля и растворосборников для предотвращения утечки цианидных растворов и загрязнения поверхности площадки кучного выщелачивания;

– контроль состояния гидроизолированных лотков для транспортировки технологических растворов.

5. Организация системы мониторинга подземных вод в районе предприятия КВ:

– оценка состояния противодиффузионных экранов рудных штабелей;

– определение концентрации цианидов и других загрязняющих веществ в контрольных точках (в скважинах, пробуренных с учетом рельефа местности по уклону, и в районе дренажного коллектора);

– организация и контроль системы сбора аварийных утечек.

Технологическим регламентом на проведение опытно-промышленных испытаний предусмотрен ряд мер по снижению вредного воздействия технологии кучного выщелачивания на окружающую среду, в том числе:

– использование в технологии орошения штабелей только слабых цианистых растворов с концентраций 0,03–0,035%;

– организация полного водооборота с подпиткой воды только на испарение и устройство системы наблюдательных скважин за грунтовыми водами.

Важным экологическим аспектом технологии кучного выщелачивания являются управление отходами и реабилитация территории после завершения процесса. Комплекс мероприятий по восстановлению нарушений и загрязнений окружающей среды предусматривает технический и биологический этап.

К техническому этапу относятся мероприятия по размещению твердых отходов кучного выщелачивания на рельефе местности для последующей рекультивации и создание благоприятных условий для биологической рекультивации. Этот этап предусматривает:

детоксификацию отработанных растворов, их очистку как от цианидов, так и от ионов тяжелых металлов;

обезвреживание отработанного рудного штабеля методом промывки водой с использованием существующей системы орошения и сбора растворов из штабеля;

контроль периода, в течение которого концентрации цианида в отработанных рудных штабелях достигнут санитарных норм.

Биологический этап рекультивации предусматривает реабилитацию территорий, на которых были расположены рудные штабеля кучного выщелачивания, с применением биологических методов, позволяющих повысить потенциальное плодородие земель и способствующих накоплению в них органического вещества и элементов питания в доступной для растений форме. Этот этап включает:

формирование рекультивационного слоя;

подбор экологически перспективных видов древесных, кустарниковых, травянистых растений.

При планировании проведения этапа биологической рекультивации нами учитывалось, что климат района расположения месторождения Акжал резко континентальный, проявляющийся в большом колебании суточных и годовых температур воздуха, сухости, незначительном количестве осадков и в обилии солнечного тепла. Зима холодная, в январе средняя температура достигает 22–30°C. Лето продолжительное жаркое. В июле средняя температура достигает + 25+35°C. Осадков выпадает мало. Годовое количество атмосферных осадков 200–300 мм/год. Наибольшая часть осадков приходится на зиму [8].

На территории района два вида растительности: горная и низменная. Горная растительность стебельная разнотравно-злаковая, низменная растительность сухопольная. В горных районах на высоте 1400 м (над уровнем моря) расположен горно-степной пояс с разнотравно-ковыльной и кустарниковой растительностью (таволга, шиповник и т.д.). Почвы от юго-востока до северо-запада светло-желтые, а с повышением высоты местности черноземные [8].

Исходя из анализа предполагается по завершении технической рекультивации осуществить полив подготовленных участков питательными средами в целях дальнейшего самозарастания территории сухопольной и кустарниковой растительностью.

Еще одним направлением снижения вредного воздействия технологии кучного выщелачивания на окружающую среду является использование твердых отходов этого процесса в качестве заполнителя низкомарочных бетонов и закладочных смесей.

Применение при добыче и переработке руд нетрадиционных способов воздействия на рудную массу может оказывать существенное влияние на качество получаемых отходов. Так, в отличие от хвостов обогащения отходы выщелачивания руды, по сути, являются совершенно иным типом материала. Это происходит потому, что в процессе гравитационного, флотационного или магнитного обогащения химические соединения, оказывающие основное влияние на твердение смесей с цементным вяжущим, например CaO, MgO, не претерпевают кардинальных изменений.

Процесс выщелачивания оказывает существенное воздействие на эти химические соединения, например происходит образование гипса, разрушение серы, в результате чего отходы этого процесса приобретают свойства, которые могут существенно влиять на прочность материала при его использовании как заполнителя. Кроме того, изменяются физико-механические свойства пород, например повышается их пористость и соответственно степень водопоглощения материала по сравнению с исходными породами. Как известно, при увеличении пористости поверхности заполнителя частицы цемента втягиваются на глубину 50–200 мкм от поверхности, образуя прочный контактный слой (до 0,5 мм).

Проведенные в ИГД им. Д. А. Кунаева исследования возможности и целесообразности использования твердых отходов процесса кучного выщелачивания жезказганских окисленных медных руд в качестве компонента для приготовления твердеющей закладки [9] показали, что их применение как составляющей многокомпонентных закладочных смесей обеспечивает повышение прочностных характеристик искусственных массивов. Это позволяет сократить расход дорогостоящего вяжущего, расширить сырьевую базу закладочных работ, снизить техногенную нагрузку на окружающую среду и затраты на закладочные работы. Планируется проведение таких же исследований для твердых отходов кучного выщелачивания Акжальского золоторудного месторождения. Разведанные руды месторождения Акжал полускальные, встречаются крепкие глинистые сланцы, некрепкие песчаники, мягкие конгломераты. Крепость руд по шкале проф. М. М. Протодьяконова от 6–8 до 8–10. Главным жильным минералом является кварц. Его содержание колеблется от 58,3 до 62,6%. Из вредных примесей присутствует мышьяк, содержание которого в среднем не превышает 0,1%. Планируемый гранулометрический состав руды для формирования рудных штабелей составляет: –40 – +20 – 43,0%; –20 – +10 – 34,0%; –10 – +5 – 10,0%; –5 – +2 – 5,0%; –2 – 0 – 8,0%. По минералогическому составу и крупности твердые отходы кучного выщелачивания руды могут быть использованы в качестве заполнителя.

Таким образом, поскольку особенности технологии кучного выщелачивания золота не позволяют сократить количество образующихся токсичных отходов на тонну перерабатываемой руды, при проведении опытно-промышленных испытаний инно-

вационной технологией управляемого интенсивного кучного выщелачивания предусмотрена система инженерных мероприятий для снижения вредного воздействия на окружающую среду, включающая также комплекс мер по контролю за размещением и утилизацией отходов и рекультивацию площадок выщелачивания.

С учетом того, что при приготовлении, подаче и орошении рудных штабелей работникам приходится иметь дело с токсичными веществами, предусмотрены профилактические меры по безопасности работ и противопожарные мероприятия.

ЛИТЕРАТУРА

1 Пат. 44610 РК. Способ подземного кучного выщелачивания медных и серебросодержащих руд / Алтаев Ш.А., Ненашев Н.В., Орынгожин Е.С., Кадырсизов Н., Жангалиева М.Ж., Абдрахманов Д.; опубл. 19.06.2003.

2 Битимбаев М.Ж., Орынгожин Е.С., Метакса Г.П., Музгина В.С. Перспективы интенсификации кучного выщелачивания золотосодержащей руды месторождения Акжал // Вестник Национальной инженерной академии Республики Казахстан. – 2013. – №4(50). – С. 49-54.

3 Петров В.Ф., Петров С.В., Мурашев Н.М. Экологическая оценка установок кучного выщелачивания золота // Горный журнал. – 2001. – №5. – С. 56-58.

4 Кивацкая А.В. Эколого-геохимические последствия кучного выщелачивания золота (на примере ОАО «Рудник «Веселый», Республика Алтай): Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. 2006.

5 Гончар Н.В. Исследование и оценка экологической безопасности кучного выщелачивания золота в условиях Урала: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Барнаул, 2003.

6 Антонинова Н.Ю. Экологическая реабилитация установок кучного выщелачивания (на примере Сафьяновского месторождения): Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 2007.

7 Тусупова Б.Х., Байгурин Ж.Д. Анализ воздействия горных работ и установок кучного выщелачивания золота на окружающую среду. <http://vestnik.kazntu.kz/?q=ru/node/197>

8 Физическая география Казахстана / Вилесов Е.Н., Науменко А.А., Веселова Л.К., Аубекеров Б.Ж. – Алматы: КазНУ им. аль-Фараби, 2009. – 362 с.

9 Алтаев Ш.А., Алдамбергенов У.А., Скрипченко Л.Н., Сатыбалдин О.Б., Музгина В.С., Спатаев А.Н. Пути рационального и комплексного использования окисленных руд Жезказганского месторождения // Комплексное использование минерального сырья. 1990. – № 11. – С. 78-80.

НОВОСТИ НАУКИ И ТЕХНИКИ

Часть Европы может быть затоплена

Наводнения в Великобритании стали новым подтверждением угрозы затопления части Европы к середине нынешнего столетия, – заявил вице-президент Межправительственной группы по изменению климата – МПГИК, профессор Свободного брюссельского университета Жан-Паскаль Ван Имперселе. «То, что мы наблюдаем сегодня в Великобритании, – это только начало, можно сказать, предупреждение», – отметил он. Пока эти наводнения вызваны не подъемом уровня моря, а «всего лишь значительным увеличением интенсивности осадков». Однако все это следствия одной причины – глобального изменения климата и таяния арктических льдов. Как отметил ученый, Межправительственная группа по изменению климата уже более 10 лет назад предсказала первый результат глобального потепления в Атлантике. Это более мягкие и снежные зимы с обильными дождями, более жаркое и сухое лето во всех прибрежных регионах. «Таяние льдов меняет температурную карту Мирового океана и нарушает привычную для нас систему воздушных потоков, провоцируя значительное увеличение количества и силы бурь. Происходит расширение свободной от льдов водной поверхности, что способствует повышению концентрации пара в атмосфере и ведет к усилению дождей», – отметил профессор.

В этой связи, по его оценкам, в ближайшие три десятилетия Европе надо готовиться к системным паводкам из-за осадков и выхода рек из берегов. Однако по настоящему драматической ситуация может стать после 2050 г., когда повышение уровня Мирового океана, которое

сегодня оценивается в 3 мм в год, начнет напрямую угрожать затоплением крупных европейских прибрежных городов, включая Лондон, Амстердам, Роттердам, Антверпен, Копенгаген. «Евросоюз уже сегодня должен начать готовиться к этой угрозе, невзирая на финансовые проблемы, связанные с кризисом», – отметил бельгийский профессор.

Сильнейшие наводнения парализовали юго-запад Великобритании этой весной. В почти 400 районах Соединенного Королевства была объявлена угроза наводнений. Наиболее тяжелая ситуация сложилась на юго-западе Англии и в Уэльсе, где десятки квадратных километров суши были затоплены. Непогода не отступала всю весну. По данным правительства, ущерб от удара стихии превысил 630 млн фунтов, или более 1 млрд долларов. Ущерб из-за производственных потерь, нанесенных стихией экономике Великобритании, составил как минимум 13,8 млрд фунтов, или 23 млрд долларов.

Пакеты ... растворяются

Экологичную пленку, которая растворяется в воде за один день, разработал студент Казанского национального исследовательского технологического университета Иван Захаров. Им создан материал, пакеты из которого могут заменить обычные полиэтиленовые, которые загрязняют почву, разлагаясь лишь через 400–1000 лет.

По словам И. Захарова: «Пленка получена на основе обычного крахмала. После использования ее достаточно поместить в воду, где материал в течение суток полностью разлагается, образуя воду, азот и углекислый газ, в количествах, безвредных для человека. Для примера,

один автомобиль выделяет столько углекислого газа, сколько образуется при разложении 50 тонн таких пакетов». Работы по созданию пленки велись под руководством заведующего кафедрой пищевой инженерии малых предприятий, профессора М. Поливанова. «Разработка крайне важна в экологическом плане, так как материалы из полиэтилена подвергаются очень продолжительной естественной деградации в природе, поэтому актуальной является мировая тенденция по созданию биodeградируемых материалов на основе растительных полимеров», – считает доктор технических наук, профессор этого университета А. Канарский.

За эту разработку И. Захаров удостоен именной стипендии мэра Казани И. Метшина. Сейчас студент патентует свое изобретение. Разработкой уже заинтересовались руководства казанского мусороперерабатывающего комплекса «Самосырово» и утилизирующей компании «Казанский экологический комплекс».

Оценка состава месторождений с помощью космоса

Международный эксперимент DCMIX-2 по определению поведения молекул углеводородов в условиях невесомости под руководством ученых Пермского государственного национального исследовательского университета (ПГНИУ) выполняют космонавты на Международной космической станции. Они исследуют процессы диффузии и термодиффузии в трехкомпонентных смесях в условиях космоса, чтобы предсказать состав существующих месторождений нефти и газа и усовершенствовать процесс их добычи.

Экспериментом с Земли руководила заведующая кафедрой теоретической физики ПГНИУ и лабораторией вычисли-

тельной гидродинамики Института сплошных сред УрО РАН (ИМСС) профессор Татьяна Любимова. По ее словам, «космические эксперименты дают возможность наблюдать процессы переноса в смесях в условиях подавления эффектов, связанных с наличием тяжести. Полученные при этом результаты имеют значение не только для фундаментальной науки, но и для различных отраслей промышленности».

На Земле проводить такого рода эксперименты слишком дорого и технически сложно. В космосе же эксперимент шел с 1 декабря 2013 г. в течение двух месяцев. Некоторые результаты были получены в режиме реального времени и их можно сразу анализировать, какие-то будут проанализированы после окончания эксперимента.

В состав международной исследовательской группы входят преподаватели, аспиранты и студенты ПГНИУ и ученые ИМСС (Россия), представители Комиссариата по атомной энергии (Гренобль, Франция), Высшей школы технической физики и химии (Париж) и Центра исследования микрогравитации Свободно-го университета Брюсселя (Бельгия).

Подводный кабель между континентами

«Бразильская государственная телекоммуникационная компания «Телебрас» (Telebras) объявила о начале реализации грандиозного проекта по прокладке подводного Интернет-кабеля, который свяжет Бразилию с Европой, – сообщил официальный представитель компании Роналд Валладан. – Работы по прокладке кабеля общей стоимостью 185 млн долларов начнутся в середине 2014 года и должны завершиться через 18 месяцев».

Для этого «Телебрас» совместно с испанской «ИслаЛинк СубмаринКэйблс» создают

совместное предприятие «Джей-Ви-Ко» (JVCo), в котором бразильским и испанским партнерам будут принадлежать 35 и 45%. 20% капитала, по плану, будут переданы бразильским инвестиционным фондам.

Новый Интернет-кабель «имеет стратегическое значение как для коммерческих интересов, так и с точки зрения безопасности». Сейчас Бразилия пользуется пятью подводными кабелями, четыре из которых связывают крупнейшую страну Южной Америки с территорией США. При этом единственный кабель, протянутый из Бразилии до Европы, практически полностью загружен голосовой телефонией. По данным «Телебрас», в настоящее время из каждых 600 интернет-соединений бразильских пользователей с Европой только одно осуществляется напрямую, а не через территорию США.

В прошлом году в отношениях Бразилии и Вашингтона наступило резкое охлаждение после появления разоблачительных публикаций, которые были основаны на информации, переданной в СМИ экс-сотрудником Агентства национальной безопасности США Эдвардом Сноуденом. Как выяснилось, американские спецслужбы осуществляли электронную слежку за высшим политическим руководством Бразилии, включая президента Дулму Роуссефф, дипломатами южноамериканской страны, а также государственной энергетической компанией «Петробрас» (Petrobras).

Для слежения за космическими угрозами

На базе Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук (САО РАН) в Карачаево-Черкесии летом запланировано начало работы системы мониторинга небесной сферы

с высоким временным разрешением. «Аналога такому комплексу в мире пока не существует, – считает руководитель группы релятивистской астрофизики САО Григорий Бескин. – Сейчас проводятся все необходимые подготовительные мероприятия. Надеемся, система будет введена в эксплуатацию в июне текущего года. Автоматизированная широкоугольная система обзора неба Mini-MegaTORTORA, разработанная сотрудниками САО, имеет большое поле зрения – около 900 квадратных градусов. Она может обнаружить движущийся космический объект на расстоянии вплоть до нескольких сотен тысяч километров от Земли».

Комплекс состоит из девяти объектов, каждый из которых снабжен детектором высокого временного разрешения (0,1 секунды) и способен с помощью плоского зеркала быстро изменять область неба, которую он наблюдает. Инструмент предназначен для исследования быстропеременных астрономических объектов, но может обнаруживать и космические тела, угрожающие Земле. Уникальность комплекса заключается в том, что он может не только обнаружить неожиданно появившийся источник излучения, в том числе и движущийся, но и очень быстро приступить к его изучению. «Система сочетает в себе широкое поле зрения, высокое временное разрешение и возможность исследования объекта буквально через несколько секунд после его обнаружения», – отметил Г. Бескин.

Для непрерывного наблюдения за всей небесной полусферой и максимально эффективного контроля за космическими телами, которые могут угрожать земной цивилизации, на территории России необходимо установить около 20 подобных систем, считает ученый.

Ученые зафиксировали рекордное для Земли ультрафиолетовое излучение

Исследователи США и Германии зафиксировали в Боливийских Андах рекордный уровень ультрафиолетового излучения на поверхности земли. Ультрафиолета там примерно в четыре раза больше, чем может вынести человек, и достаточно для нанесения сильнейшего ущерба всем биологическим организмам. О своих наблюдениях ученые сообщили в журнале *Frontiers in Environmental Science*. «Примечательно, что рекордные показатели уровня ультрафиолетового излучения были выявлены не в безлюдной Антарктиде, над которой давно зияют озоновые дыры, а в тропическом поясе, расположенном по соседству с деревьями и небольшими городами», – сообщила руководитель научного коллектива Натали А. Кэброл.

Кэброл и ее коллеги по НАСА и Институту SETI измеряли ультрафиолетовое излучение вокруг высокогорных озер в Андах в рамках астробиологического проекта по изучению «марсианских» ландшафтов на Земле. Дозиметры были установлены на вершине вулкана Ликанкабур (на границе Чили и Боливии, на высоте 5917 метров над уровнем моря) и у берегов близлежащего озера Лагуна-Бланка (4340 метров).

Полуденное солнце в зените, большая высота над уровнем моря, тонкий озоновый слой – все эти факторы объясняют высокую интенсивность ультрафиолетового излучения. При УФ-индексе более 8 врачи рекомендуют проводить под солнцем не более 10 минут, а 11 считается экстремальным показателем. Однако дозиметры зафиксировали средние показатели в 26, а в декабре 2003 года УФ-индекс вырос до 43. Вероятно, этот пик был связан с выбросом аэрозолей от бурь и пожаров, истончивших озоновый слой, а также с мощной вспышкой на Солнце,

зафиксированной в начале декабря. Хотя о степени воздействия выбросов солнечной энергии на ультрафиолетовое излучение ученые спорят, шквал заряженных частиц, рожденных вспышкой, мог повредить озоновый слой. Чрезмерное воздействие УФ-излучения отрицательно отражается не только на здоровье человека, но и на биосфере в целом. Оно повреждает ДНК, нарушает процессы фотосинтеза и снижает жизнеспособность яиц и личинок.

«Хотя в рекордном уровне ультрафиолета виноват «идеальный шторм» событий (стечение крайне неблагоприятных обстоятельств), что мешает ему повториться? Его причины сами по себе не представляют собой ничего исключительного. Необходимо более внимательно следить за озоновым слоем. Ведь вполне «марсианский» выброс ультрафиолета произошел в населенном районе», – заявила Кэброл.

Кто ты, снежный человек?

Загадку снежного человека удалось решить британским ученым: они считают, что он является разновидностью белого медведя.

Специалисты Оксфордского университета, проведя генетическое исследование около 20 фрагментов шерсти, собранной в разное время в различных районах Тибета, считают, что это реликтовый белый медведь, появившийся здесь около 40 тыс. лет назад и существующий, видимо, и в настоящее время. По словам профессора Брайн Сайкс, один из клочков шерсти, позволивший сделать такое утверждение о генетическом коде йети, был найден всего 10 лет назад в Бутане, что свидетельствует об обитании животного в Тибете до сих пор.

По материалам СМИ

УДК 621.75

А. В. КОРОЛЕВ¹, А. Н. ТЮРИН², А. А. КОРОЛЕВ¹

¹Саратовский государственный технический университет им. Ю. А. Гагарина

²Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ РЕЛАКСАЦИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОЛИАМИДНЫХ ИЗДЕЛИЯХ

Рассмотрены вопросы образования остаточных напряжений при отливке пластмассовых реборд в кольцах подшипников, релаксация которых вызывает непрерывную деформацию деталей подшипников во времени после их изготовления. Показано, что напряжения, вызванные механическим и температурным воздействием на деталь, релаксируют не прямо пропорционально времени. Для реализации способа ультразвуковой релаксации напряжений в жидкой среде специалистами СГТУ им. Ю. А. Гагарина, НПП НИМ и ОАО СПЗ был спроектирован и изготовлен автомат АСНУ-1. Установлено, что ультразвуковая релаксация остаточных напряжений обеспечивает одновременно более эффективное снижение остаточных напряжений, меньшую деформацию детали в процессе релаксации и сохранение ее исходной геометрической формы.

Ключевые слова: остаточные напряжения, ультразвуковая релаксация, подшипники качения.

Мақалада подшипниктердің сақиналарында пластмасса ребордты құю кезінде қалдық кернеудің пайда болуы, оларды дайындағаннан кейін пайда болатын подшипниктердің детальдарының үзіліссіз деформациясын тудыратын релаксация мәселелері қарастырылды. Детальға механикалық және температуралық әсер ету арқылы туындаған кернеу уақытқа тура пропорционалды емес релаксацияланады. Сұйық ортада ультрадыбыстық кернеудің релаксация әдісін жүзеге асыру үшін Ю.А. Гагарина атындағы СГТУ, НПП НИМ және ОАО СПЗ мамандары АСНУ-1 автоматының жобасын жасады және дайындап шығарды. Қалдық кернеудің ультрадыбыстық релаксациясы қалдық кернеулерді анағұрлым тиімді төмендетуді, релаксация үдерісінде деталь деформациясының азаюына және оны бастапқы геометриялық пішінін сақтауға бір уақытта қамтамасыз етеді.

Ключевые слова: қалдық кернеу, ультрадыбыстық релаксация, тербеліс подшипниктері.

In the paper problems of residual stresses forming were studied when casting of plastic flanges of bearing rings, relaxation of which causes continuous deformation of bearing parts in time after their manufacturing. It was shown that stresses, caused by mechanical and thermal effects on the produced product, relax not directly in proportional to time. To implement the method of ultrasonic stress relaxation in liquid medium, specialists of the Yu. A. Gagarin's SGTU NPP BAT and SDR JSC have designed and manufactured special automated device URA-1. It was established that ultrasonic relaxation of residual

stresses ensures at the same time more efficient residual stress decreasing, less deformation of details in a process of relaxation and its original geometry conservation.

Keywords: *residual stresses, ultrasonic relaxation, anti-friction bearings.*

Современная промышленность, в частности автомобилестроение, предъявляет высокие требования к сохранению полученных при изготовлении подшипников точностных и других эксплуатационных свойств в течение длительного времени.

После различных технологических операций изготовления подшипников (шлифование, доводка, термообработка и т.д.), а также от натяга при посадке на вал и при отливке на кольцах пластмассовых реборд в кольцах подшипников образуются остаточные напряжения, релаксация которых вызывает непрерывную деформацию деталей подшипников во времени после их изготовления. Поэтому нередко случаи, когда на входном контроле предприятия-заказчики отбраковывают часть приобретенных подшипников из-за выходящих за пределы допуска осевых зазоров, шумовых характеристик и т.п., а в адрес изготовителя поступают рекламации.

Одной из основных причин появления таких подшипников на товарном рынке является изменение геометрических размеров деталей подшипников – колец, роликов, осевых зазоров и т. п. уже после приема их ОТК подшипникового завода в результате упомянутой релаксации остаточных напряжений. Многочисленные работы по релаксации напряжений позволяют предположить, что напряжение, вызванное механическим и температурным воздействием на деталь, релаксирует не прямо пропорционально времени, как принято считать. Частично напряжения релаксируют за сравнительно короткий период времени, например в течение эксплуатационного срока службы деталей, приводя систему в равновесно-напряженное состояние, но оказывая отрицательное влияние на эксплуатационные показатели изделия, так как при этом меняются размеры детали. Затем происходит замедление релаксации во времени; и полная релаксация происходит за период времени, больший срока службы отдельной детали или машины, и потому не представляет никакого риска с точки зрения влияния на стабильность параметров эксплуатируемого изделия. Таким образом, остаточные напряжения, вызванные температурными или механическими воздействиями, можно условно разделить на самые неблагоприятные «быстро релаксируемые» и «медленно релаксируемые» составляющие. Очевидно, что ускоренное снижение «быстро релаксируемых» составляющих остаточных напряжений привело бы к частичной или полной стабилизации во времени размеров изготовленных подшипников, а возможно, и к улучшению их геометрической формы по сравнению с исходной.

В ОАО СПЗ, НПП НИМ, СГТУ им. Ю. А. Гагарина исследовали различные способы снижения остаточных напряжений: термические, криогенные, механические и ультразвуковые [1–4]. Свой выбор исследователи остановили на ультразвуковых способах снижения остаточных напряжений как наиболее перспективных. В проведенных исследованиях ультразвуковые колебания подводились к испытываемым деталям через жидкую среду и контактными способами.

Для реализации способа ультразвуковой релаксации напряжений в жидкой среде специалистами СГТУ им. Ю. А. Гагарина, НПП НИМ и ОАО СПЗ был спроектирован и изготовлен автомат АСНУ-1. Он оснащен технологическими средствами

для обработки наружных колец подшипников 2108-1006120-01, 2112-1006135-01, 6-830900AE2.91-01, 6-830900AE1.91-01, 6-830900AKE.91-01.

Кольца представляют собой комбинированную конструкцию, состоящую из металлической окончательно обработанной с заданными геометрическими параметрами части, на наружную поверхность которой наплавлены полиамидные реборды (рисунок 1). Под действием напряжений, возникающих при наплавке реборд, кольца деформируются и теряют свои первоначальные геометрические параметры. В результате этого подшипник в процессе работы приобретает повышенную вибрацию, снижается его долговечность.

Технические характеристики автомата АСНУ-1 приведены в таблице 1, кинематическая схема автомата – на рисунке 2.

Работа автомата заключается в следующем:

- обрабатываемые кольца с ребордами из полиамида скатываются по двум параллельным подводящим наклонным желобам *б* под действием собственного веса;
- толкатель *2*, связанный двумя тягами *5* со штоком пневмоцилиндра *4*, совершая возвратно-поступательные движения, поднимает обработанные кольца *1* (одновременно по два кольца) и перемещает их в зону выгрузки *7* и далее «проталкивает» кольца на два параллельных отводящих желоба *8*;
- при движении колец по наклонному желобу кольца проходят вдоль излучающей поверхности преобразователей – для каждого потока предусмотрен отдельный преобразователь;

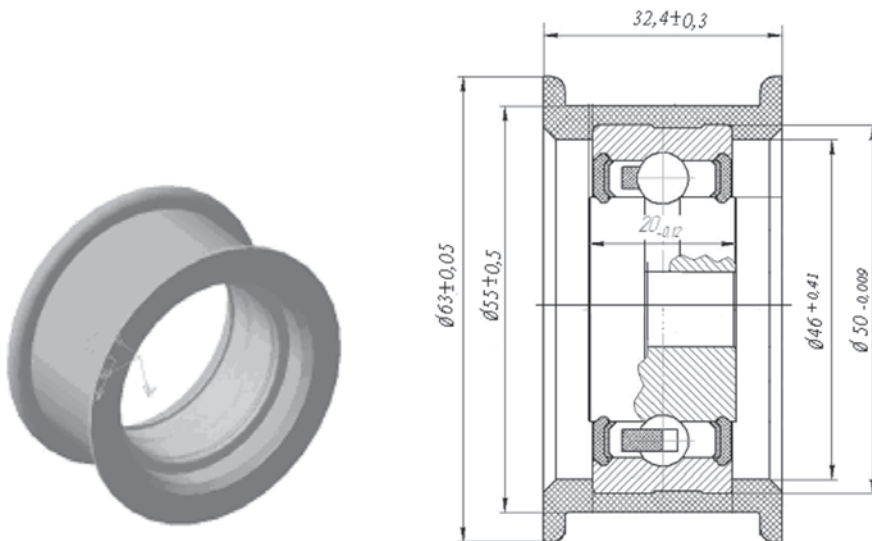


Рисунок 1 – Наружное кольцо подшипника 2108-1006120-01 с ребордами из полиамида

– регулированием временных интервалов подачи сжатого воздуха в пневмоцилиндр обеспечивают время нахождения каждой детали в зоне ультразвукового воздействия не менее 10 мин.

Таблица 1 – Основные технические характеристики автомата АСНУ-1

Параметры	Значение
Число позиций	1
Диаметр обрабатываемого кольца, мм:	
максимальный	75
минимальный	60
Высота обрабатываемого кольца, мм:	
максимальная	35
минимальная	23
Количество одновременно обрабатываемых колец	40
Рабочая частота ультразвуковых колебаний, кГц	18±7,5%
Рабочая среда (технологическая жидкость)	Водопроводная вода с антикоррозионными компонентами
Объем рабочей среды, л	80 – 90
Температура рабочей среды, °С	10 – 100
Мощность суммарная, кВт	7
Производительность (в зависимости от габаритных размеров кольца), колец в час	От 120 до 150
Климатическое исполнение	УХЛЧ по ГОСТ15150-69
Габаритные размеры автомата (без ультразвукового генератора): длина×ширина×высота, мм	2550×530×1700
Габаритные размеры генератора УЗГ-3/4: длина×ширина×высота, мм	500×272×1200

Для подтверждения стабилизирующего влияния ультразвуковой обработки на кольца с отлитыми на них ребордами из аррамида на установке АСНУ-1 были исследованы [1]:

– действие ультразвука на изменение диаметров бортика колец 2112-1006135-01;

– действие ультразвука на отклонение от круглости дорожки качения колец 2108-1006120 – 01;

– действие ультразвука на стабилизацию радиального зазора п/ш 2108-1006120 – 01, в которых кольца с ребордой обработаны ультразвуковыми колебаниями;

– действие ультразвука на стабилизацию общего уровня вибрации п/ш 2108-1006120 – 01.

В качестве примера на рисунке 3 приведена гистограмма средних значений отклонения от круглости дорожки качения колец 2108-1006120 – 01 до заливки реборды, после заливки реборды и после релаксации в течение 14 дней.

Как видно из рисунка 3, отклонения диаметра желоба у деталей, обработанных ультразвуком, либо стабилизируются, либо стремятся вернуться к отклонениям жело-

ба кольца до заливки реборды. Аналогичные результаты были получены и при других исследованиях.

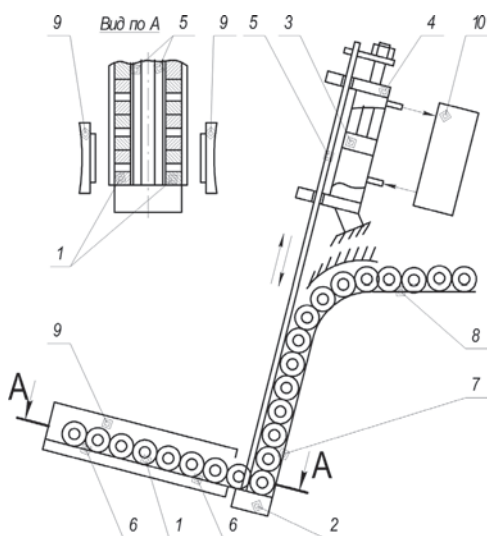


Рисунок 2 – Кинематическая схема автомата АСНУ-1:

- 1 – обрабатываемые кольца; 2 – толкатель (подъемник); 3 – поршень;
4 – пневмоцилиндр; 5 – тяга (две штуки); 6 – подводящий желоб;
7 – зона выгрузки; 8 – отводящий желоб; 9 – преобразователь

Испытания релаксации остаточных напряжений контактным способом [2, 3] проводились на кольцах 206-01Б, взятых после шлифования по наружному и внутреннему диаметрам и предварительного шлифования желоба.

Согласно разработанной методике в качестве исследуемых факторов принимались:

D_k — наружный диаметр колец;

V_k — отклонения от некруглости желоба по наименьшему диаметру;

H_m — твердость материала.

Ультразвуковая обработка колец осуществлялась в лаборатории НПП НИМ на опытной установке для проведения МЭР по отработке технологии стабилизации. При этом сравнивали три группы колец, из которых первую группу колец обрабатывали по заводской технологии дополнительного отпуска (отпуск при температуре 150°C в печи в течение 3 ч), вторую группу – по усредненным режимам ультразвуковой обработки и третья контрольная группа не подвергалась никаким видам обработки.

Для определения остаточных напряжений была принята следующая методика. В исследуемых образцах (кольцах) измеряли наружный диаметр с точностью до 1 мкм. Затем кольца разрезали и находили их наружный диаметр в плоскости, перпендикулярной резу. При этом под действием внутренних напряжений в материале кольца его наружный диаметр изменялся — уменьшался или увеличивался в зависимости от знака напряжения до положения статического равновесия.

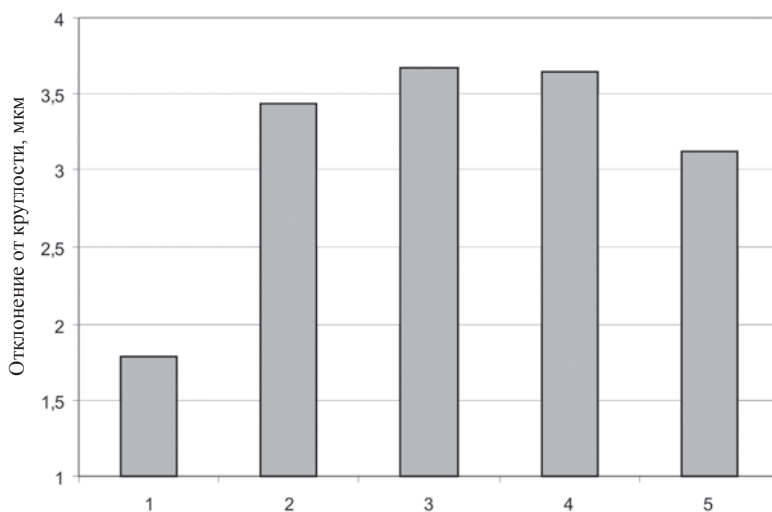


Рисунок 3 – Средние значения отклонения от круглости колец 2108-1006120 – 01: 1 – до отливки реборды; 2 – после отливки реборды; 3 – после 14 дней контрольных колец; 4 – после ультразвуковой обработки; 5 – спустя 14 дней после ультразвуковой обработки

После разрезания кольцо представляет собой упругий элемент, характеризующийся величиной жесткости. Определив жесткость кольца и зная величину изменения его наружного диаметра, можно подсчитать остаточные напряжения в материале кольца.

Жесткость колец находили экспериментально на установке для определения коэффициентов трения в материалах. Работа проводилась в лаборатории кафедры деталей машин СГТУ.

На основании усредненных значений величины изменения наружного диаметра после разрезки колец с учетом усредненной жесткости колец вычислены действующие нагрузки и напряжения в материале колец по всем группам образцов.

В таблице 2 приведены значения средних величин контролируемых параметров и остаточных напряжений в кольцах после дополнительного отпуска, ультразвуковой стабилизации на средних режимах и в кольцах контрольной группы.

Таблица 2 – Средние величины контролируемых параметров и остаточных напряжений после различных видов обработки

Обработка	Изменение наружн. диаметра ΔD , мкм	Изменение некругл. ΔV , мкм	Изменение твердости ΔH , HRC _s	Разность диаметров до и после разрезки ΔD , мкм	Сила от внутрен. напряжений, Н	Внутрен. напряжения σ , Н/мм ²
1	2	3	4	5	6	7
Отпуск в печи при 150°C в течение 3 ч	0,0017	0,48	-0,19	-16,66	4,298	12,39

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7
Ультразвуковая обработка: $\delta=0,3$ мм; $A=10$ мкм; $t=15$ с	0,00	0,263	0,00	-10,66	2,455	7,5
Контрольная группа (необработанные)	0,0001	0,086	-0,18	-21,6	5,302	15,30

Из таблицы 2 следует, что ультразвуковая обработка обеспечивает лучшие показатели по всем принятым в программе контролируемым показателям:

– после ультразвуковой обработки наружный диаметр кольца не изменяется, тогда как после дополнительного отпуска увеличивается в среднем на 1–2 мкм;

– по сравнению с дополнительным отпуском после ультразвуковой обработки отклонение от круглости колец уменьшается в 1,8 раза;

– ультразвуковая обработка повышает твердость материала кольца в среднем на 0,18-0,19 единицы HRC₃ по сравнению с дополнительным отпуском и контрольной группой колец соответственно;

– ультразвуковая обработка обеспечивает более эффективное снятие напряжений (в среднем в 1,41 раза) по сравнению с дополнительным отпуском (см. таблицу 2).

Следует подчеркнуть, что ультразвуковая релаксация остаточных напряжений обладает удивительным свойством: она обеспечивает одновременно и более эффективное снижение остаточных напряжений, и меньшую деформацию детали в процессе релаксации, сохранение ее исходной геометрической формы.

Таким образом, ультразвуковая релаксация остаточных напряжений позволяет эффективно заменить традиционный способ релаксации в печах и обеспечивает существенное снижение трудоемкости изготовления деталей, энергозатрат и повышение качества обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1 Болкунов В.В., Слесарев С.В., Королев А.В., Королев А.А. Ультразвуковая стабилизация размеров колец подшипников с пластмассовыми ребрами // СТИН. – 2006. – №9. – С. 38-40.

2 Способ вибростарения деталей / Королев А.В., Чистяков А.М., Кривого В.А., Моисеев Г.Н. Патент РФ № 2140842. Бюл. №8 20.03.99.

3 Королев А.В., Чистяков А.М., Кривого В.А., Моисеев В.Г. Технология виброобработки деталей подшипников // Прогрессивные направления развития технологии машиностроения: Межвуз. науч. сб. – Саратов: СГТУ, 1997. – С.4–11.

4 Тюрин А.Н., Тюрин Н.А. Ультразвуковая импульсная упрочняюще-чистовая обработка шеек коленчатых валов // Актуальные достижения европейской науки. – Прага, 2012. – Т. 27. – С. 22–28.

5 Тюрин А.Н. Повышение ресурса работы шеек коленчатых валов за счет релаксации остаточных напряжений // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2012. – №8. – С.3–6.

**Б. К. СИНЧЕВ¹, А. М. МУХАНОВА², А. С. НУРЛЫБАЕВА¹,
А. О. ТУРСЫНХАНОВА¹**

¹Международный университет информационных технологий

²Алматинский технологический университет

ОБЩИЙ АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КИНЕМАТИКИ МЕХАНИЗМА АССУРА ВЫСОКИХ КЛАССОВ С РАЗЛИЧНЫМИ ПАРАМИ

Рассматриваются плоские рычажные механизмы Ассура высоких классов. Разработан алгоритм и написана программа на языке JAVA по определению положений выходных звеньев механизма IV класса с вращательными и поступательными парами и двумя степенями свободы. Проведен вычислительный эксперимент на основе модельного механизма IV класса, который подтвердил эффективность и достоверность разработанного алгоритма. Этот алгоритм позволяет провести кинематический расчет механизмов с наперед заданной точностью, скорость выполнения программы минимальна. Результаты рекомендованы для проектирования новых механизмов и машин на базе механизма Ассура высокого класса.

Ключевые слова: механизм, рычаг, класс, эксперимент, программа.

Мақалада жазықтық рычагты Ассур жоғарғы класс механизмдері қарастырылған. IV класс механизм кинематика есептерінің ортақ алгоритмы құрылды. JAVA тілінде айналмалы және үдемелі жұп IV класс механизм үзбелерінің жағдайларының орналасуын анықтайтын бағдарлама жазылды. Келтірілген мысалдың негізінде есептеуші тәжірибе жүргізілді. Бұл тәжірибе құрылған алгоритмнің дұрыстығын және тиімділігін дәлелдейді. Алгоритм алдын ала берілген нақтылықпен кинематикалық есеп жүргізуге мүмкіндік береді және бағдарламаның есептеу жылдамдығы минималды. Нәтижелер Ассур жоғарғы класс механизмінің негізінде жаңа механизмдер мен машиналар проектилеуге ұсынылады.

Кілттік сөздер: механизм, рычаг, класс, тәжірибе, бағдарлама.

In this paper plain linkage Assur's mechanisms of high class were studied. The common algorithm was worked out and program was written on JAVA language on determination of positions of output elements of the IV class mechanisms with rotating and rectilinear pairs and two degrees of freedom. Simulation experiment was carried based on model mechanism of the IV class, which confirmed efficiency and reliability of worked out algorithm. This algorithm allows carrying out of kinematical calculation of mechanisms with prescribed accuracy, and rate of computing is minimal. The results were recommended for designing of new mechanisms and machines based on Assur's mechanism of the high class.

Keywords: mechanism, lever, class, experiment, program.

Введение. Исследование кинематики плоских рычажных механизмов Ассура начинается с нахождения вещественных решений системы тригонометрических уравнений, описывающих положения звеньев механизма.

Среди известных методов анализа кинематики механизмов высоких классов (МВК) к наиболее эффективным относится метод условных обобщенных координат [2]. Метод условных обобщенных координат сводит исходную систему тригонометрических уравнений к одному (для групп Ассура высоких классов с неравномерно распределенными поводками) или двум (для групп Ассура высоких классов с равномерно распределенными поводками) нелинейным тригонометрическими уравнениям.

Число сборок групп Ассура высоких классов определяется приближенно на основе геометрической интерпретации функций невязок [2]. Метод Э. Пейсаха преобразует систему тригонометрических уравнений к одному алгебраическому уравнению соответствующей степени путем многократного использования тригонометрического тождества $\sin^2\varphi + \cos^2\varphi = 1$. Решение алгебраического уравнения легче и предпочтительнее решения нелинейного тригонометрического уравнения, полученного по методу условных обобщенных координат с помощью математического программирования. Число вещественных решений алгебраического уравнения устанавливается на основе теоремы Штурма. Ограниченность возможностей этих методов заключается в том, что они не используют информацию о вещественности решений, кратности корней, диапазонах их изменений и др., а также не отвечают на принципиальный вопрос о существовании одной изборок группы Ассура и ее непосредственного поиска.

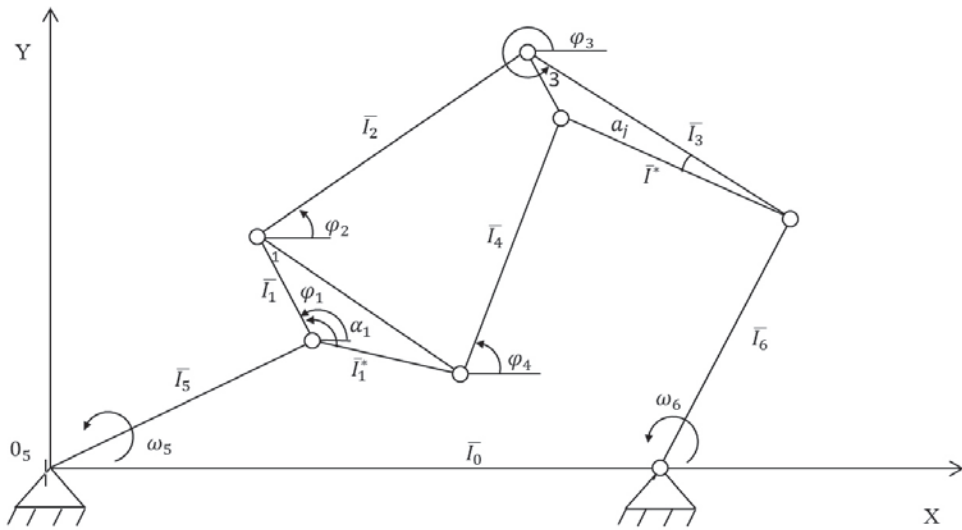
Излагаемый аналитический метод определения числаборок и положений звеньев МВК основан на сведении системы векторных уравнений, описывающих независимые замкнутые контура механизма, к специальной системе векторных уравнений с помощью векторного способа исключения переменных, который опирается на свойства векторов, и скалярного произведения. Причем число неизвестных в специальной системе в два раза меньше, чем в исходной системе тригонометрических уравнений. Далее специальная система векторных уравнений записывается в декартовой прямоугольной системе координат, т.е. в скалярной форме. Затем, применяя тригонометрическое тождество $\sin^2\varphi + \cos^2\varphi = 1$ или универсальную подстановку $\cos\varphi = (1 - u^2) / (1 + u^2)$, $\sin\varphi = 2u / (1 + u^2)$, переходим к системе квадратных уравнений (число уравнений равно количеству независимых векторных контуров), а не к одному алгебраическому уравнению, как это было сделано в работе Э. Пейсаха. Такова суть метода определения кинематических параметров, механизмов высоких классов, который опубликован в работе [3].

В настоящей статье предлагается общий алгоритм решения задачи кинематики механизмов Ассура III и IV классов.

Постановка задачи. Векторные уравнения кинематики для механизма с группой Ассура IV класса и двумя степенями свободы представимы в виде

$$\begin{aligned} \vec{l}_1 + \vec{l}_2 + \vec{l}_3 + \vec{l}_5 - \vec{l}_6 - \vec{l}_0 &= 0, \\ \vec{l}_1^* + \vec{l}_3^* + \vec{l}_4 + \vec{l}_5 - \vec{l}_6 - \vec{l}_0 &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

где \vec{l}_i , $i = \overline{1,4}$, \vec{l}_j , $j = \overline{5,6}$. Звездочка означает принадлежность вектора \vec{l}_i^* i -му базисному звену. На рисунке изображен механизм IV класса с вращательными кинематическими парами и одной степенью свободы ($l_6 = 0$). В случае замены базисного звена 3 на ползун получим механизм с различными кинематическими парами.



Механизм с группой Ассура IV класса

Ставится задача найти положения выходных звеньев группы Ассура IV класса при заданных значениях обобщенных координат входных звеньев и размерных параметров:

$$\varphi_i = \varphi_i(\varphi_5, \varphi_6, P), \quad i = \overline{1, 4},$$

где $P = \{l_1, l_1^*, l_2, l_3, l_3^*, l_4, l_5, l_6, \alpha_1, \alpha_3, l_0, \varphi_0\}$.

Векторные уравнения (1) МВК представимы в проекциях как система трансцендентных уравнений:

$$\begin{aligned} l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2 + (l_3 + l_3^*) \cos \varphi_3 + l_5 \cos \varphi_5 - l_6 \cos \varphi_6 - l_0 &= 0, \\ l_1 \sin \varphi_1 + l_2 \sin \varphi_2 + (l_3 + l_3^*) \sin \varphi_3 + l_5 \sin \varphi_5 - l_6 \sin \varphi_6 &= 0, \\ l_1^* \cos(\varphi_1 - \alpha_1) + l_3^* \cos \varphi_3 + l_4 \cos \varphi_4 + l_5 \cos \varphi_5 - l_6 \cos \varphi_6 - l_0 &= 0, \\ l_1^* \sin(\varphi_1 - \alpha_1) + l_3^* \sin \varphi_3 + l_4 \sin \varphi_4 + l_5 \sin \varphi_5 - l_6 \sin \varphi_6 &= 0, \end{aligned} \quad (2)$$

где φ_3 – константа, с неизвестными искомыми $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_4$ и l_3^* для механизма, изображенного на рисунке. В этих уравнениях каждый член состоит из двух множителей, один из которых является модулем соответствующего вектора, а другой содержит угол его наклона. Таким образом, в качестве искомой переменной для вращательной и поступательной пар будут угол и модуль соответственно.

Решение задачи. Для векторного подхода из первого уравнения системы векторных уравнений определяем $\overline{l_2}$, а из второго – $\overline{l_4}$, то есть

$$\begin{aligned}\vec{l}_2 &= -(\vec{l}_1 + \vec{l}_3) - (\vec{l}_5 - \vec{l}_6 - \vec{l}_0), \\ \vec{l}_4 &= -(\vec{l}_1^* + \vec{l}_3^*) - (\vec{l}_5 - \vec{l}_6 - \vec{l}_0).\end{aligned}\quad (3)$$

Далее, применяя скалярное произведение, имеем:

$$\begin{aligned}(\vec{l}_2)^2 &= (\vec{l}_1 + \vec{l}_3)^2 + 2(\vec{l}_1 + \vec{l}_3)(\vec{l}_5 - \vec{l}_6 - \vec{l}_0) + (\vec{l}_5 - \vec{l}_6 - \vec{l}_0)^2, \\ (\vec{l}_4)^2 &= (\vec{l}_1^* + \vec{l}_3^*)^2 + 2(\vec{l}_1^* + \vec{l}_3^*)(\vec{l}_5 - \vec{l}_6 - \vec{l}_0) + (\vec{l}_5 - \vec{l}_6 - \vec{l}_0)^2.\end{aligned}\quad (4)$$

После несложных преобразований этой системы для нахождения векторов \vec{l}_1 и \vec{l}_1^* получим специальную систему векторных уравнений вида:

$$\begin{aligned}2(\vec{l}_3 + \vec{l}_5 - \vec{l}_6 - \vec{l}_0)\vec{l}_1 &= l_2^2 - l_1^2 - l_3^2 - (\vec{l}_5 - \vec{l}_6 - \vec{l}_0)^2 - 2\vec{l}_3(\vec{l}_5 - \vec{l}_6 - \vec{l}_0), \\ 2(\vec{l}_3^* + \vec{l}_5 - \vec{l}_6 - \vec{l}_0)\vec{l}_1^* &= l_4^2 - l_1^{*2} - l_3^{*2} - (\vec{l}_5 - \vec{l}_6 - \vec{l}_0)^2 - 2\vec{l}_3^*(\vec{l}_5 - \vec{l}_6 - \vec{l}_0).\end{aligned}\quad (5)$$

Здесь необходимо отметить, что \vec{l}_1^* связан с \vec{l}_1 , а \vec{l}_3^* – с \vec{l}_3 , l_i – модуль вектора \vec{l}_i , $\vec{l}_i \cdot \vec{l}_i$ и $(\vec{l}_i + \vec{l}_j)^2$ понимаются как скалярные произведения векторов. В системе (5) исключены вектора \vec{l}_2 и \vec{l}_4 . Приведем (5) к удобной форме:

$$\begin{aligned}A_1 x_1 + B_1 y_1 &= C_1, \\ A_2 x_1 + B_2 y_1 &= C_2, \\ x_1^2 + y_1^2 &= 1,\end{aligned}\quad (6)$$

где

$$\begin{aligned}A_1 &= 2(l_3 x_3 + l_5 x_5 - l_6 x_6 - l_0)l_1, & B_1 &= 2(l_3 y_3 + l_5 y_5 - l_6 y_6)l_1, \\ C_1 &= l_2^2 - l_1^2 - l_3^2 - (l_5 x_5 - l_6 x_6 - l_0)^2 - (l_5 y_5 - l_6 y_6)^2 - \\ &\quad - 2l_3 x_3 (l_5 x_5 - l_6 x_6 - l_0) - 2l_3 y_3 (l_5 y_5 - l_6 y_6), \\ A_2 &= 2(l_3^* x_3^* + l_5 x_5 - l_6 x_6 - l_0)l_1^* \cos \alpha_1 - 2(l_3^* y_3^* + l_5 y_5 - l_6 y_6)l_1^* \sin \alpha_1, \\ B_2 &= 2(l_3^* x_3^* + l_5 x_5 - l_6 x_6 - l_0)l_1^* \sin \alpha_1 + 2(l_3^* y_3^* + l_5 y_5 - l_6 y_6)l_1^* \cos \alpha_1, \\ C_2 &= l_4^2 - l_1^{*2} - l_3^{*2} - (l_5 x_5 - l_6 x_6 - l_0)^2 - (l_5 y_5 - l_6 y_6)^2 - \\ &\quad - 2l_3^* (l_5 x_5 - l_6 x_6 - l_0)x_3^* - 2l_3^* (l_5 y_5 - l_6 y_6)y_3^*. \\ x_1^* &= \cos \alpha_1 x_1 + \sin \alpha_1 y_1, & y_1^* &= \sin \alpha_1 x_1 - \cos \alpha_1 y_1, \\ x_3^* &= \cos \alpha_3 x_3 + \sin \alpha_3 y_3, & y_3^* &= \sin \alpha_3 x_3 - \cos \alpha_3 y_3, .\end{aligned}\quad (7)$$

Переход к системе квадратных уравнений необходим для выделения вещественных решений нелинейной системы (6):

$$(A_i + C_i)u^2 - 2B_i u + C_i - A_i = 0, \quad i = 1, 2, \quad (8)$$

где

$$x_1 = \frac{1-u^2}{1+u^2}, \quad y_1 = \frac{2u}{1+u^2}.$$

Определим дискриминанты квадратных уравнений (8):

$$D_i = A_i^2 + B_i^2 - C_i^2, \quad i = 1, 2. \quad (9)$$

Для вещественности решений системы (6) и квадратных уравнений (8) необходимо и достаточно, чтобы

$$D_i \geq 0. \quad (10)$$

Таким образом, можно представить общий алгоритм решения задачи кинематики механизма Ассур IV класса в следующем виде:

Алгоритм решения задачи кинематики МВК.

Шаг 1. Ввод размерных параметров: длины звеньев $-l_0, l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_1^*, l_3^*$, углы звеньев 1 и 3 $-\alpha_1, \alpha_3$. Диапазон изменения угловой координаты входного звена 5: $\varphi_5^{\min}, \varphi_5^{\max}$. Возможный диапазон изменения угловой координаты входного звена 3: $\varphi_3^{\min}, \varphi_3^{\max}$. Шаг итерации $-h$, точность $-\varepsilon$, определитель $-H$. Также здесь мы используем признак IN , который показывает, что найдено решение задачи кинематики.

Шаг 2. Задаем начальные приближения для внешнего цикла $\varphi_5 = \varphi_5^{\min}$ и внутреннего цикла $\varphi_3 = \varphi_3^{\min}$.

Шаг 3. Вычисляем коэффициенты A_1, B_1, C_1 :

$$A_1 = l_1 l_3 \cos \varphi_3 + l_1 l_0 \cos \varphi_0 + l_1 l_5 \cos \varphi_5, \quad B_1 = l_1 l_3 \sin \varphi_3 + l_1 l_0 \sin \varphi_0 + l_1 l_5 \sin \varphi_5,$$

$$C_1 = \frac{1}{2(l_0^2 + l_1^2 + l_3^2 + l_5^2 - l_2^2)} + l_0 l_3 \cos(\varphi_3 - \varphi_0) l_3 l_5 \cos(\varphi_5 - \varphi_3) - l_0 l_5 \cos(\varphi_5 - \varphi_0).$$

Шаг 4. Проверяем номер сборки n .

Если $n = 1$, то $\varphi_3^* = \varphi_3 - \alpha_3$, если $n = 2$, то $\varphi_3^* = \varphi_3 + \alpha_3$.

$$A = l_1^* l_3^* \cos \varphi_3^* + l_0^* l_1^* \cos \varphi_0^* - l_1^* l_5^* \cos \varphi_5^*, \quad B = l_1^* l_3^* \sin \varphi_3^* + l_0^* l_1^* \sin \varphi_0^* - l_1^* l_5^* \sin \varphi_5^*,$$

$$C_2 = 0,5(l_0^2 + l_1^{*2} + l_3^{*2} + l_5^2 - l_2^2) + l_0^* l_3^* \cos(\varphi_3^* - \varphi_0) - l_3^* l_5 \cos(\varphi_5 - \varphi_3^*) - l_0 l_5 \cos(\varphi_5 - \varphi_0).$$

Шаг 5. Если номер сборки $n = 1$, то $A_2 = A \cos \alpha_1 + B \sin \alpha_1$, $B_2 = B \cos \alpha_1 + A \sin \alpha_1$.

Если номер сборки $n = 2$, то $A_2 = A \cos \alpha_1 + B \sin \alpha_1$, $B_2 = B \cos \alpha_1 + A \sin \alpha_1$.

Шаг 6. Вычисляем определитель $H = A_1 B_2 - A_2 B_1 \neq 0$ дискриминанты D_1, D_2 . Коэффициенты вычисляются по формуле (7):

$$\begin{cases} D_1 = A_1^2 + B_1^2 - C_1^2, \\ D_2 = A_2^2 + B_2^2 - C_2^2, \\ H = A_1 B_2 - A_2 B_1. \end{cases}$$

Шаг 7. Проверка $D_1 \geq 0$, $D_2 \geq 0$, $H \neq 0$. Если условия выполняются: x_1, y_1 ,

$$x_1 = \frac{C_1 B_2 - C_2 B_1}{H}, \quad y_1 = \frac{A_1 C_2 - A_2 C_1}{H}, \quad R_1 = x_1^2 + y_1^2 - 1, \quad \varphi_2 = \varphi_2^{\min} + h.$$

Шаг 8. Вычисляем $A_1, B_1, C_1, A_2, B_2, C_2, H_1, D_1, D_2$.

Шаг 9. Проверка $D_1 \geq 0$, $D_2 \geq 0$, $H_1 \neq 0$. Если условия выполняются:

$$x_1 = \frac{C_1 B_2 - C_2 B_1}{H}, \quad y_1 = \frac{A_1 C_2 - A_2 C_1}{H}, \quad R_2 = \overline{x_1^2} + \overline{y_1^2} - 1.$$

Если условия не выполняются, переходим к шагу 12, иначе

Шаг 10. Проверка $R_1 * R_2 < 0$. Если да, то существует корень. Запоминаем

$$\varphi_1 = \arctg \frac{y_1}{x_1}, \quad x_1 = \frac{x_1 + \overline{x_1}}{2}, \quad y_1 = \frac{y_1 + \overline{y_1}}{2}; \quad x_5 = \cos \varphi_5, \quad y_5 = \sin \varphi_5;$$

$$x_3 = \cos(\varphi_3^{\min} + h), \quad y_3 = \sin(\varphi_3^{\min} + h); \quad x_2 = \frac{(-l_1 \cos \varphi_1 + l_3 \cos \varphi_3 - l_5 \cos \varphi_5 + l_0 \cos \varphi_0)}{l_2},$$

$$y_2 = \frac{(-l_1 \sin \varphi_1 + l_3 \sin \varphi_3 - l_5 \sin \varphi_5 + l_0 \sin \varphi_0)}{l_2}; \quad x_3^* = \cos(\varphi_3^{\min} + h - \alpha_3),$$

$$y_3^* = \sin(\varphi_3^{\min} + h - \alpha_3);$$

$$x_4 = \frac{-l_1^* \cos(\varphi_1 + \alpha_1) + l_3^* \cos(\varphi_3 + \alpha_3) - l_5 \cos \varphi_5 + l_0 \cos \varphi_0}{l_4},$$

$$y_4 = \frac{-l_1^* \sin(\varphi_1 + \alpha_1) + l_3^* \sin(\varphi_3 + \alpha_3) - l_5 \sin \varphi_5 + l_0 \sin \varphi_0}{l_4},$$

$\varphi_3^{\min} = \varphi_3$ – последнее значение (ист.)

Вывод на печать (экран) и сохранение результатов.

Шаг 11. $\varphi_3 = \varphi_3^{\min} + h$.

Шаг 12. Проверяем $\varphi_3 = \varphi_3^{\min} + h$, проверка $IN = 1$, если да, переходим к шагу 13, если нет, переходим к шагу 12^а.

Шаг 12^а. $\varphi_3 \leq \varphi_3^{\max}$, если условие не выполняется, переходим к шагу 13.

Шаг 13. $\varphi_5 = \varphi_5^{\min} + h$, $IN = 0$.

Шаг 14. Проверка $\varphi_5 \leq \varphi_5^{\max}$, если да, возвращаемся к шагу 3.

Шаг 15. Конец.

Пример. Для механизма IV класса с вращательными кинематическими парами проведен вычислительный эксперимент. Постоянные параметры механизма имеют следующие значения: $l_0 = 10$, $\varphi_0 = 0$, $l_1 = 2$, $l_1^* = 2$, $l_2 = 8,268$, $l_3 = l_3^* = 5$, $l_4 = 5,92$, $l_5 = 8,944$, $\alpha_1 = 60^\circ$, $\alpha_3 = 30^\circ$, $\varphi_1 = 30^\circ$, $\varphi_2 = 0^\circ$, $\varphi_3 = 90^\circ$, $\varphi_3^* = 120^\circ$, $\varphi_4 = 13^\circ$, $\varphi_5 = 90^\circ$, $\varphi_1^* = \varphi_1 - \alpha_1$, $\varphi_3^* = \varphi_3 + \alpha_3$.

Заключение. Проектирование машин и механизмов с уникальными характеристиками требует использования нового типа механизмов, таких, как механизмы Ассура высоких классов, поэтому нами предложен новый подход к исследованию кинематики механизмов высоких классов. На основе полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Впервые получены необходимые и достаточные условия существования вещественных решений системы тригонометрических уравнений, описывающих положения звеньев МВК.

2. Разработан общий алгоритм решения задачи кинематики МВК.

3. Написана программа на языке JAVA по определению положений выходных звеньев механизма IV класса и приведен модельный пример.

4. Разработанная программа осуществляет кинематический расчет МВК с любой заданной точностью.

5. Результаты рекомендованы для точного расчета кинематических параметров механизмов Ассура III и IV классов.

ЛИТЕРАТУРА

1 Артоболовский И.И. Теория механизмов и машин. – М.: Наука, 1982. – 640 с.

2 Джолдасбеков У.А. Графоаналитические методы анализа и синтеза механизмов высоких классов. – Алма-Ата: Ғылым, 1983. – 255 с.

3 Синчев Б. Кинематический анализ плоских рычажных механизмов // Доклады НАН РК. – 2003. – №3. – С. 39–44.

Ю. М. ДРАКУНОВ, А. Ж. СЕЙДАХМЕТ, И. Р. БИСМИЛЬДИН

Казахский национальный университет им. аль-Фараби

ОПТИМАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ ШАРНИРНОГО ЧЕТЫРЕХЗВЕННИКА ПО КОЭФФИЦИЕНТУ ИЗМЕНЕНИЯ СРЕДНЕЙ СКОРОСТИ КОРОМЫСЛА И ЕГО МОДЕЛИРОВАНИЕ В СИСТЕМЕ INVENTOR

Описано решение задачи синтеза шарнирного четырехзвенника по крайним положениям шатуна. Синтезируемый шарнирный четырехзвенник имеет три взаимно независимых параметра, два из трех параметров являются вычисляемыми, а один – свободным параметром. Решена оптимизационная задача: найдено оптимальное значение свободного параметра, при котором экстремальный угол передачи принимает максимально возможное значение. Приведен текст программы для создания твердотельной сборки в системе Autodesk Inventor.

Ключевые слова: автоматизация, задачи синтеза, моделирование, четырехзвенник, параметры.

Мақалада шатунның шеткі орналасуы бойынша топсалы төрт звеноның синтезі есептерін шешу сипатталған. Синтезделетін топсалы төрт звеноның өзара тәуелсіз үш параметрлері бар, үш параметрлердің екеуі есептеуіш, ал біреуі еркін параметр болып табылады. Оңтайлы есептеу шешілді: экстремалды беру бұрышы максималды түрде мүмкін мәнді қабылдау кезінде, еркін параметрдің оңтайлы мәні табылды. Autodesk Inventor жүйесінде қатты делелерді жинауды жаңсау үшін бағдарлама мәтіні келтірілді.

Кілттік сөздер: автоматтандыру, синтез есептері, модельдеу, төрт звено, параметрлер.

In the paper solving problem of synthesis of four-bar linkage by extreme position of rod is presented. Synthesized four-bar linkage has three mutually independent parameters, two of which are calculated and one is free parameter. Optimization problem was solved: optimal value of free parameter was found such that extreme angle of transmission takes maximum value. Program for creation of solid-state assembly in Autodesk Inventor system was presented.

Keywords: automation, problem of synthesis, simulation, four-bar linkage, parameters.

В этой статье предлагается решение задачи оптимального синтеза шарнирного четырехзвенника по определению всех параметров механизма с учетом обеспечения оптимального угла давления. Задача относится к динамическому синтезу и является важной для оценки работоспособности всего механизма. Процесс проектирования механизма шарнирного четырехзвенника включает в себя его синтез с определением длин звеньев, создание трехмерной твердотельной модели и компьютерной сборки, получение параметров звеньев и чертежей механизма. Описана программа, позволяющая провести синтез механизма шарнирного четырехзвенника и создать трехмерную твердотельную модель при реализации одной программы. Дальнейшая передача схемы механизма и его твердотельное моделирование в системе Inventor позволяют проводить силовые и динамические расчеты над виртуальной моделью оптимального механизма. Ниже приведены основные этапы проектирования, реализованные в программе.

По заданным углам размаха кривошипа, шатуна и коэффициенту изменения средней скорости коромысла необходимо решить задачу оптимального синтеза, т.е. определить геометрические размеры звеньев механизма, а также экстремальный угол передачи.

На рисунке 1 показан шарнирный четырехзвенный механизм.

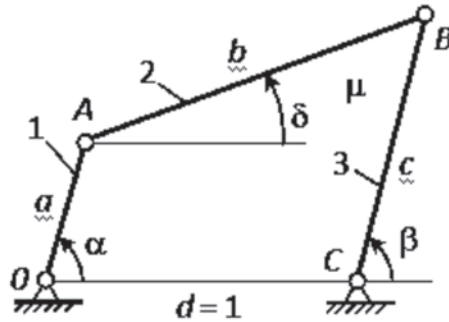


Рисунок 1 – Шарнирный четырехзвенный механизм: 1 – кривошип, 2 – шатун, 3 – коромысло; a – длина кривошипа, b – длина шатуна, c – длина коромысла (длина стойки принята равной 1); α – угловая координата звена 1, δ – угловая координата звена 2, β – угловая координата звена 3, μ – угол передачи

Составим уравнения геометрического анализа шарнирного четырехзвенника, изображенного на рисунке 1:

$$\begin{cases} a \cos \alpha + b \cos \delta = 1 + c \cos \beta, \\ a \sin \alpha + b \sin \delta = c \sin \beta. \end{cases} \quad (1)$$

Дифференцируя уравнения (1) по входной координате α , получаем

$$\begin{cases} -a \sin \alpha - b \sin \delta \cdot \delta' = -c \sin \beta \cdot \beta', \\ a \cos \alpha + b \cos \delta \cdot \delta' = c \cos \beta \cdot \beta'. \end{cases} \quad (2)$$

где $\delta' = \frac{d\delta}{d\alpha}$, $\beta' = \frac{d\beta}{d\alpha}$ – аналоги угловых скоростей.

Из уравнений (2) найдем:

$$\frac{\partial \delta}{\partial \alpha} = \frac{-ac \sin(\alpha - \beta)}{bc \sin(\delta - \beta)} = 0, \quad (3)$$

$$\frac{\partial \beta}{\partial \alpha} = \frac{ab \sin(\delta - \alpha)}{bc \sin(\delta - \beta)} = 0.$$

В крайних положениях шатуна $\delta' = 0$. Тогда на основании первой из формул (3) получаем

$$\sin(\alpha_i - \beta_i) = 0, \quad i = 1, 2, \quad (4)$$

где α_i, β_i – значения углов α и β в тех двух положениях механизма, когда шатун 2 занимает крайние положения. Отсюда следует, что в крайних положениях шатуна звенья 1 и 3 взаимно параллельны, то есть

$$\begin{cases} \alpha_1 = \beta_1 \\ \alpha_2 = \beta_2 + \pi \end{cases} \quad (5)$$

На рисунке 2 изображен шарнирный четырехзвенник в двух крайних положениях шатуна.

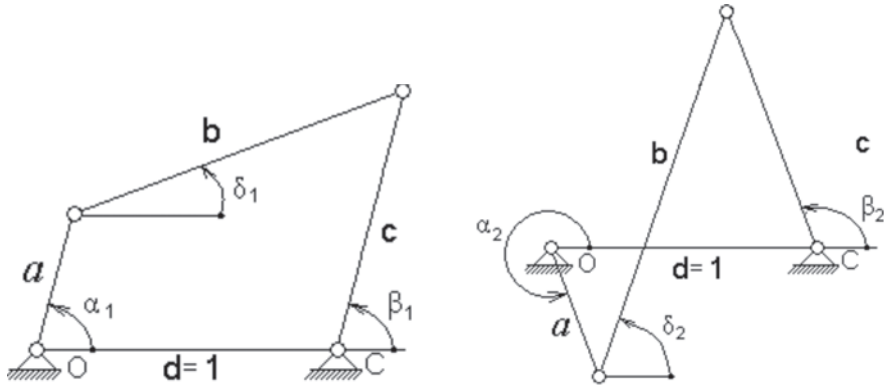


Рисунок 2 – Шарнирный четырехзвенник в крайних положениях шатуна

В двух крайних положениях шатуна уравнения (1) примут следующий вид:

$$\begin{cases} a \cos \alpha_1 + b \cos \delta_1 = 1 + c \cos \beta_1, \\ a \sin \alpha_1 + b \sin \delta_1 = c \sin \beta_1, \\ a \cos \alpha_2 + b \cos \delta_2 = 1 + c \cos(\alpha_2 - \pi), \\ a \sin \alpha_2 + b \sin \delta_2 = c \sin(\alpha_2 - \pi). \end{cases} \quad (6)$$

Уравнения (6) имеют четыре неизвестных величины: $\alpha_1, \alpha_2, \delta_1$ и δ_2 . Преобразуем обе системы:

$$\begin{aligned} [1 + (c - a) \cos \alpha_1]^2 + [(c - a) \sin \alpha_1]^2 &= b^2, \\ [1 - (c + a) \cos \alpha_1]^2 + [(c + a) \sin \alpha_1]^2 &= b^2. \end{aligned} \quad (7)$$

Из уравнений (7) найдем:

$$\begin{aligned} \cos \alpha_1 &= \frac{(a - A)^2 + 1 - b^2}{2(a - c)}, \quad \sin \alpha_1 = \sqrt{1 - (\cos \alpha_1)^2}, \\ \cos \alpha_2 &= \frac{(a + A)^2 + 1 - b^2}{2(a + c)}, \quad \sin \alpha_2 = -\sqrt{1 - (\cos \alpha_2)^2}. \end{aligned} \quad (8)$$

Поскольку α_1 принадлежит 1-й или 2-й четвертям, а α_2 – 3-й или 4-й, выбираем соответствующие знаки перед радикалами. Из уравнений (6) находим δ_1 и δ_2 :

$$\left\{ \begin{array}{l} \cos \delta_1 = \frac{1 + (A - a) \cos \alpha_1}{b}, \quad \sin \delta_1 = \frac{(A - a) \sin \alpha_1}{b}, \\ \cos \delta_2 = \frac{1 - (A + a) \cos \alpha_2}{b}, \quad \sin \delta_2 = \frac{-(A + a) \sin \alpha_2}{b}. \end{array} \right. \quad (9)$$

Из рисунка 2 однозначно определяются величины, которые были заданы на этапе постановки задачи. Угол ψ_m можно выразить через угловые координаты шатуна 2. Максимальный размах кривошипа l между крайними положениями шатуна φ_m , соответствующий рабочему ходу, можно выразить через угловые координаты кривошипа в крайних положениях шатуна:

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha_2 - \alpha_1 = \varphi_m \\ \delta_2 - \delta_1 = \psi_m \end{array} \right. \quad (10)$$

или

$$\left\{ \begin{array}{l} \cos(\alpha_2 - \alpha_1) = \cos \varphi_m, \\ \cos(\delta_2 - \delta_1) = \cos \psi_m, \end{array} \right. \quad (11)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \cos \alpha_2 \cos \alpha_1 + \sin \alpha_2 \sin \alpha_1 = \cos \varphi_m, \\ \cos \delta_2 \cos \delta_1 + \sin \delta_2 \sin \delta_1 = \cos \psi_m. \end{array} \right. \quad (12)$$

Преобразуем данные уравнения таким образом, что бы в них не присутствовали синусы. Это позволит избавиться от корней при обратной подстановке:

$$\left\{ \begin{array}{l} \cos^2 \alpha_2 + \cos^2 \alpha_1 - 2 \cos \alpha_1 \cos \alpha_2 \cos \varphi_m + \cos^2 \varphi_m = 1, \\ \cos^2 \delta_2 + \cos^2 \delta_1 - 2 \cos \delta_1 \cos \delta_2 \cos \psi_m + \cos^2 \psi_m = 1. \end{array} \right. \quad (13)$$

Далее, подставляя в (13) уравнения (8) и (9) и вводя следующую замену переменных:

$$\begin{array}{l} \sin \varphi_m = x, \quad \sin \psi_m = f, \\ \cos \varphi_m = y, \quad \cos \psi_m = g, \end{array} \quad (14)$$

получаем

$$\left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{1 + b^2 - (a - c)^2}{2b} \right)^2 + \frac{1}{(2bf)^2} ((a + c)^2 - 1 - b^2 + g(1 + b^2 - (a - c)^2)) = 1, \\ \frac{a^2(a^2 - c^2 + 1 - b^2)}{(a^2 - c^2)^2} - (1 + y) \frac{((a - c)^2 + 1 - b^2)((a + c)^2 + 1 - b^2)}{2(a^2 - c^2)} + y^2 = 1. \end{array} \right. \quad (15)$$

Вычтем из первого уравнения второе и выразим b :

$$b = \sqrt{\frac{a^2 + c^2 + y(c^2 - a^2)}{1 - g}}. \quad (16)$$

Перед радикалом в данном случае стоит знак +, так как длина b не может быть отрицательной.

Подставим формулу (16) в первое из уравнений (15) и сгруппируем его относительно a :

$$a^4(g-y)^2 - 2a^2((yc)^2 + (cg)^2 - yg + yg^2 + 1 - g - 2c^2) + (1 + 2y(CG)^2 + 2ygc^4 - 2g - 2c^2 + g^2 + c^4g^2 + 2gc^2 - 2ygc^2 + y^2c^4) = 0. \quad (17)$$

Решив уравнение (17) как биквадратное, можно прийти к следующему результату:

$$a = \pm \sqrt{\frac{(yc)^2 + (cg)^2 - yg + yg^2 + 1 - g - 2c^2 \mp \sqrt{((yc)^2 + (cg)^2 - yg + yg^2 + 1 - g - 2c^2)^2 - 4((1 + 2y(CG)^2 + 2ygc^4 - 2g - 2c^2 + g^2 + c^4g^2 + 2gc^2 - 2ygc^2 + y^2c^4))}}{(y-g)^2}}. \quad (18)$$

Данное решение предлагает четыре возможных корня уравнения (17). Два из них (с отрицательным радикалом) можно отбросить сразу, так как длина a не может быть отрицательной. Третий же корень является комплексным, так как подкоренное выражение получается отрицательным.

Выполнив подстановку (14) в уравнения (17) и (18), получим итоговые выражения:

$$a = \sqrt{\frac{-c^2(\sin^2 \varphi_m + \sin^2 \psi_m) + (1 - \cos \varphi_m \cos \psi_m)(1 - \cos \psi_m) + \sin \varphi_m \sin \psi_m (1 - \cos \psi_m - 2c^2)}{(\cos \varphi_m - \cos \psi_m)^2}} \quad (19)$$

$$b = \sqrt{\frac{a^2 + c^2 + \cos \varphi_m (c^2 - a^2)}{1 - \cos \gamma_m}}.$$

В формулах (19) длина c является свободным параметром, ее значение можно выбирать произвольно в относительных единицах по отношению к длине стойки d .

В процессе эксплуатации механизма качество передачи сил определяется величиной углов давления. Поэтому при выборе свободного параметра c необходимо постараться сделать так, чтобы экстремальный (наименее благоприятный) угол передачи принимал свое наибольшее значение, тем самым уменьшая угол давления.

Как видно из рисунка 1, угол передачи определяется из теоремы косинусов

$$\cos \mu = \frac{b^2 + c^2 - 1 - a^2 + 2a \cos \alpha}{2bc}, \quad (20)$$

где μ – угол передачи при данном угле α .

$$\cos \mu_{ext} = \frac{|b^2 + c^2 - 1 - a^2| + 2a}{2bc}. \quad (21)$$

Если подставить в формулу (21) выражения для длин a и b , то при заданных углах φ_m и ψ_m можно построить зависимость

$$\cos \mu_{ext} = f(c). \quad (22)$$

Так как $\mu_{ext} \rightarrow \max$, то $\cos \mu_{ext} \rightarrow \min$. Продифференцируем выражение (22) по длине c :

$$\frac{d(\cos \mu_{ext})}{dc} = 0. \quad (23)$$

При раскрытии выражения (23) получается полином вида

$$A_1 \cdot c^8 + A_2 \cdot c^6 + A_3 \cdot c^4 + A_4 \cdot c^2 + A_5 = 0, \quad (24)$$

где A_1, A_2, A_3, A_4, A_5 – коэффициенты, зависящие от заданных величин φ_m и ψ_m . В системе компьютерной математики Maple была аналитически выражена длина из выражения (24) с помощью метода Монте–Карло, но вывод формул получился очень громоздким и мы опустим его в статью.

В системе Microsoft Visual Studio 2010 было разработано приложение Windows Forms на языке VISUAL BASIC.NET для численного решения задачи синтеза описанного в статье механизма и его последующего твердотельного моделирования и исследования в системе Autodesk Inventor 2014, интерфейс приложения показан на рисунке 3.

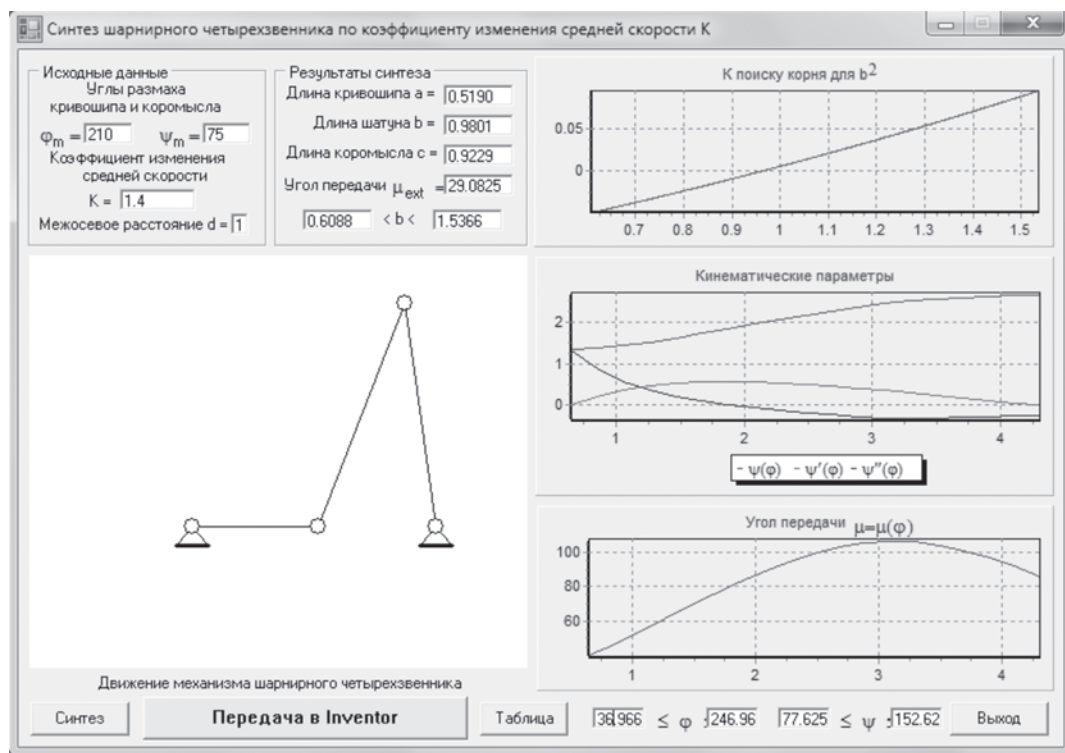


Рисунок 3 – Окно программы синтеза

Приложение использует для решения уравнений кинематики и синтеза некогда популярную математическую библиотеку MINPACK, переведенную авторами с языка

ФОРТРАН на C++ \ CLI для обеспечения ее работы на унифицированной платформе Net Framework 4.5.

Для трехмерного моделирования шарнирного четырехзвенника в приложении реализована связь с подключаемым .COM модулем библиотеки системы Inventor, содержащей процедуры и функции ее объектной модели для рисования эскизов, твердотельного выдавливания и задания сборочных зависимостей.

При создании сборки для каждого звена механизма в программе объявляются поверхности, по которым происходит соединение друг с другом, как показано во фрагменте кода программы:

```
Dim oOcc1 As ComponentOccurrence */ Инициализация свойств 1-го звена /*
Dim oOcc2 As ComponentOccurrence */ Инициализация свойств 2-го звена /*
Dim oAsmCompDef As AssemblyComponentDefinition */ Инициализация сборки /*
oAComDef = oApp.ActiveDocument.ComponentDefinition */ Назначение активного
документа /*
oEdgeObject1= oOcc1.SurfaceBodies(1).Edges(1) /Выбор поверхностей соедине-
ния /*
oEdgeObject2= oOcc2.SurfaceBodies(2).Edges(1)
Dim oInsert As InsertConstraint */ Объявление зависимости вставки /*
oInsert = oACompDef.Constraints.AddInsertConstraint(oEdgeObject1, oEdgeObject2,
True, 0)
```

Компьютерная сборка четырехзвенного шарнирного механизма, представленная на рисунке 4, позволяет воспользоваться возможностями исследования системы Inventor, такими, как динамическая симуляция движения, кинематический анализ, конечно-элементный анализ и т.д.

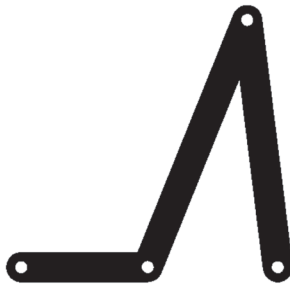


Рисунок 4 – Компьютерная сборка четырехзвенника

Как видно из описания используемых программ, весь процесс проектирования механизма шарнирного четырехзвенника от синтеза до получения трехмерной твердотельной модели полностью автоматизирован.

В заключение можно отметить практическую ценность этого приложения как инструмента для исследования, проектирования и проведения виртуальных экспериментов над механизмами такого типа.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Саркисян Ю.Л. Аппроксимационный синтез механизмов. – М.: Наука, 1982. – 304с.
- 2 Пейсах Э.Е., Нестеров В.А. Система проектирования плоских рычажных механизмов. – М.: Машиностроение, 1988. – 233 с.
- 3 Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин: учебник. – М.: Наука, 1988. – 640 с.
- 4 Коловский М. З. Теория механизмов и машин. Структура и кинематика механизмов: лекции. – СПб.: СПбГТУ, 1993. – 80 с.
- 5 Лебедев В. И., Турланов А. М. Синтез механизмов с пассивными связями // Теория механизмов и машин. – 2003. – № 2. – С. 28–31.

ХИМИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 621.3.031

А. В. БОЛОТОВ¹, В. А. ВАСИЛЬЕВ²

¹ТОО «Экоэнергомаш»

²Алматинский университет энергетики и связи

ИНДУКЦИОННО-РЕЗИСТИВНЫЙ НАГРЕВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ГУБЧАТОГО ТИТАНА

Рассмотрен вопрос снижения расхода энергии и длительности процесса сепарации губчатого титана. Показано преимущество совмещения резистивного и индукционного нагрева в промышленной печи, технологические возможности работы индукционно-резистивного нагревателя на токе промышленной частоты. Для достижения большей эффективности процесса в режиме выдержки предлагается вести процесс на токе пониженной частоты. Раскрыты схемное решение и графические зависимости основных параметров процесса. Предложены направления дальнейшего совершенствования процесса для достижения более высоких показателей как самого процесса, так и качества выпускаемой продукции.

Ключевые слова: *энергосбережение, металлургия, титановая губка, вакуумная сепарация, индукционно-резистивный нагрев, опытно-промышленный аппарат, снижение энергетических затрат.*

Энергияның шығынын және кеуекті титанның бөліну үдерісінің ұзақтығын азайту мәселесі қаралды. Өнеркәсіптік пеште резистивтік және индукциялық қыздыруды қиыстырудың артықшылығы, өнеркәсіптік жиілік токта индукциялық резистивтік қыздырғыш жұмысының технологиялық мүмкіндіктері көрсетілген. Төзімділік режимде үдерістің мол тиімділігіне жету үшін үдерісті төмен жиіліктегі токта жүргізуге ұсынылып отыр. Үдерістің негізгі параметрлерінің тәсімдік шешімі мен графикалық тәуелділігі көрсетілген. Үдерісте және шығарылатын өнімнің сапасында артығырақ көрсеткіштерге жету үшін үдерісті одан әрі жетілдіру бағыттары ұсынылады.

Кілттік сөздер: *энергия үнемдеу, металлургия, титанды ысқыш, вакуум сепарациясы, индуктивтік-резистивтік қыздыру, тәжірибелік-өнеркәсіптік аппарат, энергия шығындарын төмендету.*

Problem of energy saving and decreasing of process time of titanium sponge separation was considered in this paper. The benefit of combination of resistive and inductive heating in industrial furnace, technological opportunities of inductive-resistive heater, operating on power current, was shown. To achieve the most efficient of the process in curing system, it is offered to conduct the process on low frequency current. The circuit design and graphical relationships of the main parameters of the process were shown. Directions of further improvement of the process were suggested to achieve higher performances of working process and quality of products.

Keywords: *energy saving, metallurgy, titanium sponge, vacuum separation, inductive-resistive heating, experimental-industrial device, decreasing of energy cost.*

Принятие Концепции перехода Республики Казахстан к «зеленой экономике» определило высокие требования к энергоемким технологическим процессам по сокращению затрат энергии на выпуск продукции [1].

Являясь одной из энергопотребляющих отраслей народного хозяйства, металлургическая промышленность широко внедряет в своих технологиях электротермические процессы и установки, позволяющие интенсифицировать технологии и улучшать качество продукции. Стремление к снижению расхода энергоресурсов как нельзя лучше может быть реализовано энергосберегающими технологиями.

Установки радиационного и индукционного нагрева представляют класс электро-термического оборудования, широко используемого в различных технологических процессах как в машиностроении, так и в металлургии. Имея определенные достоинства и недостатки, они в ряде случаев могут дополнять друг друга, создавая высокоэффективные процессы, обеспечивающие высокие скорости и энергетические показатели, простоту управления.

На базе Усть-Каменогорского титано-магниевого комбината сотрудниками Алматинского университета энергетики и связи (АУЭС), Запорожского института титана и Усть-Каменогорского титано-магниевого комбината был разработан и создан процесс вакуумной сепарации губчатого титана, удачно совмещающий радиационный и индукционный нагревы в одном аппарате. Это позволило заметно увеличить производительность такого вида переработки, значительно сократить энергозатраты и повысить качество выпускаемой продукции.

Теоретически для сепарации 1 т губчатого титана требуется около 1500 кВт·ч электроэнергии. Практически ее расходуется в 3–4 раза больше. Перерасход энергии определяется большими потерями тепла через футеровку и конденсатор в последней стадии процесса, когда губка снижает теплопроводность [2]. Эта стадия характеризуется и тем, что магний и хлористый магний находится в порах губки. В этот период следует выделить тепло в самой губке и как можно в большем ее объеме. Решить эту задачу можно, используя индукционный нагрев и желательно на более низкой частоте питающего тока в соответствии с размерам промышленного аппарата [3].

Следует объяснить, как был создан совмещенный индукционный и радиационный нагрев с учетом особенностей каждого из них в аппаратах вакуумной сепарации губчатого титана, когда в результате химической реакции между магнием и четыреххлористым титаном в объеме реторты образуется реакционная масса [4].

Традиционно используемый вид нагрева в аппаратах сепарации губчатого титана – косвенный нагрев реторты омическими нагревателями в соответствии с законом Джоуля–Ленца. Тепловая энергия передается к нагреваемому объекту от нагревателя преимущественно излучением и теплопроводностью. Конвективный теплообмен в аппарате отсутствует, так как в самой печи по условиям проведения процесса создан вакуум. Источником тепловой энергии является нагреватель, имеющий высокое

удельное электрическое сопротивление, по которому протекает электрический ток промышленной частоты. Этот вид нагрева хорошо вписывается в конструкцию аппарата вакуумной сепарации, и все режимы процесса отрабатывались применительно к нему. Однако на пути теплового потока к объекту нагрева, которым является реакционная масса, состоящая из трех компонентов: титана в виде губки с различной пористостью и плотностью, магния и хлористого магния, заполняющих эту губку, находится реторта. Она представляет собой металлический цилиндр, выполненный из нержавеющей стали с магнитной проницаемостью, равной единице. Стенка реторты воспринимает тепловой поток от нагревателей излучением и передает его в реакционную массу теплопроводностью. При этом исходя из принципов термодинамики увеличивается путь теплового потока к реакционной массе и, следовательно, возрастает время процесса. Для снижения длительности процесса необходимо хотя бы части теплового потока обойти сопротивление, которое он встречает на своем пути в виде стенки реторты.

В практике электротермии существует эффективный процесс, основанный на действии электромагнитного поля, способного преодолевать одни среды и поглощаться в других в зависимости от их физических свойств [5]. Поглощение телом электромагнитного поля сопровождается наведением в нем вихревых токов, нагревающих тело в соответствии с законом Джоуля–Ленца. Этот способ носит название индукционного нагрева.

Конструкция печи для вакуумной сепарации губчатого титана в принципе позволяет реализовать оба вида нагрева, совмещая их во времени. Идея состоит в том, что нагреватель, состоящий из трех секций, создающих три зоны нагрева, как и в промышленном аппарате, выполняется в виде индуктора, имеющего температуру 1050°C, которая поддерживается в печи по условиям технологии. Протекающий по индуктору ток большой величины, порядка нескольких килоампер, создает внутри него переменное электромагнитное поле. Оно проникает через реторту в блок реакционной массы, где и наводит вихревые токи непосредственно в титановой губке. Реторта, в которой находится реакционная масса, прозрачна для этого электромагнитного поля, так как выполнена из немагнитного материала [6]. При протекании большого тока индуктор нагрет и также проявит себя, как нагреватель косвенного действия, передавая свое тепло путем излучения на стенку реторты. Тепло от вихревых токов выделяется в зоне проникновения электромагнитного поля. Глубина этой зоны зависит от таких параметров, как частота электромагнитного поля, магнитная проницаемость нагреваемого материала и его удельное электрическое сопротивление. Тепло из этой зоны распространяется внутрь блока титановой губки путем теплопроводности. К стенке реторты оно не может распространяться, так как тепловой поток, обусловленный радиационным нагревом за пределами реторты, будет этому препятствовать, что создает возможность существенно снизить энергопотребление и длительность процесса.

В качестве объекта для исследования и проведения вакуумной сепарации губчатого титана с индукционно-резистивным нагревом был принят промышленный аппарат.

Это позволило выполнять процесс восстановления четыреххлористого титана магнием в промышленном масштабе и в то же время использовать для работы индуктора ток промышленной частоты. Такой подход позволяет получить результат по процессу на оборудовании промышленного масштаба.

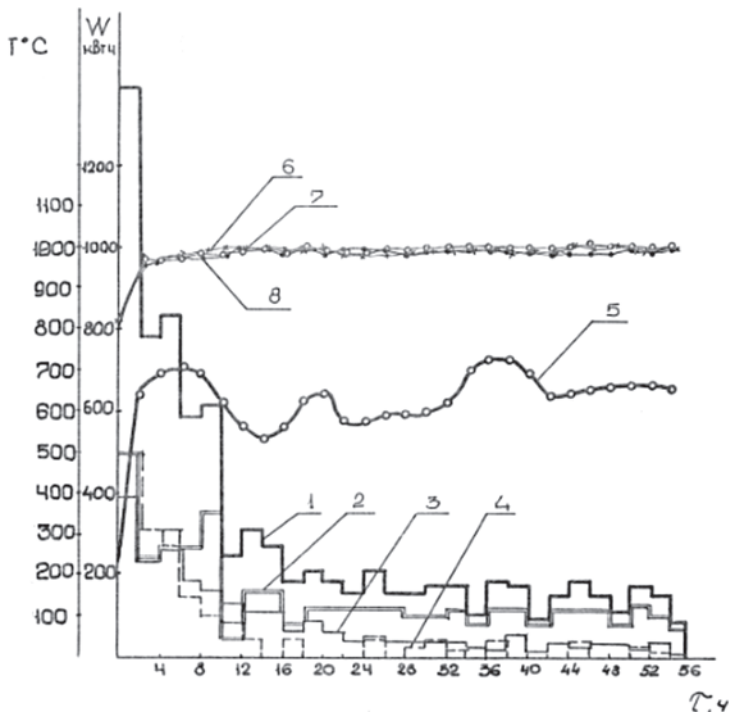
Исследования проведены на промышленной установке, размеры которой, исходя из теории и практики индукционного нагрева, допускают индукционный нагрев токами промышленной частоты.

В основу конструкции установки положены следующие условия: аппарат вакуумной сепарации губчатого титана «Редмет-501», выполненный для эксплуатации в печи ОКБ-4145, должен претерпеть минимальные преобразования и вписаться в технологическую среду [7–9]. Габариты печи и футеровка сохранены в том же виде, чтобы не изменять первоначальные тепловые характеристики процесса. Нагреватель сопротивления заменен индукционно-резистивным, расположенным на его месте. В отличие от традиционных индукционных нагревателей, обычно выполняемых с водоохлаждаемым индуктором из материалов с высокой электрической проводимостью, был применен индуктор из жаростойкого материала, работающий при температуре в печи 1050 °С, необходимой для проведения процесса. Нагрев трех зон печи, как требовалось в исходном варианте, выполнен из трех одинаковых секций, имеющих независимое подключение к источнику питания. В качестве материала для индуктора была выбрана сталь X18H10T, удельное электрическое сопротивление которой равно $0,7 \cdot 10^{-6}$ Ом·м при 20°С и изменяется до $1,12 \cdot 10^{-6}$ Ом·м при 800°С. Температура плавления стали равна 1400°С, что обеспечивает механические свойства конструкции по прочности при рабочей температуре 1050°С. Удельное электрическое сопротивление загрузки (реакционной массы) равно $0,7 \cdot 10^{-6}$ Ом·м [10]. Расчеты позволили сконструировать и изготовить работоспособную печь, которая по электродинамическим и тепловым характеристикам соответствует требованиям промышленного аппарата. Электрические расчеты [11] обеспечили возможность создания схемы электроснабжения, отвечающей предъявляемым требованиям в условиях металлургического производства.

Идентичность опытного и промышленного процессов в реакторе «Редмет-501» обеспечивалась соблюдением всех правил технологического регламента восстановления четыреххлористого титана магнием. Затем аппарат восстановления помещался в опытную печь. Пройдя все стадии от разогрева, проплавления магниевой заглушки, вакуумирования аппарата, бурной возгонки, печь переходила в режим выдержки. По истечении 56 ч процесс оканчивался, печь отключалась и аппарат переводился в режим охлаждения.

При разработке схемы и оборудования было проведено несколько полных процессов. При этом длительность процесса снижена на 20% и расход электроэнергии – на 5% по сравнению с базовым процессом. Одновременно уменьшилось количество примесей: никеля – на 0,03 %, азота – на 0,01% и железа – на 0,02%.

Результаты температурного режима и энергетические затраты по зонам печи представлены на рисунке.



Процесс сепарации губчатого титана с индукционно-резистивным нагревом: 1 – результирующий расход электрической энергии; 2–4 – расход электрической энергии: 2 – верхней секции, 3 – нижней секции, 4 – средней секции; 5–8 – температура: 5 – горловины аппарата, 6 – нижней зоны печи, 7 – средней зоны печи, 8 – верхней зоны печи

Дальнейшее повышение энергетических показателей промышленных печей может быть достигнуто путем подбора материала для изготовления индуктора, в качестве которого рассматривается никель. В настоящее время имеется возможность изготовить мощные преобразователи тока пониженной частоты. Это позволит расширить зону нагрева внутри блока, приблизив ее к центральной части [12], что еще больше будет способствовать сокращению длительности процесса и затрат электроэнергии [13].

Специалисты Алматинского университета энергетики и связи, являющиеся авторами разработок, владеют ноу-хау процесса и возможностью доведения его до масштабов промышленного использования.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Концепция по переходу Республики Казахстан к «зеленой экономике». Утверждена Указом Президента Республики Казахстан от 30 мая 2013 года, № 577. – Астана, 2013.
- 2 Мальшин В.М., Завадовская В.Н., Пампушко Н.А. *Металлургия титана: Учебник для техникумов.* – М.: Metallurgia, 1991. – 208 с.
- 3 Болотов А.В., Шепель Г.А. *Электротехнологические установки: Учебник для вузов.* – М.: Высш. шк., 1988. – 336 с.

- 4 Гармата В.А., Петрунько А.Н и др. Титан. – М.: Металлургия, 1983. – 559 с.
- 5 Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. –М.: Высшая школа, 1966. – 776с.
- 6 Егоров А.В., Моржин А.Ф. Электрические печи (для производства сталей). – М.: Металлургия, 1975. – 352 с.
- 7 А. с. №1584399. МКИ С22В34/12. Устройство для вакуумной сепарации губчатого титана/ А.В. Болотов, В.А. Васильев, Л.И. Воробьев, А.Я. Дейнега, В.М. Мальшин, Б.Ф. Норкин, Г.П. Уваров от 08.06.1984 г.
- 8 А. с. №1746719. МКИ С22В34/12. Способ вакуумной сепарации губчатого титана/ А.В. Болотов, В.А. Васильев, А.Я. Дейнега, В.М. Мальшин, А.Н. Пампушко, В.В. Солдатов, Г.П. Уваров, А.Н. Смурыгина и А.И. Чепрасов от 19 03.1990 г.
- 9 А. с. №1697436. МКИ С22В34/12. Способ получения губчатого титана / А.В. Болотов, В.А. Васильев, А.Я. Дейнега, В.М. Мальшин, Б.М. Шаяхметов, А.Н. Пампушко, Ю.М., Подлесный, А.Н. Пименов, А.Н. Смурыгина и Б.А. Бродский от 04 04.1990 г.
- 10 Пелецкий В.Э., Бельская Э.А. Электрическое сопротивление тугоплавких металлов: Справочник. – М.: Энергоиздат, 1981. – 96 с.
- 11 Болотов А.В., Васильев В.А., Джапарова Р.К. Численный расчет токов в индукционных установках для сепарации металлов // Оптимизация процессов в электротермических установках с применением ЭВМ: Научные труды Московского энергетического института. – М., 1987. – №122. – С. 39–42.
- 12 А. с. 1274316. МКИ С22В34/12 Способ вакуумной сепарации губчатого титана / А.В. Болотов, В.А. Васильев, Л.И. Дейнега А.Я., Мальшин В.М., Медведчиков Э.П., Прокопьев В.В. от 08.06.1984 г. Открытия. Изобретения. – 1986. – №11.
- 13 Болотов А.В., Джапарова Р.К., Васильев В.А. Применение индукционно-резистивного нагрева для снижения энергозатрат при вакуумно-термической сепарации металлов // Энергосберегающие электротермические процессы и оборудование. – М., 1988. – №160. – С. 48–52.

Т. А. КЕТЕГЕНОВ¹, М. Ю. ЛЕКСИН², А. В. КОНОНОВ², Т. Б. ОСЕРОВ¹

¹ *Национальная инженерная академия Республики Казахстан*

² *Институт высоких технологий «НАК “Казатомпром”»*

ПРИМЕНЕНИЕ КОЛОННЫХ ФЛОТОМАШИН ДЛЯ СБОРА МИКРОСФЕР

Разработана технология выделения микросфер из отстойников тепловых электростанций. Для получения микросфер из шлаков мокрой золы-уноса был разработан и изготовлен опытный образец колонной флотомашин. Определены оптимальные режимы флотации в зависимости от времени флотации и концентрации флотореагентов. Показано, что полученные результаты могут служить основой для разработки промышленной установки выделения микросфер из шлаков мокрой золы-уноса.

Ключевые слова: микросферы, колонная флотомашин, шлаки, мокрая зола-унос, флотация.

Мақала жылу электр станцияларының тұндырғыларынан микросфералардың бөлуі технологиясын жасауға арналған. Сулы золоунос шлактарынан микросфераларды алу үшін колонналы флотомашинаның тәжірибелік үгісі жасалды және дайындалды. Флотация мен флотореагенттердің концентрациясы уақытана тәуелді флотацияның оңтайлы режимдері анықталды. Алынған нәтижелер сулы золоунос шлактарынан микросфераларды өндірістік қондырғымен алуды жасау үшін негіз болатынын көрсетті.

Кілттік сөздер: микросфералар, колонналы флотомашин, шлактар, сулы золоунос, флотация.

The paper is devoted the development of technology of microspheres extraction from slurry ponds of thermal power plants. For selection of such microspheres from slag of wet ash carry-over prototype of flotation column machine has been designed and made. Optimal conditions of microspheres flotation were determined depending on time of flotation and concentration of flotation reagents. It is shown that these results may be used as the basis for development of industrial plant for microspheres selection from slag of wet ash carry-over.

Keywords: microspheres, flotation column machine, slag, wet ash carry-over, flotation.

В настоящее время эффективность работы всех отраслей промышленности необходимо оценивать с точки зрения баланса между массой основного продукта и объемом образуемых техногенных отходов. Наиболее неблагоприятными в этом плане являются предприятия топливно-энергетического комплекса, а именно тепловые электрические станции, являющиеся источниками массированных атмосферных выбросов и крупнотоннажных твердых отходов. Практически на всей территории страны действуют электростанции, работающие на твердом топливе. В зависимости от технологического оборудования, условий подготовки топлива и принятых режимов сжигания на каждую тонну угля приходится от 250 до 450 кг твердого минерального остатка, что приводит к накоплению большого количества золошлаковых отходов с ежегодным увеличением их объема. По сложности и многокомпонентности вещественного состава отходы ТЭС соответствуют техногенным месторождениям, которые возможно перерабатывать известными обогащительными методами с извлечением ценных компонентов и использованием полученных продуктов для нужд народного хозяйства. Разработка этих техногенных месторождений может иметь реальный экономический эффект, в связи с чем утилизация с выделением ценных компонентов является важным направлением исследований многих ученых [1–3].

Как правило, зола-унос крупных энергетических предприятий содержит от 1 до 3% микросферических компонентов, обладающих ценными технологическими свойствами. Особенности химического и минералогического состава микросфер (ценосфер) в сочетании с низкой плотностью и высокой механической прочностью позволяют прогнозировать получение на их основе наполнителей для бетонов и пластмасс, катализаторов, адсорбентов и многих других ценных материалов. Однако для обеспечения бесперебойной работы производств, использующих микросферы, необходимо разработать и испытать технологии их круглогодичного извлечения.

Одним из приемлемых способов выделения микросфер из шлаков мокрой золы-уноса в круглогодичном режиме является их флотация в колонных флотомашинах, поскольку они доказали свою эффективность и, главное, возможность получения концентратов более высокого качества, чем в классических машинах пенной флотации. Эти особенности колонной флотации заключаются в ином принципе распределения воды между пенным и камерным продуктом по сравнению с пенной флотацией [4–6]. Применение аппаратов колонной флотации позволяет получать более богатые концентраты и заменить несколько стадий перечистных операций в схеме цепи аппаратов.

Материалы и методы. Для выделения микросфер из шлаков мокрой золы-уноса был разработан и изготовлен опытный образец колонной флотомашины, сочетающий в себе основные принципы работы такой аппаратуры. Общий вид установки представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Установка для флотации золошлаковых отходов:

1 – колонная флотомашина; 2 – емкость с мешалкой; 3 – подводящий трубопровод от насоса; 4 – трубопровод вывода хвостов флотации

Проверка работоспособности опытного образца машины и отработка режимов флотации микросфер проводились на шлаках мокрой золы-уноса Алматинской ТЭЦ -2. Для опытно-промышленных испытаний флотации были отобраны две пробы по 40 кг шлака, содержащие как максимальное, так и среднее количество микросфер.

При проведении испытаний работы машины со стандартным аэратором не удалось получить необходимого пенообразования и достаточного количества воздушных пузырьков, необходимых для выделения микросфер.

Более того, получаемые на выходе из машины пузырьки воздуха были достаточно крупного размера, которые не могли обеспечить захват мелких микросфер. В связи с этим была изменена конструкция аэратора (рисунок 2), после установки которого проведены повторные опыты по выделению микросфер из шлаков.

Количество образующихся при работе машины воздушных пузырьков и выход в пенный продукт микросфер в зависимости от типа аэратора представлены на рисунке 3.



Рисунок 2 – Внешний вид измененного аэратора



а



б

Рисунок 3 – Количество образующихся при работе флотационной машины пузырьков и выход в пенный продукт микросфер: а – с применением стандартного аэратора; б – с измененным аэратором

В дальнейших экспериментах определялись оптимальное время флотации и реагентный режим, в качестве которого был использован оксигидрильный собиратель, позволяющий получить более качественный по микросферам пенный продукт.

Зависимости содержания в пенном продукте микросфер и выход пенного продукта от времени флотации представлены на рисунке 4.

Полученные результаты позволяют сделать вывод об оптимальном времени флотации микросфер, равном 110–150 с. При этом времени флотации получены максимальное содержание в пенном продукте микросфер и оптимальный выход самого пенного продукта.

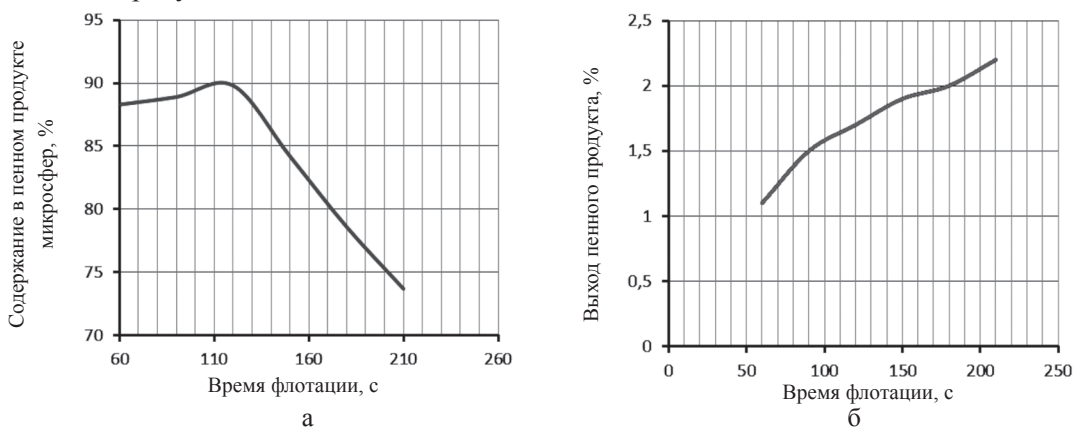


Рисунок 4 – Зависимости содержания микросфер в пенном продукте (а) и выход пенного продукта (б) от времени флотации

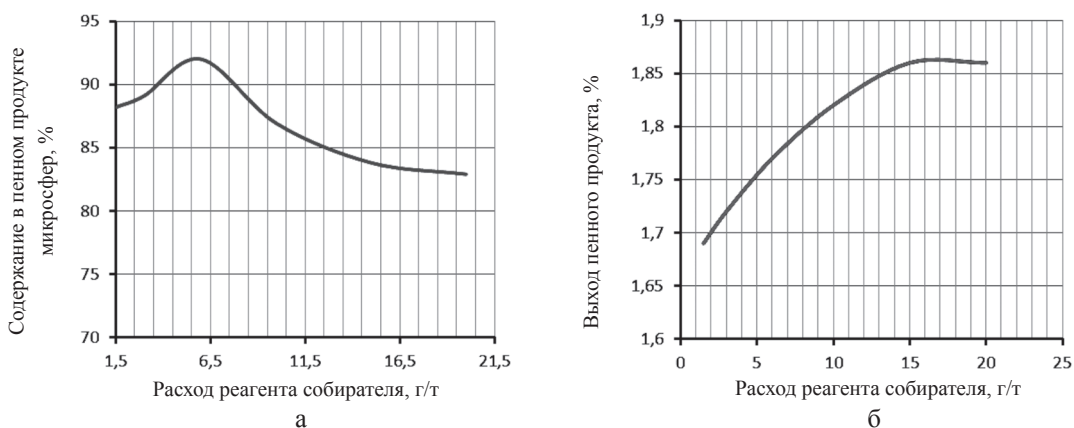


Рисунок 5 – Зависимость содержания (а) и выхода микросфер в пенном продукте (б) от расхода собирателя

Применение реагента собирателя позволяет увеличить выход пенного продукта без значительного снижения в нем содержания микросфер.

По результатам проведенных экспериментов были построены графические зависимости содержания микросфер в пенном продукте и выхода пенного продукта от расхода реагента собирателя (рисунок 5). Как видно из представленных на рисунке

5 графических зависимостей, наиболее оптимальным расходом реагента собирателя является 6,5 г/т исходного шлака.

Применение реагента собирателя позволило повысить выход пенного продукта на 0,1 % и увеличило содержание в нем микросфер на 2,3 %, а также стабилизировало процесс пенообразования и, как следствие, весь процесс флотации микросфер. Незначительное в абсолютном значении повышение выхода пенного продукта с использованием реагента собирателя на самом деле является довольно существенным фактором при определении экономической эффективности флотационного выделения микросфер из шлаков мокрой золы-уноса в промышленном масштабе.

В результате экспериментов через установку флотации было пропущено около 1500 кг шлаков мокрой золы-уноса Алматинской ТЭЦ-2. Полученные результаты позволяют в дальнейшем рассчитывать на положительный результат при внедрении такого процесса для получения микросфер из шлаков мокрой золы-уноса.

Таким образом, эксперименты по флотации крупной партии шлака подтвердили полученные ранее в лабораторных условиях результаты флотации, показали возможность выделения микросфер из шлаков мокрой золы-уноса ТЭЦ путем их флотации в колонных флотомашинах и позволяют при необходимости разработать промышленную установку выделения микросфер из шлаков мокрой золы-уноса.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Состав и свойства золы и шлака ТЭС: Справочное пособие / Под ред. В. А. Мелентьева. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 172 с.
- 2 Панкова М.В., Фоменко Е.В., Аншиц А.Г. Получение микросферических носителей на основе ценосфер энергетических зол // Современные наукоемкие технологии. – 2008. – №6. – С. 77.
- 3 Голдштейн Л. Я., Штейерт Н. П. Использование топливных зол и шлаков в производстве цемента – Л.: Сройиздат, 1977. – С. 153.
- 4 Рубинштейн Ю.Б., Мелик-Гайказян В.И., Матвеевко Н.В., Леонов С.Б. // М.: Недра, 1989. – 304 с.
- 5 Попкович Г.С., Репин Б.Н. Системы аэрации сточных вод. –М.: Стройиздат, 1986. – 133 с.
- 6 Плаксин В.Г., Путилов А.В., Пименов И.В., Поспелов М.Н. Эрлифтные аэрационные системы для биохимических установок коксохимических заводов. – М.: Черметинформация, 1986. – 21 с.

А. Н. КЛИВЕНКО¹, А. БОЛАТ¹, С. Е. КУДАЙБЕРГЕНОВ², Г. А. МУН¹

¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби

²Институт полимерных материалов и технологий

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ АМФОТЕРНЫХ КРИОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ МЕТАКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ И N,N'-ДИМЕТИЛАМИНОЭТИЛМЕТАКРИЛАТА

Макропористые амфотерные криогели на основе сополимера метакриловой кислоты и диметиламиноэтилметакрилата были получены путем радикальной полимеризации в криоусловиях. Состав криогелей был установлен спектрофотометрическим методом. Изучена морфология криогелей методом сканирующей электронной микроскопии. Изоэлектрическая точка определена по скорости протекания жидкости.

Ключевые слова: полиамфолиты, гидрогели, криотропное гелеобразование, криогели, криополимеризация.

Криожағдайда метакрил қышқылы және N,N'-диметиламиноэтилметакрилат мономерлері қатысында радикалдық сополимеризация негізінде макрокеуекті амфотерлі криогель синтезделіп алынды. Спектрофотометрия әдісімен амфотерлі криогельдің орташа мольдік құрамы анықталды. Криогельдің морфологиясы сканерлеуші микроскоп көмегімен зерттелді. Кеуектің диаметрі тігуші агент мөлшерінен тәуелдігі көрсетілді. Изоэлектрлік нүкте анықталды.

Кілттік сөздер: полиамфолиттер, гидрогель, криогельдер, криополимеризация.

Macroporous amphoteric cryogels based on copolymer of methacrylic acid and N,N'-dimethylaminoethylmethacrylate were synthesized by the way of radical copolymerization in cryo-conditions. Composition of cryogels was determined by spectrophotometric method. Morphology of cryogels was studied by scanning electron microscope investigation. Isoelectric point was determined by rate of liquid leaking.

Keywords: polyampholyte, hydrogel, cryotropic gelation, cryogel, cryopolymerization.

Согласно литературным источникам [1–3] в криоусловиях возможно получать криогели на основе любых систем, способных к гелеобразованию. Криополимеризация протекает за счет существования в неглубоко замерзших растворах, так называемой незамерзшей жидкой микрофазы, в которой происходит концентрирование растворенных веществ (мономеров, инициатора, катализатора и сшивающего агента) [1, 4–6]. С термодинамической точки зрения причиной образования жидкой микрофазы в многокомпонентных замороженных растворах является то, что «включение растворенных веществ в кристаллическую решетку твердого растворителя требует большего количества энергии, чем затрачивается на повышение химических потенциалов при увеличении концентрации компонентов в жидкой микрофазе» [7].

Таким образом, на поверхности кристаллов растворителя образуется слой жидкой микрофазы, в которой происходит реакция, и после оттаивания образцов криогели представляют собой систему сообщающихся пор. На диаметр пор, толщину стенок, площадь внутренней поверхности и поровый объем влияет температурный режим реакции [8]. Установлено, что существуют два пути криосинтеза: прямой – постепенное охлаждение реакционной смеси от комнатной температуры до температуры ниже

точки замерзания растворителя и обратный, заключающийся в резком охлаждении смеси до температуры жидкого азота и постепенном нагревании системы до температуры кристаллизации растворителя.

Сочетание особых физико-механических (пористость, развитая удельная поверхность пор, поровый объем) и химических свойств (амфотерность, наличие изоэлектрической точки) делает их перспективными материалами для решения биомедицинских и биотехнологических задач [8].

Настоящая статья посвящена получению и исследованию свойств амфотерного криогеля на основе системы метакриловой кислоты (МАК) и N, N'-диметиламиноэтилметакрилата (ДМАЭМ).

Синтез амфотерных криогелей. Амфотерные криогели синтезировали по следующей методике: исходную мономерную смесь (ИМС) с концентрацией 10 мас.%, состоящую из 1 г смеси мономеров метакриловой кислоты (МАК), N, N'-диметиламиноэтилметакрилата (ДМАЭМ), сшивающего агента N, N'-метиленакриламида (МБАА) и 9 г воды, охлаждали до 0 °С, после чего добавляли 0,01 мл N, N', N', N'-тетраметилэтилендиамина и продували азотом в течение 10 мин. Далее добавляли 0,1 мл 10% раствора персульфата аммония и разливали в сосуды цилиндрической формы (диаметр 6 мм, примерный объем 1 мл). Криополимеризацию проводили в криотермостате LaudaProlineRP 845 (Германия, 2013) при -12 °С в течение 48 ч. Использовали реактивы производства Sigma-Aldrich чистотой не менее 99,5%. Мономеры перегоняли под вакуумом, остальные применяли без дополнительной очистки.

После размораживания криогели промывали дистиллированной водой 2 недели с ежедневной заменой воды. Структурная формула полученных сополимеров представлена на рисунке 1.

В результате были синтезированы образцы с содержанием сшивающего агента 2,5; 5 и 10%.

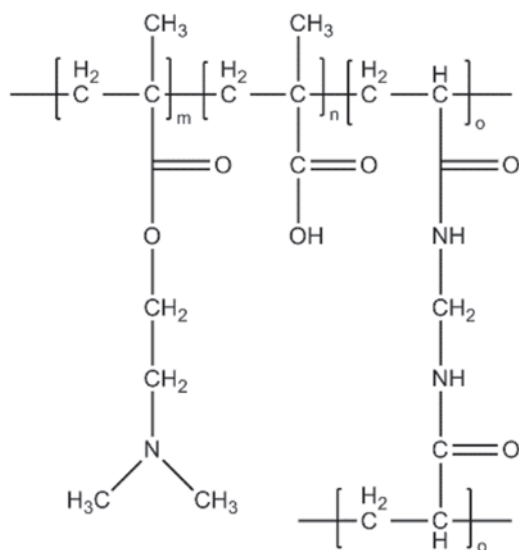


Рисунок 1 – Структура сополимера МАК/ДМАЭМ

Подготовка образцов к исследованиям. Криогели разрезали на кусочки длиной 1 см. Для лиофилизации образцов криогелей их помещали в раствор этилового спирта с массовой долей 25, 50 и 75% по 2 ч в каждом растворе. После этих процедур образцы криогелей помещали в 90%-й раствор этилового спирта и выдерживали в течение 1 сут. Образцы высушивали в вакуум-сушильном шкафу при комнатной температуре до постоянной массы.

Спектрофотометрическое определение состава криогелей. Возможность определения количества аминогрупп спектрофотометрическим методом описана в работе [9]. Содержание аминных и карбоксильных групп находили спектрофотометрическим методом на приборе Specord 210 Plus (Германия, 2011).

Для этого предварительно взвешенные и набухшие в воде образцы криогелей помещали в раствор красителей с концентрацией $1 \cdot 10^{-5}$ моль/л. В качестве красителей выбраны метиленовый синий (МС) и метиловый оранжевый (МО) (рисунок 2).



Рисунок 2 – Структурные формулы красителей:
а – метиленовый синий; б – метиловый оранжевый

Как видно из структурных формул, в составе метилового оранжевого имеется сульфогруппа, способная взаимодействовать с третичной аминогруппой ДМАЭМ, а в составе метиленового содержится третичная аминогруппа, которая может взаимодействовать с карбоксильной группой МАК.

Для количественного электростатического взаимодействия кислотных и основных групп криогеля с молекулами красителей рН раствора красителя поддерживали таким образом, чтобы функциональная группа криогеля была полностью заряжена противоположно заряду красителя. Для этого рН раствор метилового оранжевого поддерживали при рН 4,8, а метиленового синего – при рН 9,18.

Определение изоэлектрической точки криогелей. Его проводили по изменению скорости протекания жидкости через объем криогеля в зависимости от рН раствора. Для этого высушенный образец криогеля помещали в воду, затем после полного набухания переносили в стеклянную трубку диаметром 7 мм. Трубку располагали вертикально, в нижнем отверстии трубки закрепляли силиконовую пробку таким образом, чтобы она удерживала криогель от смещения, но при этом не мешала свободному течению жидкости. С помощью перистальтического насоса LS-301 (Россия, 2013) создавался столб жидкости высотой 40 см. Затем в течение 5 мин через криогель прокачивали раствор с заданным значением рН для достижения равновесного состояния. После этого определяли массу раствора, пропускаемого криогелем за 1 мин, на аналитических весах.

Результаты и их обсуждение. Микрофотографии синтезированных образцов МАК/ДМАЭМ исследованы методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и представлены на рисунке 3.

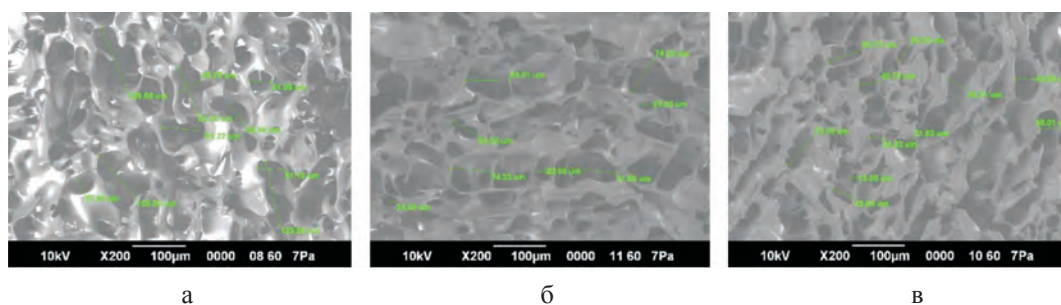


Рисунок 3 – Микрофотографии амфотерных криогелей состава МАК/ДМАЭМ. Количество МБАА: *а* – 2,5%, *б* – 5%, *в* – 10%

Средний диаметр пор криогелей в поперечном сечении – 41–71 мкм. Причем с увеличением содержания сшивающего агента 2,5; 5 и 10% размеры пор закономерно уменьшаются, что свидетельствует о росте плотности сетки (рисунок 4).

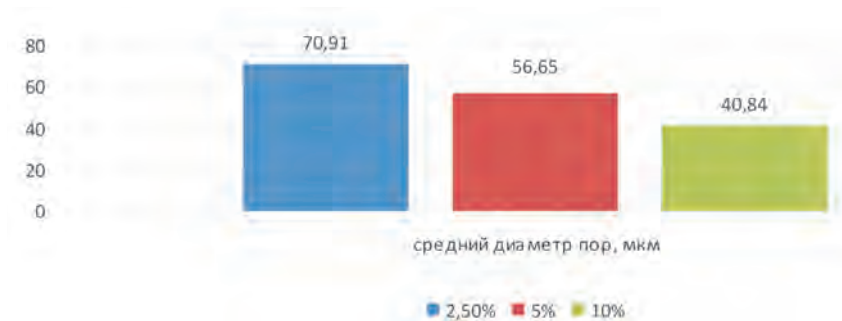


Рисунок 4 – Влияние содержания сшивающего агента на средний размер пор

Поскольку определение состава амфотерного криогеля рН-титрованием представляет некоторую трудность, нами предложена новая методика нахождения количества основных спектрофотометрическим методом путем установления количества адсорбированного красителя кислотными и основными группами. При этом возникала необходимость исключения физической сорбции красителей криогелями.

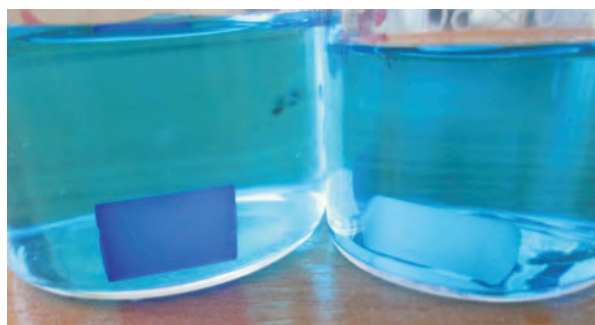


Рисунок 5 – Сорбция метиленового синего криогелями из раствора

Как видно из рисунка 5, амфотерный криогель интенсивно окрашивается в растворе метиленовой сини, тогда как криогель на основе полиакриламида, не содержащего ионогенных групп, практически не окрашивается, т.е. не сорбирует молекулы красителя. Это свидетельствует о том, что амфотерный криогель с катионным красителем взаимодействует за счет электростатических взаимодействий с карбоксильными группами шитых макромолекул (рисунок 6).

Состав амфотерного криогеля, определенный спектрофотометрическим методом – по количеству адсорбированных анионных и катионных красителей криогелем, соответствует составу исходной мономерной смеси и равен эквимольному составу (см. таблицу).

Результаты спектрофотометрического исследования взаимодействия криогелей с красителями

Удельная адсорбция $\Gamma \cdot 10^{-6}$, моль/г		Доля карбоксильных групп, %	Доля аминных групп, %
Метиленовый синий	Метилоранжевый		
1,73	1,74	49,84	50,16

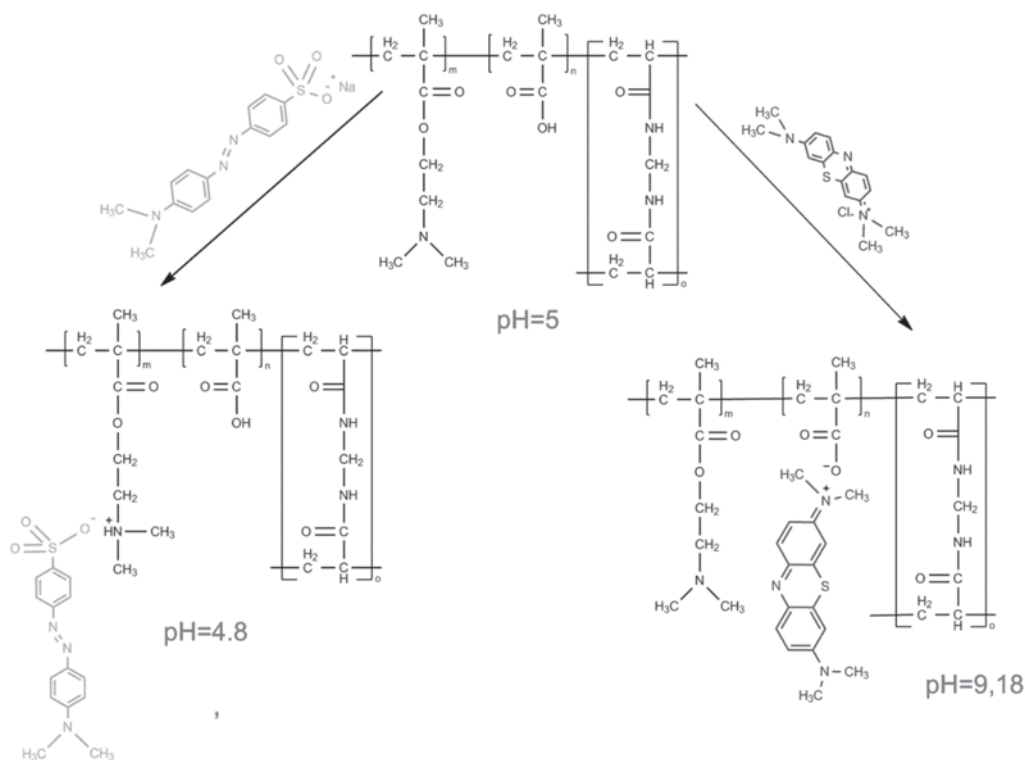


Рисунок 6 – Схема взаимодействия криогеля с красителями

Важнейшей характеристикой полиамфолитов является наличие изоэлектрической точки (ИЭТ) [10–13]. Значение ИЭТ криогеля МАК-ДМАЭМ определено по измене-

нию скорости протекания жидкости через объем криогеля в зависимости от pH раствора (рисунок 7).

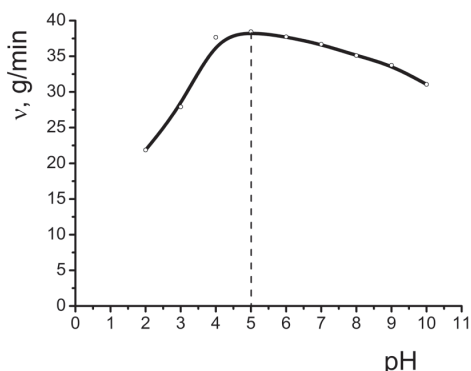


Рисунок 7 – Определение ИЭТ криогеля

Как видно из рисунка 7, ИЭТ соответствует максимуму скорости протекания жидкости через объем криогеля. По-видимому, такой эффект вызван тем, что в областях pH до и после ИЭТ криогель обладает избыточным зарядом одного знака, что приводит к электростатическому отталкиванию и соответственно набуханию криогеля. Так как сам криогель при этом находится в ограниченном пространстве, то любое набухание способствует закупорке пор и уменьшению скорости протекания жидкости через объем криогеля.

Выводы:

1. Методом радикальной сополимеризации синтезированы макропористые амфотерные криогели эквимольного состава.
2. Методом СЭМ изучена морфология поперечного сечения криогелей и определен средний размер пор.
3. Установлен состав криогелей спектрофотометрическим методом.
4. По скорости протекания жидкости через объем криогеля найдена изоэлектрическая точка полиамфолита.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Лозинский В. И. Криогели на основе природных и синтетических полимеров: получение, свойства и области применения // Успехи химии. – 2002. – № 71. – С. 559
- 2 Mattiasson B., Kumar A., Galaev I.Yu. Macroporous polymers: Production, Properties and Biotechnological // Biomedical Application: Eds., CRC Press, Boca Raton, 2010. – 513 p.
- 3 Lozinsky V. I., Galaev I.Yu., Plieva F.M. e. a. Polymeric cryogels as promising materials of biotechnological interest // Trends Biotechnol. – 2003. – V.21. – P. 445.
- 4 Kudaibergenov S., Adilov Zh., Berillo D., e. a. Novel Macroporous Amphoteric Gels: Preparation and Characterization // eXPRESS Polymer Letters.– 2012. – V.6, N 57 – P. 346–353.
- 5 Tatykhanova G., Sadakbayeva Zh., Berillo D., Galaev I., Abdullin Kh., Adilov Zh., Kudaibergenov S. Metal Complexes of Amphoteric Cryogels based on Allylamine and Methacrylic

Acid // *Macromolecular Symposia*. – 2012. – V.317–318. – P. 7–17.

6 Kudaibergenov S., Nueraje N., Khutoryanskiy V. Amphoteric Nano-, Micro- and Macrogels, Membranes, and Thin Films // *Soft Matter*. – 2012. – V.8. – P. 9302–9321.

7 Gun'ko V.M., Savina I. N., Mikhailovsky S. V. Cryogels: Morphological, structural and adsorption characterization // *Advances in Colloid and Interface Science*. – 2013. – V. 187–188. – P. 1–46.

8 Лозинский В.И. Новое семейство макропористых и сверхмакропористых материалов биотехнологического назначения – полимерные криогели // *Изв. РАН. Сер. хим.* – 2008. – № 5. – С. 996–1013.

9 Gaur R. K., Gupta K. C. A spectrophotometric method for the estimation of amino-groups on polymer supports // *Analytical Biochemistry*. – 1989. – V. 180, N 2. – P. 253–258.

10 Kudaibergenov S.E. *Polyampholytes: Synthesis, Characterization, and Application*. – New York, 2002. – 220 p.

11 Ciferri A., Kudaibergenov S.E. Natural and synthetic polyampholytes. 1. Theory and basic structure // *Makromol. Rapid Commun.* – 2007. – V. 28. – P. 1953–1968.

12 Kudaibergenov S.E., Ciferri A. Natural and synthetic polyampholytes. 2. Functions and applications // *Makromol. Rapid Commun.* – 2007. – V. 28. – P. 1969–1986.

13 Kudaibergenov S.E. *Polyampholytes* // *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*. – John Wiley Interscienc, 2008. – P. 1–30. DOI:10.1002/0471440264.pst562.

УДК 541.64

**И. Э. СУЛЕЙМЕНОВ¹, А. П. ФАЛАЛЕЕВ², М. Ю. РЯБЦЕВ²,
Р. БАКЫТБЕКОВ³, Д. КАЛДЫБЕКОВ⁴, Г. С. ИРМУХАМЕТОВА³**

¹Алма-Атинский институт энергетики и связи

²Севастопольский национальный технический университет

³Казахский национальный университет им. аль-Фараби

⁴Казахский национальный технический университет им. К. И. Сатпаева

К ВОЗМОЖНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ НОВЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ

Обоснована возможность реализации нового подхода к созданию преобразователей солнечной энергии в электричество. Подход основывается на использовании термочувствительных полиэлектролитных гидрогелей, обеспечивающих разделение раствора низкомолекулярной соли на низко- и высококонцентрированную части в двухстадийном цикле сжатия–набухания. На первой стадии цикла осуществляется поглощение гелем обедненного по соли раствора, а на втором солнечное тепло вызывает коллапс геля, сопровождающийся отделением обедненного раствора. Электричество вырабатывается при смешивании обедненного и обогащенного по соли растворов за счет применения схемы концентрационного элемента. Показано, что повышение эффективности работы концентрационного элемента может быть обеспечено за счет использования электрофоретических эффектов, возникающих при протекании раствора низкомолекулярной соли через столб дисперсии гидрогеля.

Ключевые слова: источник электрической энергии, полимерные гидрогели, термочувствительность, набухание, коллапс.

Күн көзі энергиясынан алынатын электр тогын алудың жаңа жолдарын жүзеге асыру мүмкіншіліктері анықталған. Бұл мүмкіншілік екі сатылы жиырылу-ісіну циклінде төменгі молекулалық тұз ерітінділерінің төменгі- және жоғары концентрлі бөлікке бөлінуін қамтамасыз ететін, термосезімтал полиэлектролитті гидрогельдер негізінде қарастырылған. Циклдің бірінші сатысында қанықпаған тұз ерітіндісінде гелдің жұтылуы іске асса, екінші сатыда күн жылуының негізінен қанықпаған ерітіндіден бөліну арқылы гелдің коллапс қалпына келуін қамтамасыз етеді. Электр көзі концентрлі элемент сызбасын қолдану арқылы тұзда қаныққан және қанықпаған ерітінділердің араласуы негізінде пайда болады. Гидрогелдің дисперсиялық бағанасы арқылы тамшылайтын төменгі молекулалық тұздардың негізінде түзілген электрофоретикалық құбылысты қолдану негізінде пайда болатын концентрлі элемент жұмысының тиімділігінің жоғарлауы көрсетілген.

Кілтті сөздер: электроэнергиясының көзі, полимерлі гидрогельдер, термосезімталдық, ісіну, коллапс.

The possibility of new approach realization to creation of converters for solar energy transforming into electricity has been substantiated. The approach is based on thermo-sensitive polyelectrolyte hydrogels using, which provide separation of low molecular salt solution into low- and high-concentrated parts during two-stage collapse-swelling cycle. At the first stage of the cycle depleted by salt solution is absorbed by gel, and at the second stage solar heat causes gel collapse, accompanied with poor solution separation. Electric power is generated when mixing of depleted and enriched by salt solutions at the expense of scheme of concentration cell using. It is shown that increase of efficiency of concentration cell performance may be achieved by electrophoretic effects using, taking place when low molecular salt solution leaking through a column of dispersion of hydrogel.

Keywords: electric energy source, polymeric hydrogels, thermo-sensitivity, swelling, collapse.

Проблема преобразования энергии солнечной радиации в электрическую в настоящее время еще далека от решения, демонстрирующего приемлемую экономическую эффективность. Известно, что достаточно широкое распространение солнечных электростанций обусловлено, в первую очередь, дотациями, выделение которых часто связано с политическими соображениями и стремлением ряда стран к максимальной энергетической независимости [1,2]. Стоимость одного киловатт-часа электрической энергии в настоящее время продолжает существенно превышать аналогичный показатель для энергии, получаемой на основе ископаемого сырья [1,2]. Это делает актуальным не только совершенствование преобразователей солнечной энергии, построенных на известных принципах, но и поиск альтернативных методов получения электрической энергии через утилизацию солнечного тепла.

В этой статье предлагается новый подход к разработке преобразователей солнечной энергии, использующий уникальные свойства термочувствительных полимерных гидрогелей.

Такие соединения в настоящее время изучены достаточно подробно [3–5]. Они представляют собой сшитые полимерные сетки, в состав которых, как правило, входят как гидрофильные, так и гидрофобные функциональные группы. В результате состояние гидрогеля в целом (в частности, его степень набухания) определяется гидрофобно-гидрофильным балансом, сдвиг которого может приводить к резкому изменению swelling ratio [3–5]. Сдвиг гидрофобно-гидрофильного баланса, в свою очередь, может быть обусловлен в том числе и вариациями температуры, так как характер гидрофобных взаимодействий существенно зависит от температуры.

Необходимо подчеркнуть, что равновесная степень набухания гидрогелей (в особенности полиэлектролитных) может достигать экстремально высоких значений. Так, гидрогели на основе полиакриловой кислоты и высокомолекулярных кросс-агентов [6] могут поглощать до 10 кг воды на 1 г сухого вещества. Соответственно абсолютные значения объемов воды, поглощаемых гидрогелем при набухании, могут быть очень значительными. Именно этот фактор определяет успех использования гидрогелей в качестве суперадсорбентов в изделиях гигиенического назначения, а также в качестве средства удержания влаги в почвах.

В настоящее время синтезированы гидрогели, обладающие резко нелинейной зависимостью степени набухания от температуры. Так, известны образцы, объем которых изменяется в десятки раз при изменении температуры на несколько градусов Цельсия [7]. При этом существует также возможность для синтеза многокомпонент-

ных гидрогелей, которые содержат как ионогенные группы, так и группы, обеспечивающие повышенную восприимчивость сетки к вариациям температуры. Такие образцы сочетают в себе преимущества полиэлектролитных гелей (высокие степени набухания) и сеток, предоставляющих возможность для регулировки степени набухания за счет сравнительно малого изменения управляющих параметров (например, температуры или кислотности среды).

Такая особенность термочувствительных полимерных гидрогелей позволяет существенно модифицировать методику деионизации воды, ранее предложенную в [8]. В работе [8], а также в [9,10] было показано, что существует возможность понижения концентрации низкомолекулярных солей в воде с помощью явления обратимого коллапса гидрогелей. В [8] описан двухэтапный цикл сжатия – набухания, позволяющий в том числе получать опресненную воду.

На первой стадии цикла [8] осуществляется набухание полиэлектролитного гидрогеля в воде, содержащей растворенные низкомолекулярные соли. При этом в силу эффекта перераспределения концентраций [9,10] гидрогель в процессе увеличения объема аккумулирует воду с пониженным содержанием низкомолекулярных солей. (При условии, что гель размещается в растворе соли сравнительно низкой концентрации, он сорбирует [8] практически чистую воду.) Теория эффекта перераспределения концентраций, построенная на основе множителей Доннана, в настоящее время также хорошо развита [11] и доведена до методики инженерного расчета.

На второй стадии цикла [8] полностью или частично деионизованная вода отделяется от геля под воздействием электрического тока. Затем цикл повторяется снова.

Коллапс геля, вызываемый электрическим током, является хорошо изученным процессом [12,13], в частности доказана его обратимость, что позволяет использовать гель в цикле [8] многократно. Однако цикл, предложенный в [8], обладает очевидным недостатком, связанным с использованием дополнительного источника энергии.

Легко видеть, что применение термочувствительных гидрогелей (или полиэлектролитных гидрогелей, приобретших это свойство за счет модификации путем образования комплекса с гидрофобным компонентом) позволяет устранить указанный недостаток. А именно принцип работы цикла сжатия – набухания [8] остается прежним, с той разницей, что коллапс, обеспечивающий отделение деионизованной воды на второй стадии, осуществляется за счет нагрева солнечным теплом. Необходимо подчеркнуть, что известны многочисленные образцы термочувствительных гидрогелей, коллапс которых происходит при температуре 35 – 55⁰C [3–5]. Такие показатели легко достижимы для систем, работающих на основе солнечного тепла, например солнечных коллекторов, предназначенных для обеспечения сооружений теплой водой.

Далее, цикл [8] по существу работает как разделитель исходного объема солевого раствора на две части, одна из которых содержит более, а другая – менее концентрированный солевой раствор. Следовательно, возникает возможность скомбинировать этот цикл с хорошо известными концентрационными источниками электричества. А именно известно, что при перетекании (через мембрану) более концентрированного солевого раствора в объем, содержащий раствор той же соли с более низкой концентрацией, между указанными частями системы возникает разность электрических потенциалов.

Этот эффект может быть заметно усилен электрофоретическими явлениями, возникающими при протекании раствора соли через столб, заполненный гидрогелем. Это иллюстрирует демонстрационный эксперимент, схема которого показана на рисунке.

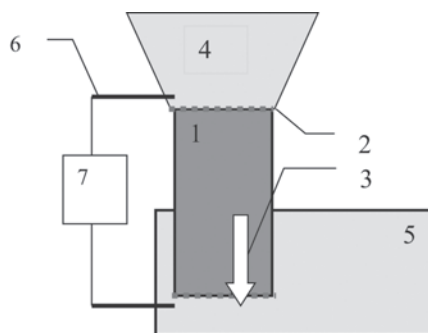


Схема демонстрационных экспериментов по определению потенциала течения раствора через гидрогель.

1 – трубка, заполненная гидрогелем; 2 и 3 – мембраны, отделяющие рабочее вещество от используемых растворов низкомолекулярных солей; 4 – объем, заполняемый раствором низкомолекулярной соли; 5 – буферный объем, служащий для стока низкомолекулярной соли, прошедшей через слой гидрогеля; 6 – электроды для измерения динамической разности потенциалов; 7 – прецизионный вольтметр, обеспечивающий возможность измерений до единиц милливольт

В экспериментах гель 1 размещали между мембранами 2 и 3. Объем 4 над гелем заполняли раствором низкомолекулярной соли, причем нижний буферный объем 5 изначально заполняли или деионизованной водой, или раствором низкомолекулярной соли при той же концентрации, что и объем 5.

В экспериментах регистрировали разность электростатических потенциалов, возникающую при течении раствора соли через гель; параллельно измеряли изменение высоты столба раствора над гелем и разность потенциалов как функцию времени.

Система, схема которой показана на рисунке, представляет собой концентрационный элемент, отличающийся тем, что вместо мембраны в ней применяется столб, заполненный дисперсией гидрогеля.

Использовались следующие параметры. Объем заливаемого в область 1 раствора 0,05М КСl = 10 мл. Объем, заполненный буфером под гелем на основе полиакриловой кислоты (использовался промышленно выпускаемый гидрогель), равен 300 мл. В рассматриваемой серии экспериментов буфер заполнялся деионизованной водой.

Измерение проводили без замены жидкости (воды), заполняющей буфер. Заливали 10 мл раствора 0,05М КСl в стеклянный цилиндр с диаметром 20 мм, заполненный набухшим гелем ПАК высотой 50 мм. Соответственно высота раствора над гелем тоже составила 50 мм. Не меняя жидкость в буферном объеме, периодически заливали раствор 0,05М КСl. Опыт повторяли несколько раз.

Примеры результатов проведенных экспериментов приведены в таблице. Представлено значение объема раствора над столбцом геля V , время, за которое объем раствора уменьшается до указанной величины τ , а также измеряемое значение разности

потенциалов U (колонки таблицы сгруппированы по 3, что соответствует трем заполнениям системы).

Изменение вольтажа по мере течения раствора хлорида калия через гель на основе ПАК, буфер заполнен водой, первое заполнение

V , мл	τ ,	U , V	V , мл	τ ,	U , V	V , мл	τ ,	U , V
10	0	0,15	10	0	0,125	10	0	0,1
9	9,57	0,15	9	9,24	0,13	9	9,37	0,0941
8	17,96	0,1537	0,5	19,28	0,13	8	20,24	0,0925
7	27,32	0,1544	0	29,57	0,1379	7	33,86	0,0951
6	39,66	0,1543	6	42,78	0,1403	6	47,36	0,0937
5	49,52	0,1548	5	54,49	0,1318	5	58,79	0,0919
4	61,89	0,1473	4	68,12	0,121	4	73,42	0,0963
3	77,37	0,148	3	83,88	0,1266	3	91,67	0,095
2	97,21	0,146	2	108,35	0,106	2	117,43	0,1
1		0,1345	1	122,66	0,1067	1	144,55	0,0998
0		0,125	0	140,26	0,1077	0	170,44	0,1

Из таблицы видно, что имеет место постепенное уменьшение фиксируемого вольтажа по мере выравнивания концентраций в объемах под и над гидрогелем. Это обстоятельство само по себе легко объясняется концентрационными соображениями. Действительно, в стационарных условиях система, в которой гель разделяет два раствора с отличающимися концентрациями, может рассматриваться как стандартный концентрационный элемент.

Однако зависимость вольтажа от концентрации заведомо не является однозначной, а именно наблюдаемая разность потенциалов зависит от высоты столба над гелем, что прямо указывает на существование зависимости регистрируемой величины от скорости течения раствора, что и говорит о влиянии электрофоретических процессов на измеряемую разность потенциалов. Следовательно, эффективность работы концентрационных элементов может быть существенно увеличена за счет использования тока раствора через гель.

Представленный демонстрационный эксперимент, прежде всего, еще раз подчеркивает, что можно сравнительно просто получать электрическую энергию в системе, где существует возможность для разделения раствора соли на объемы, содержащие менее и более концентрированные растворы. При этом регистрируемая разность потенциалов (сотни милливольт) позволяет добиться таких значений напряжений, которые бы обеспечили возможность для реального практического использования (как за счет последовательного соединения элементов, так и за счет преобразования электротехническими средствами).

Таким образом, комбинация модифицированного цикла [8] и модифицированного концентрационного элемента позволяет построить источник энергии нового типа, преобразующий солнечное тепло в электричество. Разумеется, возможность исполь-

зования таких систем на практике будет определяться, в первую очередь, генерируемой мощностью, а также экономическими соображениями. Однако представленные результаты являются достаточными для проведения дальнейших исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1 Edenhofer, O., Hirth, L., Knopf, B., Pahle, M., Schlömer, S., Schmid, E., & Ueckerdt, F. On the economics of renewable energy sources // *Energy Economics*. – 2013. – V. – 40. – P. 12–23.

2 Solangi, K. H., Islam, M. R., Saidur, R., Rahim, N. A., & Fayaz, H. A review on global solar energy policy // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2011. – V. 15(4). – P. 2149 – 2163.

3 Mun, G. A., Nurkeeva, Z. S., Beissegul, A. B., Dubolazov, A. V., Urkimbaeva, P. I., Park, K., & Khutoryanskiy, V. V. Temperature-Responsive Water-Soluble Copolymers Based on 2-Hydroxyethyl Acrylate and Butyl Acrylate // *Macromolecular chemistry and physics*. – 2007. – V. 208(9). – P. 979-987.

4 Dergunov, S. A., Mun, G. A., Dergunov, M. A., Suleimenov, I. E., & Pinkhassik, E. Tunable thermosensitivity in multistimuli-responsive terpolymers // *Reactive and Functional Polymers*. – 2011. – V. 71(12). – P. 1129–1136.

5 Mun, G. A., Yermukhambetova, B. B., Urkimbayeva, P. I., Bakytbekov, R. B., Irmukhametova, G. S., Mangazbayeva, R. A., & Suleimenov, I. E. Synthesis and Characterization of Water Soluble and Water Swelling Thermo-sensitive Copolymers based on 2-Hydroxyethylacrylate and 2-Hydroxyethylmethacrylate // *AASRI Procedia*. – 2012. – V. – 3. – P. 601–606.

6 Buyanov, A. L., Revelskaya, L., Petropavlovskii, G. A., Lebedeva, M. F., Zakharov, S. K., Petrova, V. A., & Nudga, L. Features of the network structure of strongly swelled hydrogels crosslinked with unsaturated cellulose esters // *Vysokomolekulyarnye soedineniya. Series B*. – 1989. V. 31(12). – P. 883–887.

7 Khutoryanskaya, O. V., Mayeva, Z. A., Mun, G. A., & Khutoryanskiy, V. V. Designing temperature-responsive biocompatible copolymers and hydrogels based on 2-hydroxyethyl (meth) acrylates // *Biomacromolecules*. – 2008. – V. 9(12). – P. 3353–3361.

8 Budtova, T., & Suleimenov, I. Physical principles of using polyelectrolyte hydrogels for purifying and enrichment technologies // *Journal of applied polymer science*. – 1995. – V. 57(13). – P. 1653–1658.

9 Budtova, T. V., Belnikevich, N. G., Suleimenov, I. E., & Frenkel, S. Y. Concentration redistribution of low-molecular-weight salts of metals in the presence of a strongly swelling polyelectrolyte hydrogel // *Polymer*. – 1993. – V. 34(24). – P. 5154–5156.

10 Budtova, T. V., Suleimenov, I. E., Bichutskii, D. A., & FRENKEL, S. Redistribution of low-molecular-mass acid between polyelectrolyte hydrogel and solution // *Polymer science. Series A. Chemistry, physics*. – 1995. – V. 37(6). – P. 646–650.

11 Бектуров Е.А., Сулейменов И.Э. Полимерные гидрогели. – Алматы: Ғылым, 1998.

12 Budtova, T., Suleimenov, I., & Frenkel, S. Electrokinetics of the contraction of a polyelectrolyte hydrogel under the influence of constant electric current // *Polymer Gels and Networks*. – 1995. – V. 3(3). – P. 387–393.

13 Suleimenov, I. E., Sagitov, V. B., Salina, A. A., Kudaibergenov, S. E., Nurkeeva, Z. S., & Shaikhutdinov, E. M. Influence of the electric current on the swelling of polyampholyte hydrogels // *Polymer science. Series B*. – 1998. – V. 40(3-4). – P. 67–70.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

УДК 666.015.4

О. А. МИРЮК

Рудненский индустриальный институт

ВСПЕНИВАНИЕ СОЛЕВЫХ ЗАТВОРИТЕЛЕЙ ДЛЯ МАГНЕЗИАЛЬНЫХ ПЕНОБЕТОНОВ

Исследована поризация композиций на основе растворов солей магния. Определена зависимость реологических свойств растворов $MgCl_2$ и $MgSO_4$ от состава и концентрации соли, вида пенообразователя. Установлена зависимость образования пены от реологических характеристик растворов магниевых солей. Выявлена предпочтительность протеинового пенообразователя для магниевых суспензий. Найдена высокая способность к вспениванию растворов хлорида магния. Обоснован состав жидкости для образования устойчивой пены. Выявленные особенности поризации положены в основу технологии магниевых пенобетонов.

Ключевые слова: *реологические свойства, пена, магниевые пенобетоны.*

Мақала магний тұздарының ерітіндісінің негізінде поризация композициясын зерттеуге арналған. Көбіктендіргіштің түрінен, тұздың құрамынан және концентрациясынан $MgCl_2$ және $MgSO_4$ ерітінділерінің реологиялық қасиетке тәуелділігі анықталды. Магний тұздарының ерітіндісінің реологиялық сипаттамасынан көбіктің жасалу тәуелділігі белгіленді. Магниевік суспензиялар үшін протеинді көбіктендіргіштің артық көрінушілігі айқындалды. Магний хлориді ерітіндісінің көпіршуіне зор мүмкіндік анықталды. Төзімді көбікті жасау үшін сұйықтықтың құрамы дәлелденді. Айқындалған поризацияның өзгешеліктері магниевік көбік бетондардың технологиясының негізіне тиесілі.

Кілттік сөздер: *реологиялық қасиет, көбік, магниевік көбік бетондар.*

This paper is devoted to studying process of pores forming in compositions based on of magnesium saline solutions. Dependence of rheological properties of $MgCl_2$ and $MgSO_4$ solutions on structure and concentration of salt, type of foam generator was defined. Dependence of foam forming on rheological characteristics of solutions of magnesium salts was determined. Preference of protein foam generator for magnesium suspensions was brought to light. High ability to foaming of magnesium chloride solutions was established. Composition of liquid for stable foam forming was justified. The identified characteristic properties of process of pores forming were used as the basis for creation technology of magnesium foam concretes.

Keywords: *rheological properties, foam, magnesium foam concretes.*

Современное развитие технологии ячеистых бетонов связано с необходимостью расширения номенклатуры применяемых вяжущих за счет разработки технологиче-

ски, экономически и экологически эффективных материалов, обеспечивающих высокое качество изделий. Среди бесцементных материалов особое место занимают магниезальные вяжущие, для затворения которых используют растворы солей, активизирующие твердение порошкообразной части композиции. Изменение состава жидкой составляющей способно повлиять на процесс поризации формовочных масс.

Для магниезальных композитов в качестве затворителя используют растворы солей, превышающие по плотности воду – традиционный затворитель цементных бетонов. Сведения о характере образования пены в солевых растворах для ячеистых бетонов немногочисленны.

Цель работы – исследование влияния состава магниезального солевого раствора на свойства пены.

Для изучения пенообразования выбраны растворы $MgCl_2$ и $MgSO_4$, обеспечивающие наибольшую интенсивность твердения магниезальных вяжущих.

Поверхностное натяжение жидкости определяли сталагмометрическим методом. Для оценки вязкости растворов солей использовали вискозиметр ВПЖ-2. Стойкость пены находили по синерезису – отделение жидкой фазы от пены.

В качестве пенообразователей использованы поверхностно-активные вещества (ПАВ) различного происхождения: протеиновый пенообразователь «Унипор» и синтетическое пенообразующее средство Fairy. В качестве основы для рабочего раствора приняты водные растворы $MgCl_2$ и $MgSO_4$ с плотностью 1100, 1150, 1200, 1250 и 1300 кг/м³. При приготовлении растворов $MgSO_4$ повышенной плотности (более 1200 кг/м³) затруднительно растворение кристаллической соли, поэтому максимальная плотность этого раствора 1290 кг/м³. Пенообразователи вводили в раствор соли в количестве 3% (принято с учетом предварительных экспериментов).

В качестве показателей, характеризующих способность рабочего раствора к формированию пены, приняты вязкость и поверхностное натяжение жидкостей, кратность и устойчивость пены.

Результаты определения поверхностного натяжения и вязкости исследуемых растворов представлены в таблицах 1 и 2. Введение пенообразователей влияет на вязкость жидкостей: «Унипор» повышает, Fairy снижает этот показатель. Неоднозначность поведения водных растворов ПАВ обусловлена различной плотностью этих жидкостей («Унипор» – 1130 кг/м³, Fairy – 980 кг/м³). Поверхностное натяжение в растворах с пенообразователями снижается и становится почти вдвое меньше для «Унипор» и почти вчетверо меньше для Fairy.

Солевые растворы на основе хлорида магния отличаются повышенной вязкостью, которая по мере увеличения плотности раствора возрастает. Вид пенообразователя практически не влияет на вязкость растворов хлорида магния. Повышенную чувствительность к введению пенообразователя проявляет поверхностное натяжение: растворы с «Унипор» имеют тенденцию к снижению показателя при увеличении концентрации соли; растворы с Fairy склонны к возрастанию поверхностного натяжения по мере увеличения концентрации соли.

Таблица 1 – Реологические свойства растворов хлорида магния с ПАВ

Вид пенообразователя	Плотность раствора, кг/м ³	Кинематическая вязкость ν , мм ² /с	Динамическая вязкость η , мПа·с	Поверхностное натяжение σ , Н/м
«Унипор»	Вода	1,1053	1,1089	0,04812
	1100	1,6738	1,8258	0,04581
	1150	2,3098	2,6577	0,04502
	1200	3,2784	3,9318	0,04407
	1250	4,5684	5,6383	0,04340
	1300	6,2625	7,9634	0,04444
Fairy	Вода	0,9823	0,9813	0,02231
	1100	1,7138	1,8754	0,02624
	1150	2,3577	2,7045	0,03613
	1200	3,2997	3,9474	0,04665
	1250	4,6206	5,6834	0,04325
	1300	6,3195	7,9189	0,03538
Вода	1000	1,0320	1,0248	0,07275

Таблица 2 – Реологические свойства растворов сульфата магния с ПАВ

Вид пенообразователя	Плотность раствора, кг/м ³	Кинематическая вязкость ν , мм ² /с	Динамическая вязкость η , мПа·с	Поверхностное натяжение σ , Н/м
«Унипор»	Вода	1,1053	1,1089	0,04812
	1100	1,6787	1,8405	0,04410
	1150	2,2502	2,5792	0,04159
	1200	3,2027	3,8347	0,03771
	1250	4,0293	4,9689	0,03552
	1290	5,0257	6,3359	0,03706
Fairy	Вода	0,9823	0,9813	0,02231
	1100	1,6237	1,7810	0,02703
	1150	2,0397	2,3399	0,03352
	1200	3,7026	4,4631	0,03627
	1250	4,6206	5,5721	0,04567
	1290	5,3568	6,7591	0,04934
Вода	1000	1,0320	1,0248	0,07275

Однако самые плотные растворы проявили склонность к снижению поверхностного натяжения.

Солевые растворы на основе сульфата магния имеют принципиальное сходство в характере изменения исследуемых показателей. Однако состав соли повлиял на абсолютные значения измеряемых величин.

Вязкость растворов в основном понижена по сравнению с хлорсодержащим раствором. Более выразительно уменьшение поверхностного натяжения сульфатных растворов в сравнении с хлорсодержащими составами.

Наблюдения вспенивания исследуемых растворов позволили выявить следующее. По сравнению с водой раствор хлорида магния обеспечивает получение пены пониженной кратности и повышенной плотности (рисунок 1, таблица 3). Это обусловлено исходными характеристиками раствора: повышенной вязкостью, высокой плотностью при сравнительно высоком поверхностном натяжении (см. таблицу 1).

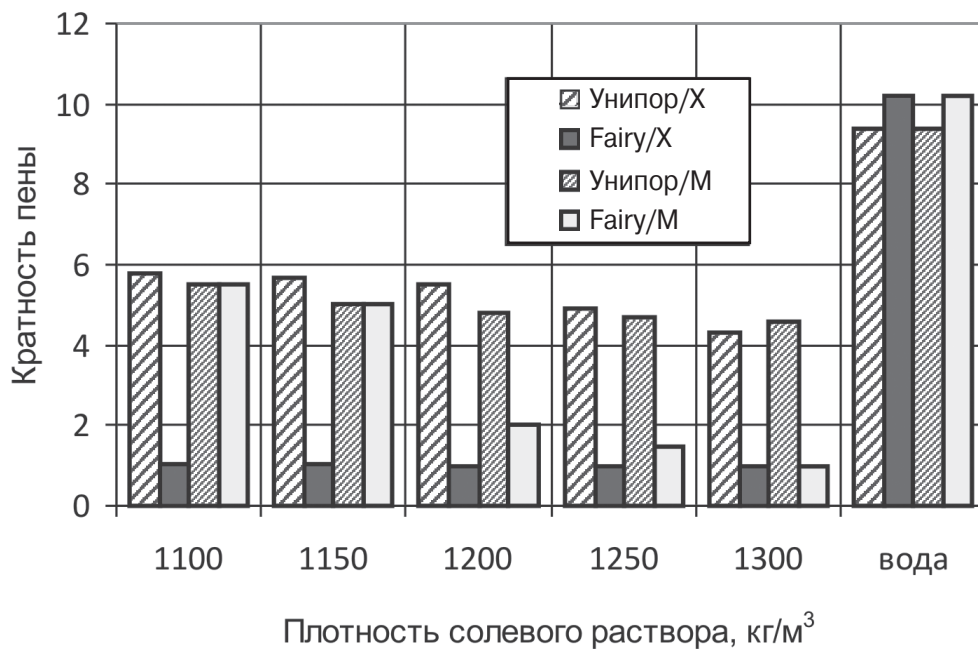


Рисунок 1 – Влияние состава солевого раствора на кратность пены (Х – хлорид магния, М – сульфат магния)

Результаты эксперимента свидетельствуют о влиянии состава затворителя на вспениваемость массы. Водные растворы хлорида магния, содержащие Fairy, практически не вспенились: образуется низкократная и неустойчивая пеномасса. Можно предположить, что одной из причин низкой вспениваемости является изменение состава раствора, поскольку реологические показатели жидкости не обуславливают снижения вспенивающей способности. Раствор хлорида магния проявляет высокую способность к вспениванию с протеиновым пенообразователем «Унипор».

Таблица 3 – Влияние состава раствора на плотность пены

Вид пенообразователя	Плотность раствора, кг/м ³	Плотность пены, кг/м ³ , полученная из раствора	
		хлорида магния	сульфата магния
«Унипор»	Вода	54	
	1100	209	198
	1150	235	219
	1200	278	234
	1250	287	248
	1300	310	263
Fairy	Вода	20	
	1100	1105	200
	1150	1136	226
	1200	1190	593
	1250	1235	830
	1300	1246	1117

Водные растворы сульфата магния, содержащие пенообразователь «Унипор», образуют неустойчивую пену, структура которой быстро насыщается крупными порами (рисунок 2).

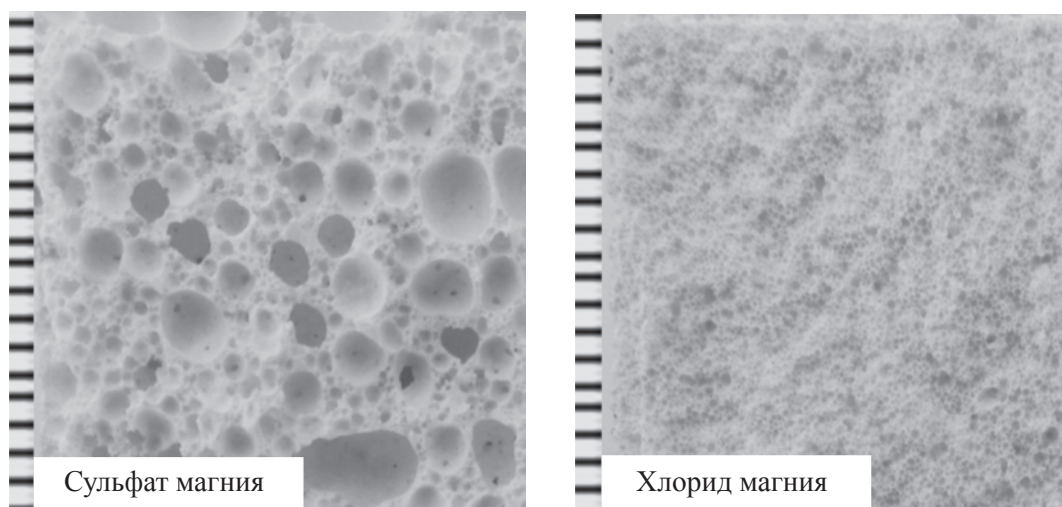


Рисунок 2 – Структура магниезиального пенобетона из различных растворов

Водные растворы сульфата магния, содержащие пенообразователь Fairy, проявляют пониженную способность к вспениванию, что усиливается с повышением плотности раствора. Известно [1], что водородный показатель рН растворов пенообразо-

вателей связан с величиной стерического эффекта, обусловленного формами цепей радикалов и характером зарядов на поверхности зерен цемента и гидратов. С увеличением разницы водородных показателей пенообразователя и цементной системы влияние стерического эффекта возрастает, что приводит к разрушению пены и ухудшению качества пенобетона.

Исследовано влияние плотности затворителя на устойчивость пены по синерезису. Раствор хлорида магния с различной плотностью смешивали с пенообразователем «Унипор». Выявлено, что с повышением концентрации хлорида магния в растворе образуется более плотная по структуре пена, что способствует уменьшению истечения жидкости. Для формирования устойчивой мелкопористой пены предпочтителен раствор хлорида магния с плотностью 1200 – 1250 кг/м³. Повышение плотности раствора затворителя более 1250 кг/м³ почти не меняет состояния массы [2].

Добавление пенообразователя оказывает двойственное воздействие на качество пенобетона. Поверхностная активность пенообразователя способствует формированию пористой структуры ячеистого бетона и обеспечивает заданную его плотность. В то же время добавление пенообразователя нередко приводит к замедлению процессов схватывания и твердения вяжущего, деструкции цементной системы, уменьшению прочности конечного продукта, поэтому для пенобетона необходим выбор рациональной концентрации пенообразователя. Экспериментально установлено, что увеличение концентрации пенообразователя в рабочем солевом растворе более 2 – 3% нецелесообразно по причине снижения эффекта вспенивания.

Таким образом, определена зависимость реологических свойств рабочих растворов для получения магнизальной пеномассы от состава и концентрации солевого затворителя, вида пенообразователя. Найдены условия, обеспечивающие вспенивание водных растворов хлорида магния и сульфата магния. Выявлены зависимости образования пены от реологических характеристик растворов магниевых солей. Определена повышенная вспениваемость растворов хлорида магния. Установлена предпочтительность протеиновых пенообразователей для солевых растворов. Обоснованы предпочтительные комбинации составляющих рабочего раствора (соль затворителя – пеноконцентрат).

ЛИТЕРАТУРА

1 Шахова Л.Д., Балясников В. В. Пенообразователи для ячеистых бетонов. – Белгород: СК типография, 2002. – 147 с.

2 Мирюк О.А. Особенности магнизального пенобетона // Бетон и железобетон в Украине. – 2012. – № 5. – С. 9 – 11.

**А. А. КУЛИБАЕВ¹, К. А. НУРБАТУРОВ², И. М. ДЁ²,
Л. А. ДРУЧИНИНА²**

¹«АКА групп»

²ОЮЛ «Ассоциация “Индустриальные строительные технологии РК”»

ПЕНОБЕТОН – СОВРЕМЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

Рассмотрены вопросы развития технологии ячеистых бетонов, в том числе пенобетонов на основе местного сырья, отходов теплоэнергетики, с применением пеноконцентрата «Неопор». Исследованы процессы снижения трещинообразования пенобетонов. Установлена возможность получения пенобетонов на основе активированного цементно-золяного вяжущего. Получены пенобетоны с маркой по плотности от D400 до D1200 с прочностью при сжатии от 1,6 до 17,5 МПа. При твердении в нормально-влажностных условиях усадочные деформации в 28-суточном возрасте находятся в допустимых пределах. Установлено, что наиболее благоприятными условиями, обеспечивающими максимальный прирост прочности, являются воздушное и переменное увлажнение и высушивание.

Ключевые слова: ячеистый бетон, пенобетон, пеноконцентрат, усадочные деформации, цементно-золяное вяжущее.

Кеуекті бетондар технологиясының дамуы, сондай-ақ «Неопор» көбік концентрациясы қолданылатын жылу энергетика қалдықтары, жергілікті шикізат негіздегі көбікті бетондар туралы мәселелер қаралды. Көбікті бетондардағы жарықша пайда болуын азайтатын үрдерістер зерттелді. Белсендірілген цементті-күлді тұтқырғыш негіздегі көбікті бетондарды алу мүмкіндігі анықталды. Сығу беріктілігі 1,6 бастап 17,5 МПа дейінгі, тығыздығы D400 бастап D1200 дейінгі маркалы көбікті бетон алынды. Қалыпты дымқылды жағдайда қату барысында 28-тәулікте жасында отыру деформациясы рұқсаттық шегінде болды. Максималды өсу беріктілікті қамтамасыздандыратын ерекше қолайлы жағдай ауада және ауыспалы дымқылдандыру, кептіру болуы анықталды.

Кілттік сөздер: кеуекті бетон, көбікті бетон, көбік концентраты, отыру деформациясы, цементті-күлді тұтқырғыш.

Problems of development of cellular concrete technologies have been studied, including the foam concretes from local raw materials and waste of heat power industry with “Neopor” foam concentrate using. Processes of decreasing of cracking in foam concretes have been studied. Possibility of foam concretes producing based on activated cement-ash binder has been determined. The foam concretes of density grade from D400 to D1200 and compression strength from 1.6 MPa up to 17.5 MPa have been produced. When hardening under normal humidity conditions, shrinkage deformations at the age of 28 days are within the acceptable limits. It has been determined, that air and periodical moistening and drying are the most favourable conditions for the maximum gain in strength.

Keywords: cellular concrete, foamed concrete, foam concentrate, shrinkage deformations, cement-ash binders

Одним из перспективных направлений является совершенствование производства ячеистых бетонов, в том числе пенобетонов. Пенобетон имеет ряд характеристик, выгодно отличающих его от многих традиционных строительных материалов. Изделия из него наилучшим образом адаптированы к сложным климатическим условиям

Казахстана и имеют ряд важных достоинств: невысокая средняя плотность, низкая теплопроводность, пониженное водопоглощение, стойкость при пожаре. Они также имеют высокие санитарно-гигиенические свойства, так как не содержат вредных для здоровья человека химических и синтетических веществ, имеют хорошую обрабатываемость [1, 2].

Технология получения пенобетона весьма гибка в плане возможности получения готового продукта в широком диапазоне свойств, прежде всего плотности и сопутствующих ей остальных физико-механических характеристик.

Положительным примером производства пенобетона является опыт ТОО «Кунай-стройсервис» с применением пеноконцентрата немецкой фирмы «Неопор» [3, 4].

Применение пенобетона для возведения жилых малоэтажных зданий и коттеджей – это полная экологическая чистота, капитальность, долговечность и эффективность [5]. При использовании пенобетона в строительстве показатель теплотехнических характеристик в 3–4 раза превышает таковой для традиционных кирпичных и панельных домостроений, причем без применения вредных и недолговечных утеплителей (пенополистирола, пенополиуретана, пеноизола и т.п.).

Однако, как показывают многочисленные исследования и опыт практического применения, ячеистая структура обуславливает как достоинства, так и недостатки пенобетона.

Исследованиями установлено, что усадка в изделиях пенобетона марок D300-D500 вызывает появление на наружной поверхности изделий сети мелких трещин размером до 0,5 мм. Трещины появляются, как правило, спустя месяц после изготовления [5].

Дальнейшее развитие производства и применения пенобетона может быть осуществлено по мере решения следующих ключевых проблем:

снижение влажностной усадки путем использования специальных цементов и добавок к бетону [5];

организация производства пенобетона с прочностью, равной или превышающей прочность автоклавного бетона;

максимальное использование отходов промышленного производства.

Для изготовления пенобетона должны применяться минерально-однородные компоненты с равными или близкими значениями поверхностной активации и большой энергией взаимодействия в водной среде с выделением тепла, способного компенсировать энергозатраты на тепловую обработку. В качестве основных компонентов, обладающих такими свойствами, являются бездобавочный портландцемент, безусадочные, расширяющиеся и напрягающие цементы, негашеная известь, полуводный гипс и конденсированный микрокремнезем.

Технология неавтоклавного пенобетона позволяет широко использовать отходы промышленности (ультрадисперсный микрокремнезем и кислая зола-унос). Это в свою очередь, способствует ускорению процессов гидратации и образованию новых продуктов, которые уплотняют и упрочняют структуру межпоровых перегородок и, как следствие, повышают прочность, морозостойкость и ускоряют темпы твердения.

Одним из наиболее перспективных направлений улучшения качества неавтоклавного пенобетона является использование смешанного вяжущего с применением золы-

уноса [6]. Механохимическая активация при совместном измельчении цемента и золы позволяет активизировать не только клинкерную часть смешанного вяжущего, но и золу-унос как за счет повышения дисперсности вяжущего, так и за счет аморфизации и активации поверхности золы. Компонентами вяжущего являются бездобавочный цемент марки 400 (ПЦ400-Д0), кислая зола-унос Аксуской ГРЭС, отобранная с пятого поля электрофильтров. Для повышения тонкости помола произведен домол исходных компонентов в скоростном смесителе до удельной поверхности 450 и 550 м²/кг.

Были проведены исследования по применению активированного цементнозольного вяжущего для приготовления пенобетона с применением пеноконцентрата «Неопор». Было использовано цементнозольное вяжущее состава Ц:З = 70:30 с активностью 63,5 МПа и удельной поверхностью 550 м²/кг, содержащее (в составе вяжущего) 2 % ускорителя твердения Na₂SO₄.

Для приготовления пенобетона брали кварцевый песок с модулем крупности M_k , равным 1,6, по гранулометрическому составу от 0 до 2 мм. Смесь имела однородную консистенцию, не расслаивалась, водоотделение отсутствовало.

Для определения прочности пенобетона изготавливали образцы размерами 100x100x100 мм. Прочность бетона в этом возрасте достигает 60 % от 28-сут, а уже в 14-сут возрасте прочность неопорбетон с добавками составляет более 70 %. Наибольшей интенсивностью нарастания прочности характеризуется пенобетон с добавкой сульфата натрия.

После твердения в нормально-влажностных условиях определялась плотность пенобетона в естественном состоянии и после сушки, а также прочность при сжатии и изгибе в воздушно-сухом состоянии.

В таблице приведены исследуемые составы пенобетона и их прочностные показатели. Данные таблицы показывают, что активация цементнозольного вяжущего позволяет получать пенобетоны с маркой по плотности от D400 до D1200 с прочностью при сжатии от 1,6 до 17,5 МПа.

Водопоглощение неопорбетона на активированном цементнозольном вяжущем составляет: для неопорбетона марки D400-D800 – 10–11 %; для марки D1000-D1200 – 7–8 %.

Морозостойкость оценивали по потере прочности при сжатии после 25; 35 и 50 циклов попеременного замораживания и оттаивания.

Установлено, что прочность пенобетона, содержащего золу-унос, после 25 циклов попеременного замораживания и оттаивания не только не снизилась, но даже несколько возросла, что свидетельствует о преобладании конструктивного процесса, связанного с дальнейшим гидратационным твердением пенобетона.

Дальнейшее испытание на морозостойкость позволило полнее выяснить влияние золы на пенобетон при большем количестве циклов. Через 35 циклов бетон с золой максимально теряет 5,5 % прочности, при 50 циклах – 10,6 %.

На активированном цементнозольном вяжущем получен пенобетон по средней плотности D400–D1200, по прочности марки M50–M150 с коэффициентом теплопроводности 0,10–0,34 Вт/(м·°C), отвечающий требованиям нормативных документов.

Составы и свойства пенобетона на активированном цементнозольном вяжущем

Марка	Расход материалов на 1 м ³ неогорбелтона, кг				В/В	Средняя плотность, кг/м ³		Предел прочности, МПа		Прочность при водном твердении, МПа		Водопоглощение, %	Усадка при высыхании, мм/м		Теплопроводность, Вт(м·°С)	Марка по морозостойкости
	цементнозольное вяжущее	песок	вода в растворе	вода в пеноконцентрате		во влажном состоянии	в сухом состоянии	при сжатии	при изгибе	30 сут	90 сут		28 сут	90 сут		
D400	330	-	90	60	0,45	482	380	1,60	0,96	0,98	0,74	10,8	3,5	3,7	0,10	-
D600	360	200	110	50	0,44	721,5	560	5,2	1,55	3,0	2,6	9,0	2,6	2,8	0,12	F25
D800	380	390	120	45	0,43	936,3	78	7,4	2,5	5,5	4,0	7,9	2,4	2,5	0,16	F35
D1000	430	490	130	42	0,40	1093	953	11,8	3,3	9,4	8,8	6,6	1,7	1,6	0,20	F50
D1200	460	680	135	40	0,38	1316	1160	17,5	4,2	14,0	12,3	5,4	1,5	1,3	0,34	F50

При использовании активированного цементнозольного вяжущего наблюдается снижение усадочных деформаций пенобетона как в ранние, так и в более поздние сроки твердения. При твердении в нормально-влажностных условиях усадочные деформации в 28-сут возрасте составляют, мм/м: для пенобетона марки D400–D600 – 2,6–3,5; для бетона D800–D1000 – 1,7–2,4; для бетона D1200 – 1,5. С увеличением срока твердения до 90 сут усадочные деформации равны, мм/м: для пенобетона марки D400–D600 – 2,8–3,7; для D800–D1000 – 1,6–2,5; для D1000–D1200 – 1,3–1,6. Согласно ГОСТ 25485 для неавтоклавного ячеистого бетона марок D600–D1200 усадка не должна превышать 3,0 мм/м.

Проведенные исследования по изменению прочности пенобетона во времени показали, что при длительном твердении в течение 90 сут в нормально-влажностных условиях прирост прочности пенобетона на активированном цементнозольном вяжущем составил 11–13 %; на воздухе – 12–18 % по сравнению с прочностью неопорбетона в 28-сут возрасте. Наименьший прирост прочности (5–10 %) наблюдается при твердении в воде, что объясняется ее раскалывающим действием на пенобетон.

Было установлено, что при переменном увлажнении и высушивании прирост прочности к 90-сут сроку испытаний по сравнению с исходной 28-сут достигает 15–20 %, что можно объяснить воздействием высокой температуры (105⁰С) при высушивании.

Как видно из полученных результатов, при испытании в течение 90 сут в различных температурно-влажностных условиях прочность пенобетона на активированном цементнозольном вяжущем неуклонно повышается. Наиболее благоприятными условиями, обеспечивающими максимальный прирост прочности, являются воздушное и переменное увлажнение и высушивание. Такие условия характерны для регионов с сухим и жарким климатом.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Кулибаев А.А., Нурбатуров К.А., Родионова А.А., Дё И.М. Синтез высокопрочного цементнозольного вяжущего // Научный потенциал мира: материалы Междунар. конф. – Варшава, 2011. – С.48–52.
- 2 Естемесов З.А., Махамбетова У.К., Абуталипов З.У. Об основных свойствах пенобетона // Цемент. – 1996. – №1. – С.28–30.
- 3 «Пеностром» и «Неопор». Новые технологии высокопоризованных бетонов. Поробетон-2005. – Белгород, 2005.
- 4 Сахаров Г.П., Скориков Е.П. Неавтоклавный энергоэффективный поробетон естественного твердения // Изв. вузов. Строительство. – 2005. – №7. – С.49–54.
- 5 Субханкулова Э.Р., Кондратьев В.В., Морозова Н.Н., Хозин В.Г. Трецинообразование пенобетона плотностью 200 кг/м³ // Строительные материалы. – 2006. – № 1. – С. 46–47.
- 6 Удачкин В.И., Смирнов В.М., Колесников В.Е., Рыбаков П.В. Классическая механоактивация в технологии пенобетона // Строительные материалы. – 2005. – № 7. – С. 31–33.

ЗНАЕТЕ ЛИ ВЫ...

Осторожно, жаропонижающие лекарства

Жаропонижающие препараты, например аспирин, парацетамол, способствуют распространению вируса гриппа – к такому парадоксальному на первый взгляд выводу пришли ученые из Университета Макмастера в Галифаске (провинция Новой Шотландии).

«Когда люди болевают гриппом и принимают лекарства для улучшения самочувствия, они не осознают, что могут стать распространителями болезни и заразить окружающих», – говорит руководитель группы исследователей, профессор математики Дэвид Эрн. Все дело в том, что повышение температуры – один из способов борьбы организма с инфекцией. Поэтому, пытаясь ее сбить, люди невольно разрушают естественный защитный механизм. В результате вирусы более активно размножаются и накапливаются в организме. При этом даже когда жар спадает и людям кажется, что они выздоровели и могут выйти на работу или в школу, сохраняется риск заражения тех, с кем они контактируют.

«Мы не говорим: не принимайте жаропонижающие лекарства, – подчеркивает профессор Д. Эрн. – Заболевшие сами должны принимать решения, советуясь с врачом. Но если вы все-таки принимаете такие лекарства, то оставайтесь дома до тех пор, пока полностью не избавитесь от инфекции. Не спешите выходить на работу или отправлять детей в школу только потому, что у вас или у них уже нет температуры».

Д. Эрн с коллегами проанализировали данные по случаям заболеваний гриппом в Северной Америке и результаты

экспериментов с участием добровольцев. Используя математические методы, они пришли к выводу, что «только в США можно было бы избежать смерти по меньшей мере 700 человек в год, если бы не принимались жаропонижающие лекарства».

По оценкам исследователей, стремление сбить температуру приводит к увеличению числа заболевших и скончавшихся во время сезонной вспышки гриппа на 5%.

В Канаде ежегодно попадают в больницы из-за гриппа 12,2 тыс. человек, из них примерно 3,5 тыс. умирают. Некоторые ученые полагают, что во время эпидемии «испанки» в 1918 г., унесшей жизни от 50 до 100 млн человек по всему миру, именно широкое применение аспирина «могло усугубить серьезность заболевания и, как следствие привести к росту смертности».

Этика в киберпространстве

В столице германской федеральной земли Баден-Вюртемберг Штутгарте создан первый в ФРГ Институт по изучению этики в киберпространстве. Он призван внести вклад в развитие основополагающих стандартов поведения в Интернете. Профессор Петра Гримм считает, что хотя люди ежедневно возвращаются в сети, до сих пор нет четкого определения, почему одно действие в ней можно считать положительным, а другое – отрицательным. П. Гримм отметила: «В связи с внедрением в жизнь общества цифровых технологий возникает необходимость экстраполировать медийную этику в цифровую. Нам – пользователям требуются договоренности. Мы пока находимся в каменном веке развития Интернета». По ее словам, Интернет слишком долго

считался пространством, в котором не действуют никакие правила.

Первым мероприятием в институте стало заседание на тему «Анонимность и прозрачность в цифровом обществе». Речь шла о том, следует ли рассматривать транспарентность в киберпространстве исключительно с положительной точки зрения.

Штутгартский институт будет финансироваться из государственных средств, а также за счет различных заказов. Например, со стороны европейской инициативы «Кликсейф» уже поступила просьба разработать для подростков свод правил достойного поведения в Интернете.

Самоочищающееся стекло

В Великобритании создано новое покрытие, которое в будущем станет антибликовыми самоочищающимися окнами и послужит для увеличения эффективности солнечных батарей. Пористые пленки усилиями сотрудников Кембриджского университета превратились в самоочищающиеся антибликовые покрытия. Их можно использовать на стекле и пластмассе.

Чем меньше света преломляет покрытие, тем более антибликовым оно становится. Но сделать его однослойным очень трудно, и эту проблему пытаются решить, взяв за основу структуру глаза моли. Его антибликовые свойства являются результатом шестиугольного расположения микроскопических выступов, пространство между которыми настолько мало, что солнечные лучи воспринимают поверхность глаза как сплошной слой, поэтому граница между глазом и воздухом словно исчезает. Моль отлично видит в темноте и остается невидимой для хищников.

Искусственный аналог такого покрытия создать непросто, поскольку те крошечные пространства, благодаря ко-

торым покрытие становится антибликовым, быстро забиваются грязью.

Новое покрытие, разработанное Улли Штайнером и его коллегами из Кавендишской лаборатории, не только антибликовое, но и самоочищающееся. Ученые снабдили пластмассу маленькими отверстиями и добавили нанокристаллы диоксида титана, обладающие фотокаталитическим свойством. Под действием света они расщепляют грязь до углекислого газа и воды, которые затем испаряются.

Покрытие наносится на подложку при помощи золь-гелевой химии, долго держится и не отслаивается. Этот материал пока применим только для наружных поверхностей, так как фотокатализ происходит при ультрафиолетовом излучении. Но специалисты планируют адаптировать его и для закрытых помещений. Такое покрытие пригодится не только для окон, но и для солнечных панелей, способствуя увеличению их КПД.

Лидеры по использованию графена

Ученые КНР лидируют в разработке технологий на основе графена – инновационного материала, открытого в Великобритании выходцами из России Андреем Геймом и Константином Новоселовым, получившими за это Нобелевскую премию по физике за 2010 год, а открыли его они в 2004 г. и, помимо Нобелевской премии, были удостоены британской королевской рыцарских титулов.

Графен – уникальный материал, эта модификация углерода представляет собой двумерный кристалл – пленку углерода толщиной один атом. Благодаря своим необычным свойствам в дальнейшем он может стать основой будущей наноэлектроники.

Как показывают исследования, выполненные британской консалтинговой компанией «КембриджАйПи», на начало нынешнего года в мире был зарегистрирован 7351 патент на технологии, основанные на применении графена. Первое место в этом списке занимает Китай. Научные институты и компании КНР запатентовали 2204 изобретения, основанные на использовании этого материала. На втором месте – ученые США, которые получили 1754 патента. На третьем – исследователи из Южной Кореи, которые добились 1160 патентов на технологии, связанные с графеном.

Для сравнения: ученые из Великобритании, где был открыт этот материал, зарегистрировали лишь 54 патента, при этом 16 из них получили ученые из Манчестерского университета, где работают его первооткрыватели.

Среди компаний на первом месте по числу патентов стоит южнокорейская корпорация «Самсунг». Сотрудники ее исследовательского центра запатентовали 407 изобретений. На втором – американская компания «Ай-би-эм» – 134 патента.

Британское правительство объявило о выделении 21,5 млн фунтов (35 млн долларов) на финансирование проектов по прикладному использованию графена. Общий объем ассигнований правительства на исследование этого материала превысил 60 млн фунтов (97 млн долларов). В Манчестере предполагается создать Национальный графеновый институт, строительство которого обойдется в 61 млн фунтов, или 98,5 млн долларов.

Глава компании «КембриджАйПи» Квентин Таннок считает, что Великобритания отстает в гонке по разработке технологий на основе графена, несмотря на то, что этот материал был открыт именно в Королевстве. По мнению же А.

Гейма, Европа и США отстают от Азии в данной сфере, поскольку европейские и американские частные компании сократили свои расходы на эти научные разработки: «Существует огромный разрыв между академическими научными исследованиями и промышленностью, и этот разрыв увеличился на протяжении последних десятилетий после окончания холодной войны. Это происходило на протяжении последних 30–40 лет. Мы «убили» знаменитые лаборатории, такие, как, например, «Белл» (Bell Laboratories, USA). Компании сократили расходы и сейчас они не могут позволить себе содержать научные институты на высшем уровне. Если что-то и происходит в Южной Корее, то это происходит потому, что «Самсунг» имеет собственный исследовательский институт в этой стране. В Великобритании же нет ничего подобного», – заявил А. Гейм.

Сеть для космического мусора

Специалисты из Японского аэрокосмического агентства (ДЖАКСА) предлагают вести борьбу с космическим мусором путем запуска на околоземную орбиту специального спутника, оснащенного уникальной магнитной сетью. Для ее создания сотрудники ДЖАКСА обратились к специалистам по производству рыболовецких сетей – крупной японской компании «Нитто Сеймо». В результате сотрудничества была изготовлена сеть длиной около 300 метров и шириной 30 сантиметров. Такая сеть отправляется в космос в свернутом виде, а на орбите, когда ее развернут и по ней пропустят электрический ток, вокруг сети возникнет магнитное поле, которое и будет притягивать к ней пролетающие мимо металлические обломки.

Согласно последним оценкам ученых, на орбитах вокруг Земли в настоящее время находятся более 100 млн отдельных фрагментов космического мусора, более 22 тысяч из них имеют размеры более 10 сантиметров в диаметре, и это при том, что даже мельчайший обломок может привести к катастрофе, если на высокой скорости столкнется с космическим кораблем или обитаемой станцией. Поэтому проблеме космического мусора уделяется большое внимание, и она серьезно обсуждается на высоком уровне в ведущих международных организациях, в частности в ООН.

Сон способствует очистке мозга

Во время сна из мозга выводятся продукты жизнедеятельности клеток, которые образуются в период бодрствования. К такому заключению пришли ученые после ряда экспериментов над спящими подопытными мышами. При этом они не сомневаются, что с точки зрения механизмов сна мозг человека и грызуна близок, поэтому полученные результаты вполне применимы к людям.

Ученые надеются, что их исследование поможет людям, страдающим слабоумием и другими заболеваниями мозга, поскольку сон может замедлить протекание болезни. Известно, что недостаток сна оказывает негативное влияние на здоровье людей, недосып приводит к затруднениям в восприятии информации и пониженной скорости реакции.

Несмотря на десятилетия научных изысканий, ученые не могут разгадать основное предназначение сна в жизнедеятельности людей. До сих пор приводятся различные гипотезы, связывающие это состояние человека как с необходимостью обработки мозгом данных, накопленных за день, так и с терморегуляцией и энергосбережением.

Своим открытием исследователи дополнили список функциональных задач сна возможностью ускоренной очистки мозга от продуктов жизнедеятельности его клеток. Так, в случае с подопытными мышами при сравнении результатов для спящих и бодрствующих мышей установлено, что процессы вывода из мозга токсинов у спящих мышей шли быстрее. Исследованиями показано, что во время сна мозг сокращается в размерах и это дополнительно способствует его очистке от продуктов жизнедеятельности.

Результаты исследования помогут выявить наиболее эффективные способы восстановления мозга, пораженного тяжелыми заболеваниями.

На метиловом спирте

Южно-Корейская судостроительная компания Hyundai Mipo Dockyard – подразделение крупнейшей в стране судостроительной фирмы «Hyundai Heavy Industries» – получила заказы на строительство первых в мире судов, работающих на метиловом спирте.

Заказчиками являются зарубежные судоходные компании «Вестваль Ларсен» из Норвегии, «Мартнвест» из Швеции и фирма «Скагерак инвест», зарегистрированная на Бермудских островах.

Согласно условиям сделок с этими компаниями южнокорейские судостроители из Ульсана начнут строить суда с июля 2015 г. Поставка готовой продукции заказчикам намечена на июнь 2016 г.

Как сообщил официальный представитель Hyundai Mipo Dockyard, каждое из заказанных судов водоизмещением 50 тыс. тонн, предназначенное для перевозки нефтепродуктов, будет стоить примерно 44 млн долларов США.

По материалам СМИ

ЭКОЛОГИЯ И АГРОТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.43.662.61

А. И. ВАСИЛЬЕВ, П. М. КАНИЛО, В. В. СОЛОВЕЙ

Институт проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ КАНЦЕРОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ГОРОДОВ АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ

Проведен анализ состояния проблемы канцерогенно-мутагенного загрязнения атмосферы городов в результате высокой интенсивности транспортных потоков. Рассмотрено влияние вида энергоносителей, в том числе современных высокоароматизированных топливных композиций, на механизм образования канцерогенных ингредиентов, и представлена методика оценки уровней их выбросов. Предложены организационные и технические мероприятия по минимизации канцерогенно-мутагенной опасности при эксплуатации транспортных средств.

Ключевые слова: канцерогенно-мутагенные загрязнения, автомобильный транспорт, экология, атмосфера городов, энергоносители, высокоароматизированное топливо.

Көлік лектерінің жоғарғы қарқындылығымен қалалар атмосфераларының канцерогенді мутагенді ластану жағдайына талдау жасалынды. Энергия тасымалдаушы түрінің, соның ішінде қазіргі кездегі жоғары ароматизацияланған жанармай композициясының канцерогенді ингредиенттердің пайда болу механизміне әсері қарастырылды және олардың қалдықтарының деңгейін бағалайтын әдіснама ұсынылды. Көлік құралын пайдаланғанда канцерогенді мутагенді қауіптілікті төмендету бойынша ұйымдастырушылық және техникалық іс шаралар ұсынылды.

Кілттік сөздер: канцерогенді мутагенді ластану, автомобильді көлік, экология, қалалар атмосферасы, энергия тасушылар, жоғары ароматизацияланған жанармай.

Analysis of problem of carcinogenic-mutagenic pollution of cities' atmospheric air with high intensity of traffic was carried out. Influence was considered of type of energy materials, including the modern high-aromatized fuel compositions, on mechanism of carcinogenic ingredients forming and methodology of estimation of levels of their emission was presented. Organizational and technical measures were offered on minimization of carcinogenic-mutagenic hazard when vehicles exploiting.

Keywords: carcinogenic-mutagenic pollution, motor transport, ecology, cities' atmospheric air, energy materials, high-aromatized fuel.

Введение. Антропогенно-экологические проблемы последних десятилетий в значительной степени определяются все возрастающими уровнями загрязнения окружающей среды (ОС) супертоксикантами, в первую очередь канцерогенно-мутагенными соединениями [1].

Среди веществ, которые попадают в ОС в процессе человеческой деятельности, в особую группу следует выделить ряд соединений, которые характеризуются высокой химико-биологической активностью и являются предельно опасными для всего живого, в первую очередь для человека. Такие вещества называют стойкими органическими загрязнителями (СОЗ), к которым относят ряд канцерогенных соединений, в том числе полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). Одна из главных причин длительной стойкости ПАУ в ОС является их низкая водорастворимость и повышенная сорбционная активность к твердым, в том числе почвенным, частицам, что ограничивает возможность их разложения микроорганизмами.

Около 85 % по массе очень мелких твердых частиц ($dp < 100$ нм) являются продуктами эмиссии от источников горения. Установлено, что автомобильный транспорт служит основным источником выбросов сажистых частиц в атмосферу в крупных городах и промышленно развитых регионах. При этом дизельные двигатели выбрасывают в ОС приблизительно в 100 раз больше частиц по массе, чем бензиновые, и из них наноразмерные частицы составляют более 90 %. Обычно эти частицы включают как моду наночастиц ($dp < 50$ нм), так и аккумуляционную моду ($dP = 100\text{--}300$ нм). Органический состав дизельных наночастиц является функцией их размера и помимо элементарного углерода они включают ПАУ, сульфаты, нитраты, хлориды, аммоний, натрий и следы Si, Fe, Ti, Zn и Al. Индикатором наличия канцерогенных углеводородов (КУ) в ОС и в продуктах сжигания топлив, в том числе в отработавших газах (ОГ) автотранспортных средств, в международной практике принят бенз(а)пирен (БП – $C_{20}H_{12}$). В условиях ОС многие КУ совместно с оксидами азота (NO_x) и другими составляющими могут синтезировать соединения, в том числе нитроканцерогенные, обладающие мутагенными свойствами. Мутагенность – это фактор ОС, способный нарушать генетические программы клеток и вызывать в организме человека изменения наследственных свойств. Установлено также, что мелкодисперсные твердые частицы (ТЧ), в том числе сажа, пыль и т.д., сорбируя канцерогенные ингредиенты, являются не только их носителями, но и в результате синергетического эффекта многократно усиливают их канцерогенное воздействие на организм человека [2]. Канцерогенно-мутагенные ингредиенты (КМИ) прямогенно токсичны и вызывают повреждения ДНК. Установлено, что даже при очень малых концентрациях они могут привести к развитию болезней иммунной и репродуктивной систем, раковых заболеваний, врожденных дефектов у детей и т.д. По мнению медиков, именно канцерогенные вещества в ОС больших городов примерно на 80 % определяют риск возникновения злокачественных опухолей у людей [3, 4].

В связи с этим интерес к загрязнению среды КМИ во всем мире растет, но, к сожалению, еще быстрее расширяется само присутствие этих соединений в экосистемах. Поэтому снижение уровней выбросов КУ в ОС и их уничтожение является одной из важнейших составляющих в решении экологических проблем. Федеральное ведомство по охране ОС в ФРГ, разделяя важность этой проблемы, способствовало тому, что правительством была сформулирована задача – в ближайшие годы уменьшить выбросы БП на 90 % [5].

Негативные эколого-энергетические процессы увеличиваются всевозрастающими темпами. В результате с высокой степенью достоверности можно прогнозировать,

что затраты материальных, энергетических и финансовых ресурсов, необходимые для оздоровления природы и обеспечения устойчивого развития, могут стать в ближайшие десятилетия самой крупной расходной статьей экономики мира и превысить 30 % совокупного ВВП.

Канцерогенное загрязнение атмосферы городов. Проблема канцерогенного загрязнения ОС представляется одной из наиболее острых и труднорешаемых среди всех экологических проблем, характерных для мегаполисов. Причем основным техногенным источником загрязнения атмосферы городов супертоксикантами, в первую очередь КУ, являются транспортные средства, оснащенные двигателями внутреннего сгорания (ДВС). В настоящее время в мире эксплуатируется более 1 млрд транспортных средств, из них в Украине насчитывается 9,85 млн ед., в том числе: легковых автомобилей – 7,1 млн, грузовых автомобилей – 1,1 млн, автобусов – 220,0 тыс. По динамике роста численности парка автомобилей Украина вторая в Европе, уступая лишь Литве. Так, в столице Украины за последние 10 лет количество транспортных средств возросло на 89 %, или на 357 тыс.ед., и в настоящее время составляет около 920 тыс.ед.

Важной особенностью воздействия транспортных средств на окружающую среду является то, что они функционируют непосредственно в зоне пребывания человека. По уровням загрязненности атмосферы крупных городов химически опасными ингредиентами (по превышению ими среднесуточных предельно допустимых концентраций [ПДК]_с) определяющими являются в первую очередь КУ (БП), а также NO_x и ТЧ. В местах интенсивного движения автотранспорта концентрация БП в воздухе превышает допустимый уровень на два порядка [6 – 8].

Для ограничения эколого-химической опасности (ЭХО) автомобилей в различных странах и регионах мира введены в законодательном порядке предельно допустимые уровни выбросов вредных веществ (ВВ: CO, CH, NO_x, ТЧ) в ОГ поршневых двигателей, т.е. пока без учета уровней выбросов КУ в ОС. В качестве регламентированных показателей выбраны усредненные массовые выбросы указанных ВВ, т.е. масса *i*-го ВВ на единицу пробега транспортного средства (г/км) или на единицу вырабатываемой двигателем энергии за цикл (г/кВт·ч). Однако нормирование указанных ВВ лишь частично дает представление об интегральной оценке показателя ЭХО транспортных средств, так как наиболее опасные для человека составляющие ОГ двигателей, в том числе КУ и их производные, пока «бесконтрольны», а SO_x нормируется косвенно – через допустимые уровни содержания серы в топливах. Вследствие чего неполное нормирование ВВ, выбрасываемых ОГ двигателей, не дает реального представления об эффективности применения альтернативных топлив.

Особенно важен этот аспект для Украины, структура автотранспорта которой включает более 70 % транспортных средств, срок эксплуатации которых превышает 15 лет. Из данных, приведенных на рисунке 1, следует, что неисправности систем топливопитания и зажигания горючей смеси, влияющие непосредственно на процесс горения топлив, могут увеличивать уровни выбросов БП (соответственно и ТЧ) в ОГ автомобилей на порядок и более. Кроме того, по мере увеличения пробега автомобилей их эколого-химические показатели заметно ухудшаются. Так, после пробега

100 тыс. км автомобилями ВАЗ-2105 удельные уровни выбросов КУ с ОГ увеличились в три раза, а уровни выбросов NO_x – в 1,5 раза [9].

Необычайно сильное влияние на канцерогенную опасность ОГ автомобилей оказывает техническое состояние ДВС [1, 8] (см. рисунок 1).

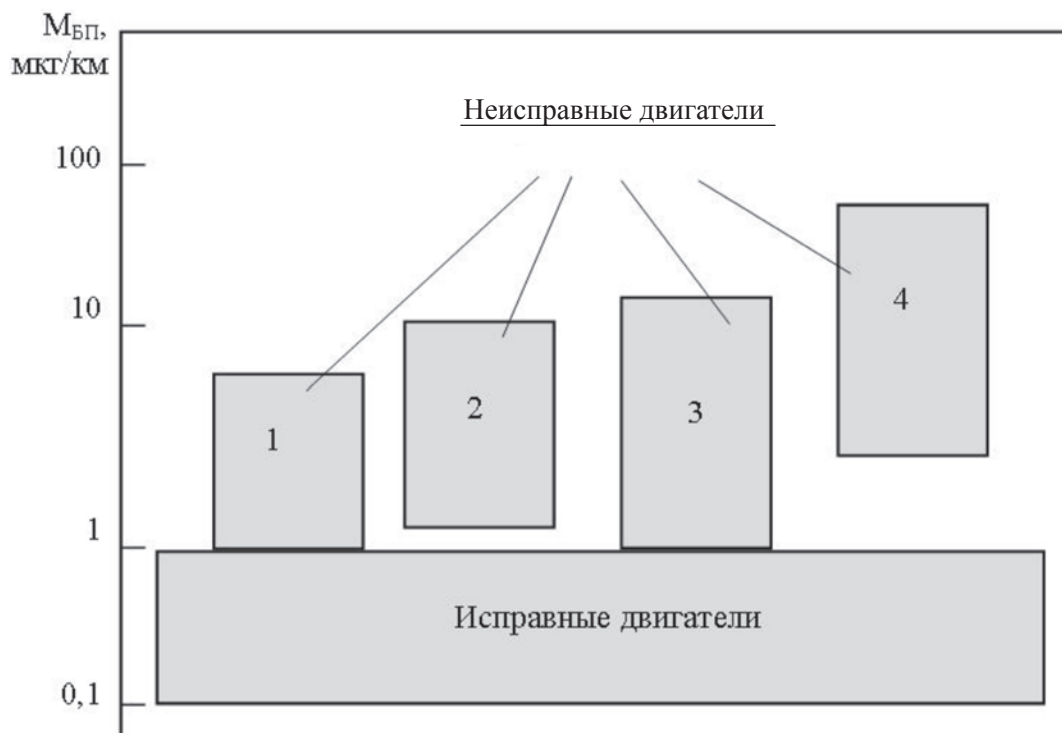


Рисунок 1 – Уровни выброса бенз(а)пирена в ОГ автомобилей при различных неисправностях бензиновых двигателей: 1 – нарушение регулировки холостого хода; 2 – угар масла; 3 – неисправности системы питания; 4 – неисправности системы зажигания

В США была исследована мутагенная активность ТЧ, выбрасываемых в ОГ автомобилей с дизельными двигателями. Она оказалась (в расчете на километр пробега) почти на порядок выше, чем мутагенная активность ТЧ, выбрасываемых в ОГ автомобилей, оборудованных двигателями, использующими в качестве топлива бензин [10]. Поэтому в США (штат Калифорния) введены ограничения на качество дизельных топлив, в том числе установлена норма на содержание в них не более 10 % АУ. Современные стандарты, принятые в Европе, также регламентируют содержание бензола и АУ в моторных топливах.

Очевидно, что стремительное увеличение количества автотранспортных средств с ДВС и сроков их эксплуатации, наряду с широкой дизелизацией автотранспорта, приводят к росту уровней канцерогенно-мутагенного загрязнения атмосферы городов. При этом экоканцерогенная опасность (ЭКО) транспортных средств с ДВС в основном (на 90 % и более) характеризуется двумя парами супертоксикантов: КУ + NO_x и КУ + ТЧ, выбрасываемых в ОГ двигателей, т.е. определяется степенью канцерогенно-

мутагенного воздействия на организм человека. Особо следует отметить усиление канцерогенной опасности ОГ автомобилей, обусловленное использованием топлив с повышенным содержанием ароматических углеводородов (АУ) и особенно ПАУ.

Экоканцерогенная опасность транспортных средств с ДВС. На основе анализа и обобщения результатов экспериментальных исследований [7, 8, 10] предложен удельный интегральный показатель (ЭКО) $_j$ легковых автомобилей и критерий его соответствия международным нормам $K_j = (\text{ЭКО})_j / [\text{ЭКО}]_j$ с учетом санитарно-гигиенических нормативов для токсичных и канцерогенных ингредиентов $[\text{ПДК}i]_{\text{cc}}$, а также суммарной канцерогенности ОГ. При этом были установлены положительные корреляционные связи между суммарной канцерогенной активностью приоритетной группы КУ (с учетом индекса канцерогенной активности (ИКА) i -го КУ) и БП (ИКА = 1) в ОГ автомобилей с ДВС [7]

$$\sum_{i=1}^{14} \bar{m}_{\text{КУ}(i)} \cdot \text{ИКА}_i \cong 1,3 \cdot \bar{m}_{\text{БП}},$$

где $\bar{m}_{\text{БП}}$, $\bar{m}_{\text{КУ}(i)}$ – усредненная масса уровней выбросов БП и i -го КУ в ОГ автомобиля при его испытании по европейскому городскому ездовому циклу, г/км.

Для учета эффекта усиления интегрального токсичного и канцерогенного действия ряда ВВ на человека в условиях городской среды были введены эмпирические коэффициенты: $k_{\text{NOx}} = 3$; $k_{\text{БП}} = 4$; $k_{\text{КУ}} = (4 \cdot 1,3) = 5,2$; $k_{\text{ТЧ}} = 2$. В этом случае интегральные показатели (ЭКО) $_j$ автомобилей и допускаемые по европейским требованиям $[\text{ЭКО}]_j$ могут быть представлены следующим образом:

$$(\text{ЭКО})_j = \left\{ 3 \cdot \left(\frac{0,9 \cdot m_{\text{NOx}}}{[\text{NO}]_{\text{cc}}} + \frac{0,1 \cdot m_{\text{NOx}}}{[\text{NO}_2]_{\text{cc}}} \right) + 5,2 \frac{m_{\text{БП}}}{[\text{БП}]_{\text{cc}}} + 2 \frac{m_{\text{ТЧ}}}{[\text{ТЧ}]_{\text{cc}}} \right\},$$

$$[\text{ЭКО}]_j = \left\{ 3 \cdot \left(\frac{0,9 \cdot m_{\text{NOx}}}{[\text{NO}]_{\text{cc}}} + \frac{0,1 \cdot m_{\text{NOx}}}{[\text{NO}_2]_{\text{cc}}} \right) + 5,2 \frac{m_{\text{БП}}}{[\text{БП}]_{\text{cc}}} + 2 \frac{m_{\text{ТЧ}}}{[\text{ТЧ}]_{\text{cc}}} \right\}.$$

Допускаемые уровни выбросов БП $[m_{\text{БП}}]_j$ определялись по такой зависимости:

$$3 \cdot \left(\frac{0,9 \cdot [m_{\text{NOx}}]}{[\text{NO}]_{\text{cc}}} + \frac{0,1 \cdot [m_{\text{NOx}}]}{[\text{NO}_2]_{\text{cc}}} \right) \approx 5,2 \frac{[m_{\text{БП}}]}{[\text{БП}]_{\text{cc}}}. \quad (1)$$

Принятые обозначения: m_i , $[m_i]$ – экспериментально полученные и допустимые уровни выбросов ВВ в ОГ автомобиля, г/км; $[\text{ПДКNO}]_{\text{cc}} = 0,06$ мг/м³; $[\text{ПДКNO}_2]_{\text{cc}} = 0,04$ мг/м³; $[\text{ПДКБП}]_{\text{cc}} = 1 \cdot 10^{-6}$ мг/м³; $[\text{ПДКТЧ}]_{\text{cc}} = 0,05$ мг/м³; допустимые уровни выбросов токсичных веществ в ОГ легковых автомобилей, соответствующие нормам Евро-V: $[m_{\text{NOx}}]_{\text{Б}} = 0,06$ г/км; $[m_{\text{NOx}}]_{\text{Д}} = 0,2$ г/км; $[m_{\text{ТЧ}}]_{\text{Б,Д}} = 0,005$ г/км. Таким образом, условно допускаемые уровни выбросов БП в ОГ легковых автомобилей, определяемые в соответствии с (1), составляют для Евро-V: $[m_{\text{БП}}]_{\text{Б}} = 0,6 \cdot 10^{-6}$ г/км; $[m_{\text{БП}}]_{\text{Д}} = 2 \cdot 10^{-6}$ г/км; Б – бензиновые двигатели, Д – дизели.

На основании проведенных экспериментальных исследований автомобиля с двигателем ЗМЗ-402 на стенде с беговыми барабанами по европейскому городскому

ездовому циклу при использовании бензина АИ-92 (АУ \approx 40 %) получены следующие показатели: $m_{\text{NOx}} = 2,4$ г/км; $m_{\text{БП}} = 9 \cdot 10^{-6}$ г/км; $m_{\text{ТЧ}} \approx 0,01$ г/км; $m_{\text{NOx}} / [m_{\text{NOx}}] \approx 40$; $m_{\text{БП}} / [m_{\text{БП}}] \approx 15$; $m_{\text{ТЧ}} / [m_{\text{ТЧ}}] = 2$. Сравнение полученных значений свидетельствует о существенном, более чем в 30 раз, превышении нормы Евро-V: (ЭКО)Б \approx 200, [ЭКО]Б \approx 6, а КБ = (ЭКО)Б / [ЭКО]Б \approx 33.

Экспериментальные исследования автомобиля типа ГАЗ с дизелем ГАЗ-560 (дизельное топливо, АУ \approx 45 %) показали: $m_{\text{NOx}} = 2,0$ г/км; $m_{\text{БП}} = 32 \cdot 10^{-6}$; $m_{\text{ТЧ}} = 0,6$ г/км; $m_{\text{NOx}} / [m_{\text{NOx}}] \approx 10$; $m_{\text{БП}} / [m_{\text{БП}}] \approx 16$; $m_{\text{ТЧ}} / [m_{\text{ТЧ}}] \approx 100$. При этом параметры указанного автомобиля соответствовали: (ЭКО)Д \approx 300, [ЭКО]Д \approx 21, т.е. КД = (ЭКО)Д / [ЭКО]Д \approx 14. Таким образом, легковой автомобиль типа ГАЗ с дизелем по сравнению с указанным автомобилем с бензиновым ДВС загрязняет ОС более существенно: твердыми частицами \sim в 60 раз, а канцерогенными составляющими \sim в 4 раза (при практическом равенстве выбросов NO_x). Однако при этом его критерий соответствия международным экологическим нормам (КД) по сравнению с (КБ) ниже более чем в 2 раза, что говорит о менее жестких экологических требованиях Евро-V к легковым автомобилям с дизельными двигателями. Поэтому широкая дизелизация автотранспорта может усугубить решение проблем, связанных со снижением загрязнения атмосферы городов канцерогенно-мутагенными су-пертоксикантами.

Вместе с тем при повышенных уровнях содержания ТЧ в ОГ автомобилях с дизельными двигателями оценка их (ЭКО)Д может оказаться заниженной при использовании традиционной зондофильтрационной методики отбора проб ОГ из-за неполноты определения уровней БП в составе ТЧ, осевших на фильтрах. Рядом исследований экспериментально установлено, что часть БП (\sim 50 % и более) остается в ТЧ в связанном состоянии и не выделяется даже при интенсивной ультразвуковой экстракции в органическом растворе (бензоле) [11 – 13]. Поэтому применяемые комплексные методики по реальной оценке (ЭКО)Д с учетом суммарной канцерогенности продуктов сжигания углеводородных топлив (УВТ) требуют дальнейшего совершенствования и наряду с разработкой способов уменьшения выбросов КУ и их уничтожения приобретают особую актуальность.

Следует особо отметить, что для топливосжигающего устройства, в том числе транспортного средства с ДВС, существенное влияние на уровни выбросов БП и ТЧ с продуктами сгорания оказывает вид топлива, в частности его структура и водородный показатель, включая уровни содержания ароматических углеводородов (АУ) и особенно ПАУ. В современных нефтяных топливах значительно увеличена доля АУ и ПАУ, что дополнительно обостряет обсуждаемую проблему.

В таблице 1 приведены результаты исследований ряда легковых автомобилей по европейскому городскому ездовому циклу при использовании различных топлив. Установлено, что применение топлив с повышенным содержанием водорода (природный газ, бензоводородные смеси и др.) приводит к существенному уменьшению уровней выбросов NO_x и БП с ОГ, а соответственно к снижению (ЭХО)Б автомобилей.

Таблица 1 – Экспериментальные данные по легковым автомобилям типа ГАЗ

Показатели	Топливо							
	1	2	3	4	5	6	7	8
m_{NOx} , г/км	2,4	2,2	1	0,9	1	0,5	0,8	0,2
$m_{\text{БП}}$, мкг/км	8,9	6,3	1,2	0,8	0,6	0,6	0,6	–
Kj	26,3	22,5	9,3	7,9	2,5	2,2	2,2	0,4

Примечания: 1 – бензин АИ-92; 2 – бензин А-76; 3 – пропан-бутан; 4 – бензин + 30 % метанола; 5 – природный газ; 6 – бензин + 10 % водорода; 7 – метанол; 8 – водород.

В таблице 2 приведены усредненные данные по уровням выбросов БП и ТЧ в ОГ легковых автомобилей с дизельными двигателями в зависимости от содержания АУ в моторных топливах при испытании по европейскому городскому ездовому циклу.

Таблица 2 – Экспериментальные данные

Легковые дизельные автомобили	Содержание АУ в топливах, %		
	21,2	32,4	56,6
	ВВ: ТЧ, г/км / БП, мкг/км		
1. Oldsmobile Delta 88 diesel	0,23 / 0,30	0,24 / 0,34	1,53 / 16,8
2. Peugeot 505 D	0,18 / 0,29	0,20 / 0,32	0,94 / 24,2

Установлено, что процессы образования КУ (по сравнению с образованием ТЧ) более чувствительны к изменению концентрации АУ. Так, при увеличении содержания АУ ($g_{\text{АУ}}$) в дизельном топливе с 32 до 57 % (при соответствующем пониженном водородном показателе) уровни выбросов ТЧ в ОГ автомобиля увеличиваются в 5–6 раз, а уровни выбросов БП – в 50–70 раз. На основании анализа качества топлива можно заключить, что топливо с содержанием водорода, соответствующим $g_{\text{АУ}} = 30\%$, может быть принято в качестве базово-эффективного показателя $[g_{\text{H}_T}]_{\text{эф}}$, равного 13,5 %. В результате предложен критерий, характеризующий изменение уровней эффективного содержания водорода в жидком ароматизированном топливе с $g_{\text{АУ}} > 30\%$:

$$g_{\text{H}_T (\text{эф})} = [g_{\text{H}_T} - (g_{\text{АУ}} - 30)^n],$$

где g_i – соответствующие доли водорода и АУ, %; $n = 0,4 \pm 0,02$.

При этом минимально необходимая массовая доля добавки водорода Δg_{H_2} по отношению к исходному ароматизированному топливу может быть оценена по зависимости $\Delta g_{\text{H}_2} = \{[g_{\text{H}_T}]_{\text{эф}} - g_{\text{H}_T (\text{эф})}\} / 100$. Например, при использовании широкофракционного жидкого моторного топлива с содержанием АУ ($g_{\text{АУ}} = 50\%$) и $g_{\text{H}_T (\text{эф})} = 0,087$ соответственно водорода ($g_{\text{H}_T} = 12\%$) уровень эффективного содержания водорода

(при выбранном базово-эффективном содержании водорода $[g_{H_2}]_{эф} = 13,5\%$) определяется как $g_{H_2} (эф) = [12 - (50 - 30)^{0,4}] = 8,7\%$, или в массовых долях. Тогда $\Delta g_{H_2} = 13,5 - 8,7 = 4,8\%$, или $\Delta g_{H_2} = 0,048$ (в массовых долях).

На рисунке 2 приведена расчетная номограмма взаимосвязей между водородными показателями g_{H_2} исходных широкофракционных топлив с ($g_{AУ} \geq 30\%$) и необходимыми минимальными добавками водорода Δg_{H_2} до базово-эффективных уровней содержания водорода $[g_{H_2}]_{эф}$ в композитных углеводородно-водородных топливах, обеспечивающих снижение выбросов КУ с продуктами сжигания до базовых уровней.

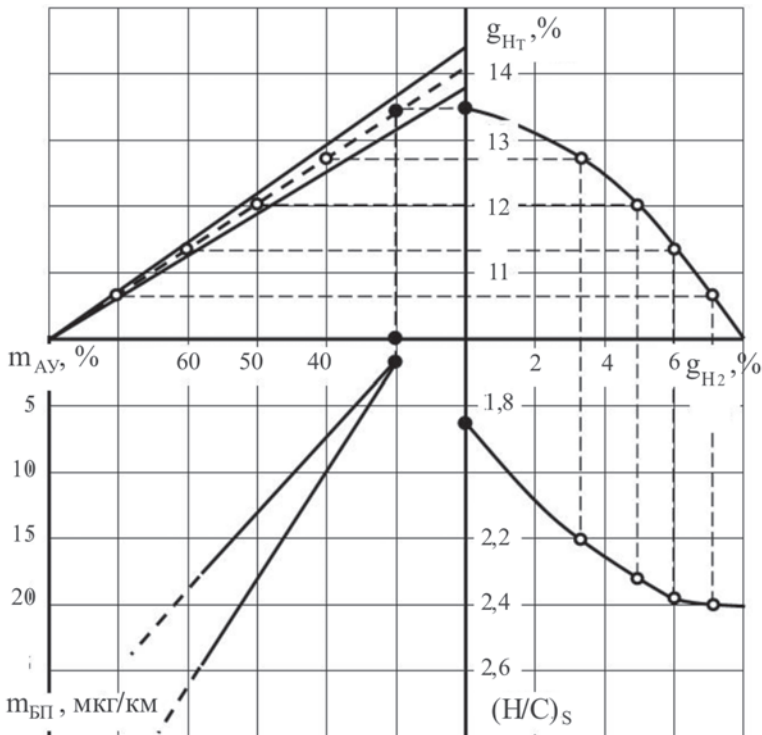


Рисунок 2 – Изменение водородных показателей в композитных топливах в зависимости от содержания АУ в исходных топливах и дополнительно вводимого водорода

Следует отметить, что в качестве носителей водорода могут быть также использованы (в первую очередь, в стационарной энергетике) природный, коксовый, шахтный газы, продукты газификации углей и т.д.

Водород как моторное топливо позволяет обеспечить широкие пределы эффективного и максимального обеднения топливовоздушной смеси ($\alpha_{\eta (max)}$ и $\alpha_{(max)}$), высокую скорость сгорания и антидетонационную стойкость, малую энергию воспламенения, а большие значения коэффициентов диффузии делают водород идеальной добавкой к традиционным углеводородным топливам. Важным, как показали обширные исследования, проведенные в ИПМаш им. А. Н. Подгорного НАН Украины, является то, что массовые добавки водорода g_{H_2} при сжигании обедненных бензоводородовоздушных смесей существенным образом повышают полноту выгорания топлива η_g , снижают

уровни образования оксидов азота (NO_x), ингибируют процессы образования твердых частиц и канцерогенных углеводородов. Установлено, что в условиях городской эксплуатации легковых автомобилей при использовании в ДВС обедненных бензоводородовоздушных смесей (доля водорода $g_{\text{H}_2} \approx 10$ мас.%) обеспечивается уменьшение расхода бензина до 40 % (за счет замещения бензина водородом и повышения эксплуатационной топливной экономичности автомобилей), снижение выбросов с ОГ: NO_x – в пять раз, КУ – на порядок и более, а CO_2 – примерно на 40 %.

Анализ влияния частичного замещения бензина водородом на изменение удельных эксплуатационных затрат по топливной составляющей (рисунок 3), выполненный по разработанной в ИПМаш НАНУ методике оценки топливно-экономической эффективности использования водорода в качестве дополнительного энергоносителя, показал, что экономически оправданным является использование бензоводородных топлив (при $g_{\text{H}_2} = 5-10\%$) даже при отношениях энергетических стоимостей водорода к бензину $\text{Ц}' = 2,2-3,0$, т.е. при шести-восьмикратном отношении массовой стоимости водорода к массовой стоимости бензина.

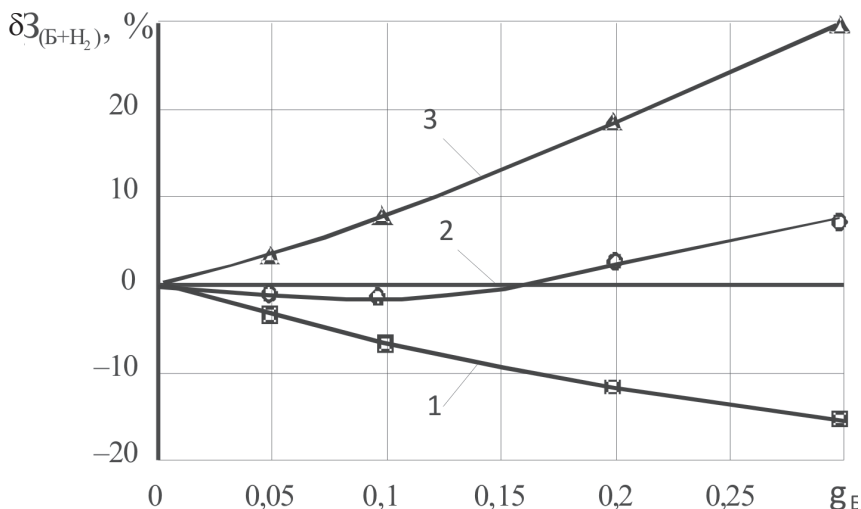


Рисунок 3 – Влияние частичного замещения бензина g_B водородом на изменение удельных эксплуатационных затрат по топливной составляющей.

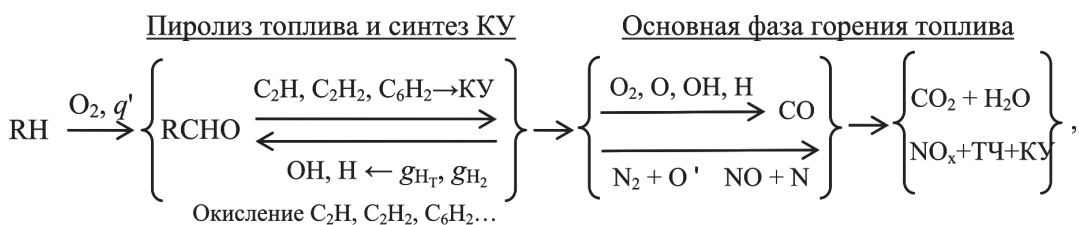
$$\text{Ц}' = \text{Ц}_{\text{ТН.Э.}(\text{H}_2)} / \text{Ц}_{\text{ТН.Э.}(\text{Б})}; \quad 1 - \text{Ц}' = 2,2; \quad 2 - \text{Ц}' = 3,0; \quad 3 - \text{Ц}' = 4,0$$

Вследствие существенного повышения экологической безопасности ДВС дополнительно расширяется (за счет снижения уровней экокомпенсаций, обусловленных учетом предотвращенного экологического ущерба) экономически целесообразный диапазон использования водорода в качестве дополнительного энергоносителя.

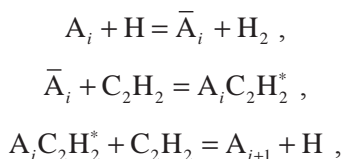
Механизмы образования канцерогенных углеводородов. При сжигании УВТ, в том числе в камерах сгорания (КС) ДВС, создаются условия, приводящие к образованию различных токсичных ингредиентов (в первую очередь, NO_x и ТЧ) и способствующие синтезу более тяжелых углеводородов, в том числе КУ. Анализ предлагаемых различными авторами схем и механизмов синтеза БП при горении углеводородных

топлив показывает, что его образование определяется концентрацией продуктов пиролиза исходного топлива, среди которых важную роль играет ацетилен (C_2H_2). Высказываются предположения, что БП и другие КУ могут рассматриваться как один из этапов образования ТЧ. Образование БП в условиях диффузионных пламен зависит от многих показателей горения топлива в КС, в том числе от вида топлива (уровней его ароматизации), качества его распыливания и смесеобразования, интенсивности диффузионных процессов, времени пребывания горючей смеси в зоне горения, конструктивных характеристик КС и т.д. При недостаточно качественном распыливании жидкого топлива сравнительно большое количество крупных капель топлива сепаруется на периферию КС, т.е. в «холодные» пристеночные зоны, где образуются высокие уровни БП, а их окислительные реакции заморожены.

Механизмы образования БП в КС поршневых ДВС рассмотрены практически только в схематическом виде и не включают кинетические факторы.



В работе [6] образование БП при сжигании ароматизированных топлив описано цепочкой следующих реакций полимеризационного типа:



где A_i – ароматическая молекула, содержащая i ароматических колец; \bar{A}_i – ароматический радикал, образующийся при отрыве атома H от A_i ; $A_i C_2H_2^*$ – радикал, образующийся в результате присоединения C_2H_2 к \bar{A}_i .

Наиболее интенсивно БП (КУ) образуется в локальных зонах с $\alpha_n = 0,1 - 0,6$ и в областях, соответствующих максимальной концентрации продуктов пиролиза исходного топлива: C_2H_2 , C_2H_4 , C_2H_6 и т.д. Это подчеркивает важную роль термических процессов, в частности пиролиза высокоароматизированных топлив, в механизме синтеза БП (КУ) при их сжигании в камерах сгорания ДВС.

Установлено, что существенное влияние на уровни образования БП при сжигании конкретного топлива оказывает неоднородность горючей смеси и связанные с ней локальные пульсации значения коэффициента избытка воздуха α_n относительно среднего показателя $\bar{\alpha}$ в объеме камеры сгорания, которые приводят к лавинообразному увеличению концентрации БП в областях, где $\alpha_n \leq 0,6$. Концентрация БП в ОГ авто-

транспортных средств с ДВС определяется как интенсивностью его образования в переобогащенных топливом зонах, так и дальнейшими процессами выгорания этого вещества при наличии свободного кислорода. При этом экспериментально установлено, что скорость окисления БП определяется диффузионными процессами, в результате чего относительная концентрация БП в выпускной системе автомобиля может снижаться на 2–3 порядка. Иначе обстоит дело с сажистыми (твердыми) частицами. Их выгорание определяется кинетикой гетерогенных реакций и требуется существенно больше времени, чем реализация процесса окисления БП. Поэтому значительная часть сажи, образовавшейся в первичной зоне факела, с сорбируемыми на ней КУ не успевает окислиться, что приводит к росту дымности ОГ двигателей.

Описание кинетического механизма образования КУ и их деструкции в условиях нестационарных термодинамических процессов ДВС является одной из насущных задач, решение которой позволит повысить экологическое совершенство автомобильных двигателей.

Для конкретного топливосжигающего устройства, в том числе транспортного средства с ДВС, значимое влияние на уровни выбросов БП с продуктами сгорания оказывает вид топлива, в том числе его структура и водородный показатель, включая уровни содержания ароматических углеводородов и особенно ПАУ. При этом следует учитывать то, что влияние АУ на рост уровней образования БП усиливается в ряду моноциклические – бициклические – ПАУ. Так как в современных нефтяных топливах существенно увеличена доля АУ и ПАУ, поиск эффективных путей снижения уровней образования БП и методов их нейтрализации является одной из важнейших задач, от решения которой зависит улучшение качества атмосферы в крупных городах [6–8, 10–13].

Выводы. Проведен анализ влияния химического состава и структуры углеводородных, в том числе высокоароматизированных, топлив, процессов их сжигания и конструктивных особенностей ДВС на уровни выбросов экоопределяющих ингредиентов с продуктами сгорания. Показано, что с увеличением в современных моторных топливах уровней содержания АУ, особенно ПАУ, резко возрастают выбросы КУ и ТЧ в ОГ автотранспортных средств.

Установлено, что экологохимическая (экоканцерогенная) опасность транспортных средств с ДВС в основном (на 90 % и более) определяется двумя парами сульфатоксидов: КУ + NO_x и КУ + ТЧ. Предложена методика интегральной оценки экоканцерогенной опасности транспортных средств с ДВС и определения показателя их соответствия международным нормам.

Показано, что важнейшими путями минимизации канцерогенно-мутагенной опасности транспортных средств с ДВС являются поддержание автомобилей, в первую очередь ДВС, в технически исправном состоянии; ограничение в моторных топливах не только уровней содержания АУ, но в первую очередь ПАУ; повышение уровня распыливания топлива и качества смесеобразования; использование предварительного смесеобразования и эффективных методов воспламенения обедненных горючих смесей; применение адиабатных КС и газообразных топлив, в том числе водорода в качестве дополнительного энергоносителя; использование современных каталитических

нейтрализаторов обработавших газов (окислительных, бифункциональных, а также накопительного типа).

Радикальным способом снижения загрязнения атмосферы в городских условиях является расширение использования электротяги для пассажирских перевозок (троллейбусы и автобусы с электродвигателями), а также электромобилей и автомобилей с силовой установкой на базе топливных элементов. С этой целью целесообразно применять существующую инфраструктуру городского электротранспорта, включая линии электропередач, тяговые подстанции и другое оборудование для зарядки аккумуляторных батарей электромобилей и получение водорода путем электролиза для силовых установок на базе топливных элементов.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Канило П.М. Автотранспорт. Топливо-экологические проблемы и перспективы. – Х.: ХНАДУ, 2013. – 272 с.
- 2 Соловей В.В., Канило П.М. Эколого-экономический анализ эффективности использования альтернативных топлив на автотранспорте // Вісник Інженерної академії України. – 2011. – № 2. – С. 121–127.
- 3 Шабад Л.М. О циркуляции канцерогенов в окружающей среде. – М.: Медицина, 1973. – 367 с.
- 4 Матвеева Н.А. и др. Гигиена и экология человека – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 304 с.
- 5 Петров Р.Л. Германия: экологический рейтинг автомобилей // Автомоб. пром-сть. – 2001. – № 7. – С. 35–39.
- 6 Лукачев С. В., Матвеев С.Г., Горбатко А.А. Образование и выгорание бенз(а)пирена при сжигании углеводородных топлив. – М.: Машиностроение, 1999. – 152 с.
- 7 Канило П.М., Шадрин М. В. Эколого-химические показатели автомобильных ДВС с учетом канцерогенности обработавших газов // Двигатели внутреннего сгорания. – 2006. – № 2. – С. 154–159.
- 8 Канило П.М., Соловей В.В., Костенко К.В. Проблемы загрязнения атмосферы городов канцерогенно-мутагенными супертоксикантами // Вестн. Харьк. нац. автомоб.-дор. ун-та. – 2011. – Вып. 52. – С. 47 – 53.
- 9 Коротков М.В. и др. Пробег и экологическая безопасность автомобиля // Автомобильная промышленность. – 2003. – № 5. – С. 8 – 10.
- 10 Канило П.М., Шубенко А.Л. Минимизация канцерогенной опасности энергоустановок // Пробл. машиностроения. – 2011. – Т. 14, № 4, С. 73 – 80.
- 11 Матвеев С.Г. Взаимосвязь между выбросами сажи и бенз(а)пирена тепловыми двигателями на углеводородном топливе // Вестн. Самар. аэрокосм. ун-та. – 2009. – № 3(19). – С. 210 – 214.
- 12 Лукачев С.В., Матвеев С.Г., Орлов М.Ю. Выброс канцерогенов при сжигании углеводородных топлив. – Самара: Изд-во Самар. аэрокосм. ун-та, 2007. – 160 с.
- 13 Матвеев С.Г., Орлов М.Ю., Чечет И.В. Влияние химического состава топлива на выброс бенз(а)пирена автомобилями // Вестн. Самар. аэрокосм. ун-та. – 2007. – № 2(13). – С. 134 – 136.

С. И. КОШКАРОВ

Кызылординский государственный университет им. Коркыт Ата

О МЕТОДАХ РАСЧЕТА РЕЖИМА ОРОШЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Повсеместно применяемый графический метод расчета поливного режима культур допускает значительное увеличение поливной нормы. Около 35–40% поданной при поливах влаги уходит на промачивание грунтов, залегающих ниже корнеобитаемого слоя почвы. Это вызывает сильное продолжительное (5–7 дней) иссушение почвы перед очередным поливом, что отрицательно сказывается на продуктивности орошаемых земель. Одновременно пополняются запасы грунтовых вод, возрастает нагрузка на коллекторно-дренажную сеть. Предлагается использовать при расчете поливной нормы в соответствии с мощностью корнеобитаемого слоя почвы метод А. Н. Костякова. Приведенными расчетами показано, что при этом наблюдается значительное уменьшение поливных норм, которое сопровождается соответственным увеличением числа поливов, что способствует дополнительному росту урожая культур и заметному улучшению мелиоративного состояния орошаемых земель.

Ключевые слова: метод расчета поливного режима, поливная норма, промачивание грунтов, корнеобитаемый слой почвы, коллекторно-дренажная сеть, ущемление водного режима, предполивная влажность.

Дақылдардың суару тәртібін есептеуде қолданылатын графикалық әдіс суару мөлшерін елеулі дәрежеде көбейтеді. Осыған байланысты суарымда берілетін ылғалдың 35-40% есепті қабаттан төмен өтіп, ыза сулар қорын толтырады, кәріз-коллектор жүйесі жүктемесін еселейді. Сондықтан кезекті суарымға 5-7 тәулік қалғанда өсімдік тамырлары орналасқан топырақ қабатында ылғал тапшылығы күрт артады. Бұл дақыл өнімділігін төмендетеді. Мәселені шеңбе мақсатында дақылдың суару тәртібін өсімдік тамырлары орналасқан топырақ қабатының вегетациялық мерзімде өзгеруін дәл, нақты ескеретін А.Н.Костяковтың әдісімен есептеу қажет. Сөйткенде суару мөлшері азаяды, ылғалданыдыру саны өседі.

Кілттік сөздер: Суару тәртібін есептеу әдісі, суару мөлшері, топырақты ылғалданыдыру, өсімдік тамырлары орналасқан топырақ қабаты, коллектор-кәріз желісі, ылғал режимін шектеу, суару алдындағы ылғалдылық.

Widely used now graphical method for calculation of crop irrigation conditions allows significant increase of irrigation rates values. When filed watering about 35-40% moisture is used for soaking ground, lying below the root zone of the soil. This causes a strong long-term (5-7days) drying up of soil before the next watering, which negatively affects on productivity of irrigated lands. Simultaneously, the groundwater reserves are filled up and load on collector-drainage network increases. It is offered to use A.N. Kostyakov's method for calculation of irrigation norms value in accordance with root zone of the soil thickness. Presented calculations showed that in this case, irrigation rates values considerably decrease and number of watering decreases too and this causes additional increase of crops yield and appreciable improvement of land-reclamation conditions of irrigation soils.

Keywords: Method of calculation of irrigation conditions, irrigation rate, soaking ground, root zone of soil, collector-drainage network, infringement of the water conditions, pre-irrigation moisture.

Основными методами расчета режима орошения сельскохозяйственных культур являются метод А. Н. Костякова (графоаналитический) и биоклиматический, или графический, как его иначе называют. Методы расчета режимов орошения, предло-

женные другими авторами, в принципе представляют собой разновидности второго способа [1].

Расчет режима орошения по А. Н. Костякову основан на водном балансе активного слоя почвогрунтов. Он выполняется для каждой декады вегетационного периода. Здесь в полной мере учитывается динамика мощности активного слоя грунтов в вегетационный период. Это, в свою очередь, обеспечивает оптимальную влажность почвы в различные фазы развития культуры. В результате создаются условия для получения высокого урожая.

Поливная норма культуры устанавливается по формуле

$$m = 100 \gamma H (\beta_{\text{ппв}} - \beta_{\text{мин}}),$$

где γ – объемная масса грунтов, в большинстве 1,40–1,45 т/м³; $\beta_{\text{ппв}}$ – влажность почвы после проведения полива или предельная полевая влагоемкость (ППВ), средние значения ППВ для разных типов почв обычно составляют 20–30% по весу; $\beta_{\text{мин}}$ – предполивная влажность почвы, оптимальная предполивная влажность обычно варьирует от 0,65 до 0,85 $\beta_{\text{ппв}}$.

Важным показателем, устанавливающим водный режим корнеобитаемого слоя почвы, является расчетная глубина увлажнения грунтов. Он определяется видом культуры и изменяется в зависимости от фазы ее развития.

Для многих культур расчетный слой почвы колеблется от 0,3 до 0,7 м. В таблице 1 приведены результаты определения поливной нормы культуры в зависимости от мощности расчетного слоя и величины ППВ для $\beta_{\text{мин}} = 0,70\beta_{\text{ппв}}$.

Таблица 1 – Поливная норма по А. Н. Костякову в зависимости от мощности слоя почвы и ППВ, м³/га

Мощность расчетного слоя почвы, см	ППВ, % по весу		
	20	25	30
30	252	315	378
40	336	420	504
50	420	525	630
60	504	630	756
70	588	735	882
Средняя за вегетационный период	420	525	630

Дальнейшие расчеты и сравнения двух методов выполнены при средней предельной полевой влагоемкости 25% по весу. Предположим, что оросительная норма культуры составляет 400 мм. По второму методу такая потребность во влаге может быть удовлетворена, как это принято ныне, за 4 полива нормой 100 мм. По первому методу установлено чередование поливов, которое приводится в таблице 2. Размеры поливных норм при расчетном слое почвы 30–50 см даны с округлениями в сторону увеличения в целях облегчения выполнения их поверхностными способами.

Таблица 2 – Режим орошения культуры по А. Н. Костякову

Номер полива	Поливная норма, мм		Коэффициент использования воды на поле
	расчетная	принятая	
1	32	40	0,80
2	35	45	0,80
3	42	50	0,86
4	52	60	0,88
5	58	65	0,91
6	63	65	0,97
7	74	75	0,99
Среднее	51	57	0,89

Таким образом, из 400 мм поданной на поле поливной воды на непосредственное увлажнение расчетного слоя почв будет использовано $0,89 \cdot 400 = 356$ мм. При расчете режима орошения культуры по графическому методу этот объем составит $0,58 \times 400 = 232$ мм (таблица 3). Здесь имеет место сильное ущемление культуры во влаге. В полупустынной зоне при относительно глубоком залегании уровня грунтовых вод и отсутствии сколь-нибудь ощутимых атмосферных осадков в вегетационный период суммарное водопотребление культуры практически равно оросительной норме. Среднесуточное водопотребление при продолжительности вегетационного периода, равного 100 сут, составит 4,0 мм.

В ответственные фазы развития растений расход влаги культурой обычно в 1,5–2,0 раза превышает его средневегетационное значение. В связи с этим принимаем величину среднесуточного водопотребления в период проведения третьего полива равной 6,5 мм. Таким образом, несмотря на то, что полив был выполнен нормой 100 мм, запасы влаги в расчетном слое увеличиваются лишь на 60 мм. Остальной объем воды (40 мм) из-за невозможности удержания его корнеобитаемым слоем почвы просачивается вниз. Продолжительность межполивного периода, как минимум, составляет 15 сут. Поданная за полив влага (60 мм) будет использована растением за $60 / 6,5 = 9$ дней. В остающийся 6-дневный период растение будет испытывать сильнейший дефицит влаги, что не может не отразиться отрицательно на продуктивности культуры.

Таблица 3 – Расчет поливной нормы по графическому (биоклиматическому) методу

Номер полива	Поливная норма, мм	Поливная норма по А. Н. Костякову, мм	Потери поливной воды, мм	Коэффициент использования воды на поле
1	2	3	4	5
1	100	40	60	0,40
2	100	50	50	0,50

Окончание таблицы 3

1	2	3	4	5
3	100	60	40	0,60
4	100	65	35	0,65
Среднее	100	58	46	0,58

Ущемление водного режима земель при расчете режима орошения культур по графическому методу составляет 42%. Этот объем оросительной нормы при поливах уходит вниз за пределы расчетного слоя почвы, пополняет запасы грунтовых вод, увеличивает нагрузку на дренаж и в целом весьма отрицательно влияет на эколого-мелиоративные условия орошаемых массивов.

Таким образом, графический метод расчета, который сейчас повсеместно применяется, допускает значительное завышение поливных норм. В особенности это касается аридной зоны, где преимуществом пользуются поверхностные способы полива, что является причиной значительных перерасходов воды при одновременном ущемлении культурных растений во влаге [2]. Это происходит вследствие того, что здесь расчет ведется для водного баланса поливного участка, а не для корнеобитаемого слоя грунтов.

Назначение поливной нормы по указанному методу 80–100 мм послужило основанием для появления в реальности более «грузных» поливов с нормой 120–150 мм. Возможно, это стало одной из главных причин многих «бед» мелиорации. Ущемление водного режима составляет 35–42%. Эти потери оросительной воды работают на ухудшение мелиоративного состояния орошаемых массивов, которое сейчас повсеместно происходит [3].

Назначение размеров поливов по методу А. Н. Костякова (см. таблицу 2) в строгом соответствии с мощностью корнеобитаемого слоя почвы устраняет этот недостаток. При этом следует ожидать адекватную для подобного случая прибавку урожая культуры не менее чем на 20–25% (таблица 4). Это произойдет за счет улучшения водного режима корнеобитаемого слоя почвы на 35–46%.

Дополнительные экономические затраты, связанные с увеличением числа поливов по А. Н. Костякову, несоизмеримо малы в сравнении с теми огромными расходами материальных и технических средств, которые ныне несет орошаемое земледелие из-за значительных потерь оросительной воды. Метод А. Н. Костякова предполагает проведение «щадящих» поливных норм, при которых отрицательное влияние орошения сводится к минимуму.

Таблица 4 – Значения поливных норм и урожайности культур в зависимости от способа полива

Способ полива	Число поливов	Норма полива, мм	Ориентировочная сравнительная урожайность культур, %
1	2	3	4
Полив напуском по полосам	4-5	90-120	100

Окончание таблицы 4

1	2	3	4
Полив по бороздам	4-5	80-100	110-120
Орошение дождеванием	10-12	30-35	140-150
Внутрипочвенное орошение	10-18	Менее 30	160-180
Капельное орошение	30-50	Менее 10	210-230

Эффективность применения метода расчета режима орошения А. Н. Костякова очевидна. Сейчас площадь мелиорированных земель в республике составляет около 1,3 млн га. Подавляющее большинство их (примерно 1,1 млн га) поливается поверхностными способами, преимущественно по бороздам. Сегодня на каждом гектаре указанной площади теряется около 2500–3000 кубометров влаги. Уменьшение поливных норм позволит направить эту воду на непосредственное увлажнение корнеобитаемого слоя почвы. Это будет способствовать дополнительному увеличению урожая культур и заметному улучшению мелиоративного состояния орошаемых земель.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Голованов А. И., Айдаров И. П., Григоров М. С. и др. Мелиорация земель. – М.: Колос, 2011. – 824с.
- 2 Ресурсосберегающие технологии возделывания сельскохозяйственных культур на юго-востоке Казахстана. – Алматы: Асыл кітап, 2010. – 200с.
- 3 Сводный аналитический отчет о состоянии и использовании земель Республики Казахстан за 2008 год. – Астана: Агентство Республики Казахстан по управлению земельными ресурсами, 2009. – 98с.

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 331.5(574)

М. У. БЕЙСЕНОВА, М. Т. КАЛЬМЕНОВА

Южно-Казахстанский государственный университет им. М. О. Ауэзова

СИСТЕМА ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕГИОНАЛЬНОГО БАЛАНСА ТРУДОВЫХ РЕСУРСОВ

Рассмотрены вопросы совершенствования системы учета занятости населения и человеческих ресурсов. Дана методика составления баланса трудовых ресурсов на основе международных стандартов. Разработана схема регионального баланса трудовых ресурсов. Показан порядок составления баланса трудовых ресурсов региона и его основных показателей, характеризующих наличие трудовых ресурсов и их распределение. Приведены расчеты основных показателей баланса трудовых ресурсов. Предлагаемая методика разработки отчетного баланса трудовых ресурсов рекомендуется для использования как унифицированная для РК, РФ и РБ с небольшой коррекцией по специфическим группам трудовых ресурсов.

Ключевые слова: рынок труда, трудовые ресурсы, регион, баланс трудовых ресурсов, человеческие ресурсы.

Мақалада тұрғындардың және адами ресурстардың жұмысбастандығын есепке алу жүйесін жетілдіру мәселелері қарастырылады. Халықаралық стандарттар негізінде еңбек ресурстарының теңгерімнің құру әдістемесі берілген. Еңбек ресурстарының аймақтық теңгерімінің сызбасы жасалған. Аймақтың еңбек ресурстарының теңгерімін құру және еңбек ресурстарының жағдайы мен олардың бөлуінің сипаттайтын негізгі көрсеткіштерін есептеу тәртібі көрсетілген. Еңбек ресурстары теңгерімінің негізгі көрсеткіштерінің есебі келтірілген. Еңбек ресурстарының есептік теңгерімін жасаудың жобаланған әдіснамасы еңбек ресурстарының арнайы топтары бойынша аз ғана түзетумен ҚР, РФ және БР үшін бірыңғайландырылған қолдану үшін ұсынылады.

Кілттік сөздер: еңбек нарығы, еңбек ресурстары, аймақ, еңбек ресурстарының теңгерімі, адам ресурстары.

In this paper problems of improvement of accounting system of employment of population and human resources were studied. Method was given for work force balancing based on international standards. Scheme of regional work force balancing was worked out. Procedure was shown for work force balancing of a region and forming of its main indexes characterizing availability of labor resources and their distribution. Calculations of the main indexes of the work force balancing were carried out. Offered method of manpower balance sheet development is recommended for using as harmonized for Republic of Kazakhstan, Russian Federation and Republic of Belorussia with small correction by specific groups of labor resources.

Keywords: Labor market, labor resources, region, work force balancing, human resources.

Разработка, анализ и управление региональным балансом трудовых ресурсов представляют собой преобразование имеющейся информации о состоянии изучае-

мого объекта, наблюдавшихся ранее тенденций и условий его функционирования в данный момент в систему представлений о будущем состоянии или поведении объекта. В целях создания эффективного механизма формирования, воспроизводства и развития трудового потенциала региона, для обеспечения его устойчивого инновационного развития, учета изменений в социально-экономических и демографических процессах для региональных органов власти актуальна задача разработки методических основ формирования основных показателей баланса трудовых ресурсов в зависимости от сценариев и траектории экономического развития территории.

Последние текущий и перспективный региональные балансы трудовых ресурсов разрабатывались и действовали в 1998 и 1999 годах в общей системе межотраслевого баланса РК. С тех пор балансы трудовых ресурсов не разрабатывались. В 2009 году планировалось создать текущий баланс трудовых ресурсов и перспективный баланс до 2012 года, однако результатов до сих пор нет.

Создание Евразийского экономического союза (ЕАЭС) трех стран – Казахстана с Российской Федерацией и Республикой Беларусь предусматривает корректность расчетов и унификацию всех форм платежной и балансовой отчетности (в настоящее время среди стран СНГ наблюдаются существенные различия в системах показателей балансов разных уровней).

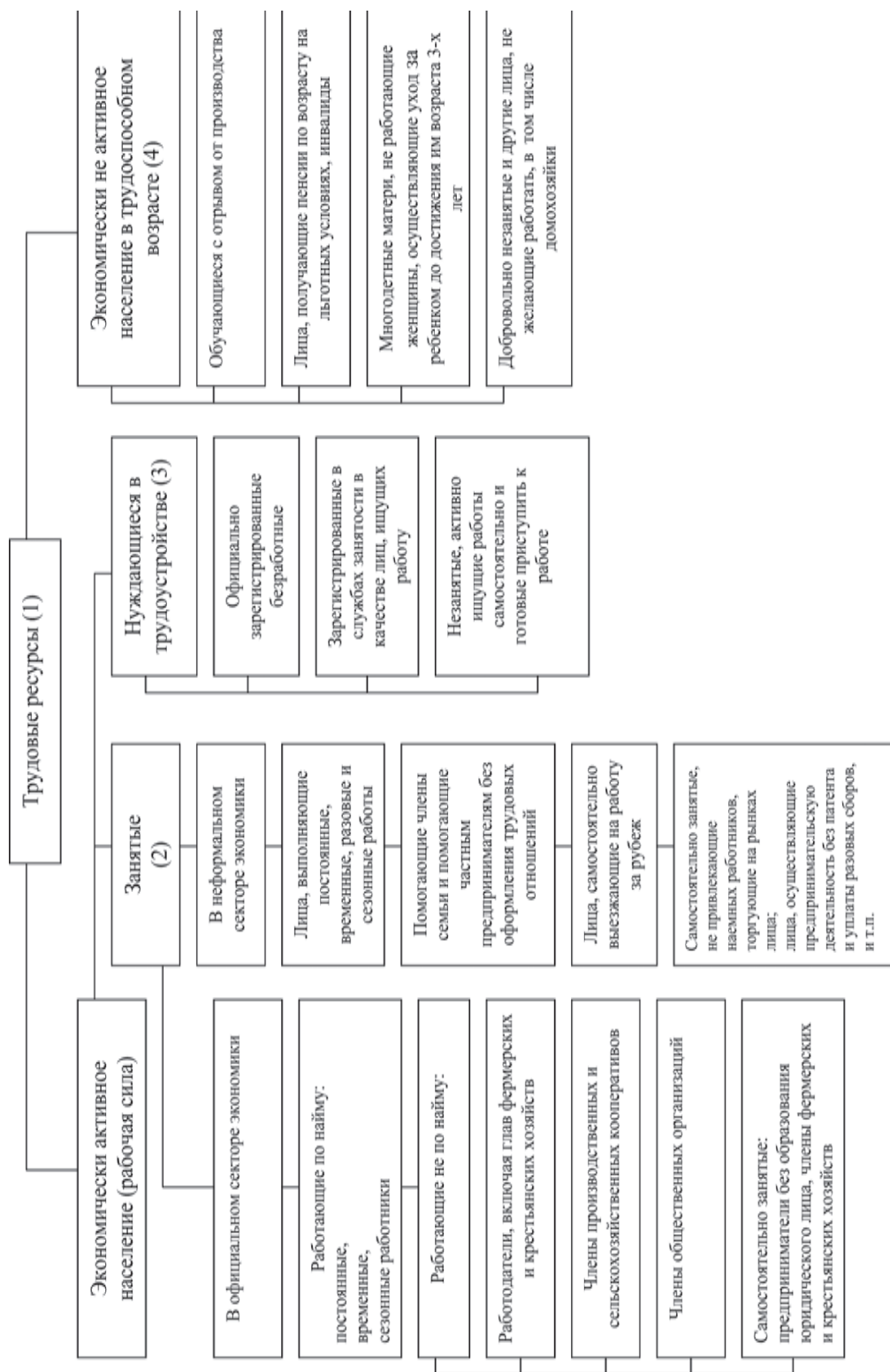
Анализ форм отчетности российских и белорусских балансов трудовых ресурсов не выявил различий по блокам и показателям развития трудовых ресурсов, включая региональные рынки труда. С большой долей вероятности можно утверждать, что такая же система показателей и расчетов будет применяться по договоренности с Россией и Беларусью при составлении текущего и перспективного балансов Республики Казахстан.

В целях обеспечения наиболее полной и объективной оценки уровня и структуры занятости населения в соответствии с международными стандартами, определения лиц, нуждающихся в трудоустройстве, для разработки мер по эффективному решению проблемы рациональной занятости населения и создания новых рабочих мест в регионах, а также дальнейшего совершенствования системы учета занятости требуется разработка на основе международных стандартов унифицированной методики составления баланса трудовых ресурсов.

Эта методика должна, в первую очередь, содержать порядок составления баланса трудовых ресурсов и его основных показателей, характеризующих наличие трудовых ресурсов и их распределение, в том числе:

- численности трудовых ресурсов;
- численности экономически активного населения, включая занятое население и его распределение по отраслям экономики и видам экономической деятельности и незанятое население, нуждающееся в трудоустройстве;
- численности экономически неактивного населения.

Комплексный анализ показателей трудовых ресурсов Стран Независимых Государств [1–6] позволяет нам предложить следующую унифицированную схему терминов, понятий, структуры, подсистем (блоков) и показателей баланса трудовых ресурсов (см. рисунок).



Общая схема расчета показателей баланса трудовых ресурсов

Численность трудовых ресурсов (блок 1) рассчитывается по данным статистической отчетности.

Численность занятых (блок 2) находится по данным статистической отчетности и результатам обследований рабочей силы.

Численность лиц, нуждающихся в трудоустройстве (блок 3), определяется по статистическим данным органов по труду и результатам обследований рабочей силы.

Численность экономически неактивного трудоспособного населения (блок 4) рассчитывается по данным статистической отчетности и результатам обследований рабочей силы.

Отчетный баланс трудовых ресурсов разрабатывается на основе фактических показателей трудовых ресурсов и их распределения за отчетный период (год), а также результатов обследований рабочей силы, проведенных в отчетном году.

Опыт зарубежных и отечественных разработок, включая советские, позволяет предложить нам достаточно апробированную и надежную методику разработки отчетного баланса трудовых ресурсов с расчетом следующих показателей.

Численность трудовых ресурсов. Этот показатель можно определить как сумму численности трудоспособного населения в трудоспособном возрасте и численности работающих лиц моложе и старше трудоспособного возраста:

$$Y_{\text{тр}} = Y_{\text{тн}} + Y_{\text{рпп}}, \quad (1)$$

где $Y_{\text{тр}}$ – трудовые ресурсы; $Y_{\text{тн}}$ – трудоспособное население в трудоспособном возрасте; $Y_{\text{рпп}}$ – работающие подростки и пенсионеры.

Численность $Y_{\text{тн}}$ легко вычисляется путем вычитания из численности населения в трудоспособном возрасте (мужчин в возрасте от 16 до 63 лет и женщин в возрасте от 16 до 58 лет) численности инвалидов I и II группы обоего пола в трудоспособном возрасте:

$$Y_{\text{тн}} = Ч_{\text{м}}(16 - 63) + Ч_{\text{ж}}(16 - 58) - Ч_{\text{и}}, \quad (2)$$

где $Ч_{\text{м}}(16 - 63)$ – мужчины в возрасте от 16 до 63 лет; $Ч_{\text{ж}}(16 - 58)$ – женщины в возрасте от 16 до 58 лет; $Ч_{\text{и}}$ – инвалиды I и II группы в трудоспособном возрасте (мужчины от 16 до 63 лет и женщины от 16 до 58 лет).

База данных по $Ч_{\text{м}}(16 - 63)$, $Ч_{\text{ж}}(16 - 58)$ формируется из статистических данных о половозрастном составе населения; по $Ч_{\text{и}}$ – из данных Министерства труда и социальной защиты населения о численности инвалидов в трудоспособном возрасте; по $Y_{\text{рпп}}$ – из статистических отчетов предприятий и компаний по работающим подросткам до 16 лет и пенсионерам.

Численность экономически активного населения. Этот показатель численности экономически активного населения определяется по формуле

$$Ч_{\text{за}} = Ч_{\text{з}} + Ч_{\text{нт}}, \quad (3)$$

где $Ч_{\text{за}}$ – численность экономически активной части населения; $Ч_{\text{з}}$ – численность занятых; $Ч_{\text{нт}}$ – численность незанятых лиц, нуждающихся в трудоустройстве.

Численность занятых в отчетном периоде можно рассчитать по формуле:

$$Ч_{\text{з}} = Ч_{\text{зосэ}} + Ч_{\text{зфкх}} + Ч_{\text{знсэ}}, \quad (4)$$

где: $Ч_{зосэ}$ – численность занятых в официальном секторе экономики, включая зарегистрированных предпринимателей, осуществляющих деятельность без образования юридического лица; $Ч_{зфкх}$ – численность занятых в фермерских и крестьянских хозяйствах; $Ч_{знсэ}$ – численность занятых в неформальном секторе экономики.

Базой данных по $Ч_{зосэ}$ служат статистические отчеты по труду предприятий и организаций, данные налоговых органов; по $Ч_{зфкх}$ – статистические данные и результаты обследований рабочей силы; по $Ч_{знсэ}$ – данные обследований рабочей силы.

По последнему показателю следует отметить, что в странах СНГ к занятым в неформальном секторе экономики относятся лица, неучтенные в официальной статистике, выполняющие по найму постоянные, временные, разовые и сезонные работы. В том числе лица, выезжающие для осуществления этих работ за пределы страны; лица, ведущие собственный бизнес, работающие не по найму с компаньонами; лица, имеющие заработок или доход от незапрещенной, но не зарегистрированной деятельности (например, занятые выпасом и выращиванием скота; лица, обслуживающие покупателей и торговцев на оптовых и розничных рынках; занятые торговлей на нестационарных торговых местах, частным извозом и другими видами деятельности).

Численность лиц, занятых в неформальном секторе экономики, может быть установлена на основании обследования рабочей силы, осуществляемого соответствующими министерствами труда и социальной защиты на базе данных выборочного обследования рабочей силы:

– определить удельный вес численности лиц, занимающихся соответствующими видами деятельности в неформальном секторе экономики, в общей численности опрошенных в трудоспособном возрасте по формуле

$$УВО_i = ЧО_i : ЧО \cdot 100, \quad (5)$$

где $УВО_i$ – удельный вес опрошенных, занимающихся конкретным i -м видом деятельности в неформальном секторе экономики; $ЧО_i$ – численность опрошенных, занимающихся конкретным i -м видом деятельности в неформальном секторе экономики; $ЧО$ – численность опрошенных в трудоспособном возрасте, всего.

Исходя из удельного веса можно рассчитать численность населения, занятого конкретным видом деятельности в неформальном секторе экономики, по формуле

$$Ч_{знсэi} = Y_{тн} \cdot УВО_i : 100, \quad (6)$$

где $Ч_{знсэi}$ – численность занятых в неформальном секторе экономики конкретным i -м видом деятельности; $Y_{тн}$ – численность населения в трудоспособном возрасте.

Базой данных по $Y_{тн}$ служат данные статистической отчетности о половозрастной структуре населения.

Для определения общей численности занятых в неформальном секторе экономики суммируются данные о $Ч_{знсэi}$ по каждому конкретному виду деятельности:

$$Ч_{знсэ} = \sum_{i=1}^n Ч_{знсэi}, \quad (7)$$

где $Ч_{знсэ}$ – численность занятых в неформальном секторе экономики, всего.

Распределение занятого населения по отраслям экономики и видам экономической деятельности осуществляется согласно действующим национальным классификаторам.

Определение численности незанятых лиц, нуждающихся в трудоустройстве.

Численность незанятых лиц, нуждающихся в трудоустройстве, включает в СНГ незанятых лиц в трудоспособном возрасте, которым соответствующими органами по труду присвоен статус безработного (БР); зарегистрированных в органах по труду в качестве ищущих работу (ИР); осуществляющих поиск работы самостоятельно без обращения в органы по труду (ИР_с).

База данных по БР и ИР строится на основе отчетных данных соответствующих органов по труду. Для определения численности ИР из численности лиц, состоящих на учете в соответствующих органах по труду на момент составления баланса, вычитается численность лиц, которым на этот момент официально присвоен статус безработного, включая лиц, получающих пособие по безработице, занятых на общественных работах по направлению органов по труду и проходящих профессиональную подготовку, переобучение и повышение квалификации по направлению органов по труду.

Расчет ИР_с – численность лиц, осуществляющих поиск работы самостоятельно, осуществляется на основе данных обследований рабочей силы следующим образом:

– по результатам обследования рабочей силы определяется удельный вес незанятого населения, нуждающегося в трудоустройстве:

$$\text{УНЛ} = (\text{НЗ}_0 - \text{ЭНН}_0) : \text{ЧО} \cdot 100, \quad (8)$$

где УНЛ – удельный вес незанятых лиц, нуждающихся в трудоустройстве; НЗ₀ – численность незанятых лиц, выявленных в результате обследования рабочей силы, всего; ЭНН₀ – экономически неактивное население, выявленное в результате обследования рабочей силы, всего; ЧО – численность опрошенных в ходе обследования рабочей силы;

– определяется общая численность незанятых лиц, нуждающихся в трудоустройстве, по формуле

$$Y_{\text{нт}} = Y_{\text{тн}} \cdot \text{УНЛ} : 100, \quad (9)$$

где Y_{нт} – численность незанятых лиц, нуждающихся в трудоустройстве; Y_{тн} – численность населения в трудоспособном возрасте; УНЛ – удельный вес незанятых лиц, нуждающихся в трудоустройстве, выявленных в ходе обследования рабочей силы;

– находится численность лиц, осуществляющих поиск работы самостоятельно (без обращения в органы по труду), как разность между численностью незанятых лиц, нуждающихся в трудоустройстве, и численностью зарегистрированных в органах по труду как ищущие работу и лиц с официальным статусом безработного:

$$\text{ИР}_c = Y_{\text{нт}} - \text{ИР} - \text{ББ}, \quad (10)$$

где ИР_с – ищущие работу самостоятельно; Y_{нт} – незанятые лица, нуждающиеся в трудоустройстве; ИР – зарегистрированные в органах по труду как ищущие работу; ББ – официально зарегистрированные безработные.

Определение численности экономически неактивного населения. Этот показатель рассчитывается по формуле

$$Ч_{\text{энн}} = Ч_{\text{у}} + Ч_{\text{ж}} + Ч_{\text{нпи}} + Ч_{\text{нжр}}, \quad (11)$$

где $Ч_{\text{энн}}$ – численность экономически неактивного населения; $Ч_{\text{у}}$ – численность обучающихся с отрывом от производства в возрасте от 16 лет и старше (по очной форме обучения), включая учащихся и студентов общеобразовательных школ, академических лицеев, профессиональных колледжей, курсов, вузов и других учебных заведений; $Ч_{\text{ж}}$ – численность женщин, находящихся в отпуске по беременности и родам, отпуске по уходу за ребенком до достижения им 3-летнего возраста, а также неработающие матери, осуществляющие уход за ребенком в возрасте до 1,5 лет; $Ч_{\text{нпи}}$ – численность неработающих лиц в трудоспособном возрасте, получающих пенсию по возрасту на льготных условиях, инвалидов I и II групп; $Ч_{\text{нжр}}$ – численность лиц добровольно незанятых, не желающих работать или не имеющих возможность приступить к работе, включая инвалидов III группы.

База данных по $Ч_{\text{у}}$ формируется из данных статистической отчетности; по $Ч_{\text{ж}}$ – данных статистической отчетности, обследований рабочей силы; по $Ч_{\text{нпи}}$ – данных статистической отчетности; по $Ч_{\text{нжр}}$ – данных обследований рабочей силы.

Рассчитываемые показатели формируют полную структуру отчетного баланса трудовых ресурсов.

Такая методика содержит порядок составления баланса трудовых ресурсов и его основных показателей, характеризующих наличие трудовых ресурсов и их распределение по отраслям экономики и видам экономической деятельности, а также численности экономически неактивного и незанятого населения, нуждающегося в трудоустройстве. Расчет баланса трудовых ресурсов позволит дополнить картину социально-экономического состояния территории путем включения его в комплексный план развития и использовать его в качестве инструмента управления человеческими ресурсами региона.

Предлагаемая методика разработки отчетного баланса трудовых ресурсов вполне может быть использована как унифицированная для РК, РФ и РБ с небольшой коррекцией по специфическим группам трудовых ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Договор о Евразийском экономическом союзе (29 мая 2014 года). Статья 62, 63. Приложение № 14. Протокол о проведении согласованной макроэкономической политики.
- 2 Постановление Правительства Республики Казахстан от 14 сентября 2001 года, № 1199. Об Индикативном плане социально-экономического развития Республики Казахстан на 2002 год.
- 3 Собрание актов Президента Республики Казахстан и Правительства Республики Казахстан. Стратегия территориального развития Республики Казахстан до 2015 года. – Астана. 2006. – 239с.
- 4 Экономическая активность населения Казахстана: Статистический сборник Агентства Республики Казахстан по статистике / Под ред. Смаилова А.А. – Астана, 2013. – 260с.
- 5 Уровень жизни населения в Казахстане в 2008–2012 гг.: Статистический сборник Агентства Республики Казахстан по статистике / Под ред. Смаилова А.А. – Астана, 2013. – 167 с.
- 6 Страны и регионы 2002: Статистический сборник Всемирного банка. – М.: Весь мир, 2003. – 240 с.

ЮБИЛЕЙНЫЕ ДАТЫ

ЧЛЕНУ КОЛЛЕГИИ (МИНИСТРУ) ПО ЭНЕРГЕТИКЕ И ИНФРАСТРУКТУРЕ
ЕВРАЗИЙСКОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ КОМИССИИ,
ПРЕМЬЕР-МИНИСТРУ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН (2003-2007 гг.),
ДОКТОРУ ЭКОНОМИЧЕСКИХ НАУК

**АХМЕТОВУ
ДАНИАЛУ КЕНЖЕТАЕВИЧУ – 60 ЛЕТ**



**Президиум Национальной инженерной академии Республики
Казахстан и научно-инженерная общественность страны сердечно
поздравляют Ахметова Даниала Кенжетаевича со знаменательной
датой – 60-летием со дня рождения!**

За выдающийся вклад в социально-экономическое
развитие страны Постановлением Президиума
Национальной инженерной академии Республики
Казахстан №133 от 14 марта 2014 года
Д. К. Ахметов удостоен звания
«Почетный инженер Казахстана»



**Желаем Даниалу Кенжетаевичу неиссякаемого оптимизма и
энергии, крепкого здоровья, счастья, благополучия и дальнейших
успехов на благо процветания Казахстана!**

БАЙМУРЗАЕВ ОРЫСБАЙ ЖУБАЕВИЧ

(К 75-летию со дня рождения)



17 октября 2014 г. исполнится 75 лет со дня рождения **Баймурзаева Орысбая Жубаевича** – профессора Международной академии архитектуры, члена-корреспондента Национальной инженерной академии Республики Казахстан, профессора Казахской государственной архитектурно-строительной академии, лауреата Государственной премии Каз ССР (1982 г.), заслуженного архитектора КазССР, почетного архитектора РК.

О. Ж. Баймурзаев после окончания Московского архитектурного института в 1967–1969 гг. по направлению института работал старшим архитектором Управления по делам строительства и архитектуры Совета Министров Каракалпакской ССР, главным специалистом-архитектором Нукусского филиала Узгипросельстроя. В 1969–1970 гг. – главный архитектор Берунийского района. В 1970–1982 гг. – руководитель группы архитекторов, главный архитектор проектов, руководитель мастерской ГПИ «Алмаатагипрогор». В 1982–1983 гг. – зам. начальника ГлавАПУ – зам. главного архитектора города Алма-Аты. В 1983–1993 гг. – начальник ГлавАПУ – главный архитектор г. Алма-Аты. С 1993 г. по настоящее время – заместитель генерального директора по проектным вопросам КАСП «Рахат». В 1969–1970 гг. – депутат районного совета г. Беруни, в 1983–1985 гг. – депутат городского Совета г. Алматы.

О. Ж. Баймурзаев известен как крупный архитектор, принимавший участие в строительстве малых городов Нукус, Шуменай, Беруни и города Алматы. Для Алматы период начиная с 70-х годов отмечен знаковыми для города зданиями и сооружениями, разработанными и построенными с его авторским участием. Это Выставочный павильон на ВДНХ Казахской ССР, здание банка «КРАМДС – банк», Монумент 250-летия воссоединения Казахстана с Россией, отели «Рахат Палас», «Ритц Палас», здание школы «Мирас» для Фонда образования Н. Назарбаева, интерьеры многофункционального комплекса «Рахат – Тауэрс» и другие объекты социального и гражданского строительства.

Общественность города и республики по достоинству оценила творческий труд архитектора. Он был делегатом многих съездов архитекторов СССР, делегатом XXVII съезда КПСС, в 1985–1995 гг. избирался депутатом Верховного Совета КазССР.

За творческие работы ему присвоены почетные звания «Заслуженный архитектор Казахстана», «Почетный архитектор Казахстана». За творческую и организаторскую деятельность в должности главного архитектора города награжден Почетной грамотой Президиума Верховного Совета КазССР. В 2012 году избран действительным членом Международной академии архитектуры.

Президиум Национальной инженерной академии поздравляет **Орысбая Жубаевича Баймурзаева** с юбилеем, желает крепкого здоровья, счастья, благополучия, неиссякаемой энергии, творческого долголетия!

АДИЛОВ ЖЕКСЕНБЕК МАКЕЕВИЧ

(К 65-летию со дня рождения)

25 ноября 2014 г. исполнится 65 лет со дня рождения **Адилова Жексенбека Макеевича** – доктора экономических наук, профессора, академика Международной инженерной академии и Национальной инженерной академии РК, Национальной академии наук РК, ректора Казахского национального технического университета им. К. И. Сатпаева.

Ж. М. Адилов окончил Казахский политехнический институт им. В. И. Ленина и аспирантуру Московского инженерно-строительного института. После окончания института в 1972–1974 гг. работал стажером-исследователем, в 1978–1980 гг. – ассистентом в Казахском политехническом институте. В 1980–2000 гг. – ассистент, старший преподаватель, заведующий кафедрой, декан Казахской государственной архитектурно-строительной академии. В 2000–2001 гг. – национальный консультант Всемирного банка при Агентстве по делам государственной службы, руководитель курса в Академии государственной службы при Президенте РК. В 2001–2004 гг. – директор Департамента мониторинга и контроля, Департамента государственного инспектирования и информатизации образования МОН РК. В 2004–2008 гг. – ректор Семипалатинского государственного университета им. Шакарима. С 2008 г. – ректор Казахского национального технического университета им. К. И. Сатпаева.



Научная деятельность академика Ж. М. Адилова посвящена проблемам разработки теоретических и методологических основ управления развитием строительного комплекса с целью перехода на модель устойчивого развития отрасли. Он один из разработчиков Концепции преобразования и дальнейшего развития строительного комплекса в Казахстане, международного проекта Евразийского инновационного интеграционного комплекса и др. Автор более 180 научно-методических работ, в том числе 10 монографий и 13 учебных пособий.

Профессор Ж. М. Адилов внес значительный вклад в подготовку инженерных кадров и специалистов с интеграцией инженерного и бизнес-образования, повышение качества профессионального образования с внедрением информационно-коммуникационных технологий в образовательный процесс. Им подготовлено 14 кандидатов и 1 доктор наук.

Ж. М. Адилов является председателем Отделения наук о Земле НАН РК, президентом Ассоциации центральноазиатских университетов, членом НДП «Нур Отан», Ассамблеи народа Казахстана.

Награжден орденами «Кұрмет», «За укрепление Содружества»; нагрудными знаками «Почетный работник образования РК», «За заслуги в развитии науки РК»; «Кәсіподақтарға сіңірген еңбегі үшін», «Ы.Алтынсарин» и др. Юбилейными медалями «Независимости Казахстана – 10 лет» и «Конституции Казахстана – 10 лет», «10 жыл Астана». Имеет 3 благодарности Президента РК Н. А. Назарбаева.

Президиум Национальной инженерной академии поздравляет **Жексенбека Макеевича Адилова** с юбилеем, желает крепкого здоровья, счастья, благополучия, неиссякаемой энергии и творческих успехов!

КИИНОВ ЛЯЗЗАТ КЕТЕБАЕВИЧ

(К 65-летию со дня рождения)



7 декабря 2014 г. исполнится 65 лет со дня рождения **Киинова Ляззата Кетебаевича** – доктора технических наук, академика Международной инженерной академии и Национальной инженерной академии Республики Казахстан, депутата Сената Парламента РК.

Л. К. Киинов после окончания в 1971 г. Казахского политехнического института им. В. И. Ленина прошел все ступени профессионального развития и роста в нефтегазовом производстве. Трудовую деятельность начал оператором по добыче нефти и газа нефтегазодобывающего управления «Жетыбайнефть» и вырос до руководителя лаборатории анализа разработки. В 1977–1992 гг. – инструктор промышленно-транспортного отдела Мангышлакского обкома партии, главный инженер территориально-производственного управления «Мангышлакнефтепромхим», начальник нефтегазодобывающих управлений «Каражанбастермнефть», «Комсомольскнефть». В 1992–1993 гг. – генеральный директор производственного объединения «Мангышлакнефть». В 1993–1995 гг. – глава Мангистауской областной администрации. В 1995–1997 гг. – вице-министр нефтяной и газовой промышленности РК. В 1997–1999 гг. – заместитель генерального директора Каспийского трубопроводного консорциума. В 1999–2002 г. – аким Мангистауской области. В 2002–2003 гг. – президент ЗАО «НК “КазМунайГаз”». В 2003–2011 гг. – вице-министр энергетики и минеральных ресурсов. В 2011–2013 гг. – председатель Правления Национальной компании «КазМунайГаз». С 2013 г. – депутат Сената Парламента РК, член Комитета по международным отношениям, обороне и безопасности.

Л. К. Киинов – видный государственный деятель, практик и ученый, принявший участие в построении фундамента современной нефтяной отрасли и сыгравший огромную роль в развитии ведущей национальной компании Казахстана, возглавлявший Мангистаускую область в период ее становления и развития в качестве одного из важнейших доноров республиканского бюджета. На посту главы компании «КазМунайГаз» его работа отмечена производственными достижениями, заботой о социальных нуждах нефтяников и населения региона. Он профессионал, умеющий организовать людей на выполнение сложных и в высшей степени ответственных задач, руководитель, умеющий брать ответственность на себя. Его отличают высокая работоспособность, умение организовать и себя, и других на выполнение поставленных целей, порядочность.

Л. К. Киинов являлся депутатом Верховного Совета КазССР 12-го созыва, участвовал в работе районных и городских советов, написал 19 научных статей и монографию. Награжден орденами «Отан», «Парасат», медалями Республики Казахстан.

Президиум Национальной инженерной академии поздравляет **Ляззата Кетебаевича Киинова** с юбилеем, желает крепкого здоровья, счастья, благополучия и дальнейших творческих успехов!

ПШЕМБАЕВ МЕЙРАМ КУДАЙБЕРГЕНОВИЧ

(К 55-летию со дня рождения)

29 октября 2014 года исполнится 55 лет со дня рождения **Пшембаева Мейрама Кудайбергеновича** – доктора экономических наук, члена-корреспондента Национальной инженерной академии Республики Казахстан, депутата Мажилиса Парламента Республики Казахстан.

М. К. Пшембаев закончил Семипалатинский зооветеринарный институт и Северо-Западную академию Российской Федерации. Трудовую деятельность начал в 1981 г. в органах комсомола Семипалатинского зооветеринарного института. С 1989 по 2005 г. занимал должности: директор совхоза «Ермаковский», председатель правления АО «Аксу», генеральный директор представительства «Роснефть» в Казахстане, вице-президент ТОО «Казнефтеком», главный менеджер ННК «Казахойл» на Павлодарском нефтеперерабатывающем заводе, первый заместитель генерального директора ЗАО «РЦ “Казимпекс”» КНБ Республики Казахстан, исполнительный директор Siemens в Казахстане. В 2004–2007 гг. – председатель совета директоров ТОО «Корпорация “Казахсельмаш”». При его участии завод по производству сельскохозяйственной техники был выведен из состояния банкротства, в котором пребывал практически 7 лет и бездействовал. С марта 2006 г. – председатель Правления Совета директоров ОЮЛ «Союз машиностроителей Казахстана». В 2007–2011 гг. – депутат Мажилиса Парламента РК 4-го созыва. С 2012 г. – депутат Мажилиса Парламента Республики Казахстан 5-го созыва, член Народно-демократической партии «Нур Отан», избран по партийному списку. Член комитета по экономической реформе и региональному развитию Мажилиса Парламента Республики Казахстан.

Научные исследования М. К. Пшембаева посвящены разработке эффективного механизма рыночных отношений на современном этапе для аграрно-промышленного комплекса с учетом природно-экономических условий разных регионов Казахстана и решению практических задач по совершенствованию и производству узлов, механизмов и агрегатов. Ряд его научных и конструкторских разработок внедрен на промышленных предприятиях и используется в учебных процессах. Он принимал участие в разработке программы по диверсификации и развитию машиностроительной отрасли и мастер-плана по развитию кластера «нефтегазовое машиностроение».

М. К. Пшембаева отличают ответственность, настойчивость и целеустремленность, коммуникабельность, знание экономики, менеджмента и производства. Эти качества на разных этапах его деятельности позволяют ему находить оперативные и стратегические решения вопросов экономической реформы и регионального развития, отстаивания прав и интересов машиностроительной отрасли в органах государственного управления, а также при разработке и принятии законов.

За заслуги награжден орденами «Күрмет» и «Парасат».

Президиум Национальной инженерной академии поздравляет **Мейрама Кудайбергеновича Пшембаева** с юбилеем, желает крепкого здоровья, счастья, благополучия и дальнейших творческих успехов!



ИДРИСОВ ДИНМУХАМЕТ АППАЗОВИЧ

(К 50-летию со дня рождения)



29 декабря 2014 г. исполнится 50 лет со дня рождения **Идрисова Динмухамета Аппазовича** – доктора технических наук, академика Национальной инженерной академии Республики Казахстан, почетного профессора Казахстанского автомобильно-дорожного университета им. Л. Б. Гончарова, председателя наблюдательного совета ТОО OrdabasyGroup.

Д. А. Идрисов после окончания Алматинского филиала Усть-Каменогорского строительного института в 1989–1996 гг. работал преподавателем в этом вузе. В 1999 г. закончил Казахскую государственную академию управления.

В 1997 г. учредил и возглавил ТОО «Алма-Ойл» – одну из крупнейших компаний по поставкам сырой нефти и нефтепродуктов на рынки Казахстана. Также в 1997 г. он создал и возглавил ТОО «Ордабасы», основной деятельностью которого стала поставка оборудования нефтеперерабатывающим предприятиям Казахстана. В 1999 г. окончил Казахскую государственную академию управления по специальности «экономист». С 2004 г. – председатель Совета директоров АО «Казахстанские коммунальные системы». В 2005–2006 гг. – управляющий директор АО «НК «Казахстан Темир Жолы». С 2005 г. – член Совета предпринимателей при Президенте РК, член Координационного совета Общенационального союза предпринимателей «Атамекен». С 2010 г. входит в состав бюро Президиума Национальной экономической палаты Казахстана «Союз «Атамекен». С 2010 г. – председатель Совета директоров АО Maten Petroleum. С 2010 г. – председатель Наблюдательного совета ТОО OrdabasyGroup.

Научное направление деятельности академика Д. А. Идрисова связано с исследованиями и разработкой технологий получения вяжущих и керамических, силикатных и тугоплавких неметаллических материалов, с использованием местного сырья и отходов промышленности. Результаты его исследований с применением механической активации при получении шлакощелочных вяжущих, их структурообразовании при гидратации внесли определенный вклад в теорию и практику строительных материалов. Разработки внедрены на заводе керамических блоков ТОО «Саулет» Алматинской области и на Тольяттинском кирпичном заводе (Россия). Изобретенные средства защиты растений и минеральные удобрения используются на ТОО «Агропромышленный концерн «Сункар»» Шымкентской области. При его участии в г. Шымкенте построен завод по получению керамогранита.

Д. А. Идрисовым опубликованы 2 монографии, более 40 научных работ, получены 4 авторских свидетельства СССР и 17 патентов РК.

Он награжден орденом «Кұрмет» (2005 г.), в честь 20-летия Независимости Казахстана – орденом «Парасат».

Президиум Национальной инженерной академии поздравляет **Динмухамета Аппазовича Идрисова** с юбилеем, желает крепкого здоровья, счастья, благополучия и дальнейших творческих успехов!

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

1. Абдолдина Ф. Н. – к.т.н., доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории имитационного моделирования космических систем ДТОО «Институт космической техники и технологий» АО «Национальный центр космических исследований и технологий»
2. Ахмед-Заки Д. Ж. – д.т.н., проректор по учебной работе Казахского национального университета им. аль-Фараби
3. Ахмедов Д. Ш. – д.т.н., член-корреспондент Национальной инженерной академии Республики Казахстан, директор ДТОО «Институт космической техники и технологий» АО «Национальный центр космических исследований и технологий»
4. Бакытбеков Р. – докторант PhD кафедры химии и технологии органических веществ, природных соединений и полимеров Казахского национального университета им. аль-Фараби
5. Бейсахметов Д. А. – ведущий инженер АО «Центр наук о Земле, металлургии и обогащения» АО «ННТХ “Парасат”»
6. Бейсенова М. У. – д.э.н., профессор, заведующая кафедрой «маркетинг и экономическая теория» Южно-Казахстанского государственного университета им. М. О. Ауэзова
7. Бектемесов А. Т. – PhD докторант, научный сотрудник студенческой лаборатории информационных технологий и дизайна, ДГП НИИ ММ Казахского национального университета им. аль-Фараби
8. Бисмильдин И. Р. – магистрант 2-го курса кафедры механики Казахского национального университета им. аль-Фараби

9. Битимбаев М. Ж. – д.т.н., профессор, академик Международной инженерной академии и Национальной инженерной академии Республики Казахстан, заместитель председателя правления ТОО «Дата-ИНВЕСТ»
10. Болат А. – студент 4-го курса кафедры химии и технологии органических веществ, природных соединений и полимеров Казахского национального университета им. аль-Фараби
11. Болотов А. В. – д.т.н., профессор, академик Международной инженерной академии и Национальной инженерной академии Республики Казахстан, генеральный директор ТОО «Экоэнергомаш»
12. Бопеев Т. М. – старший научный сотрудник лаборатории имитационного моделирования космических систем ДТОО «Институт космической техники и технологий» АО «Национальный центр космических исследований и технологий»
13. Васильев А. И. – д.экон.н., академик Международной инженерной академии, профессор кафедры организации производства, бизнеса и менеджмента Харьковского национального технического университета сельского хозяйства им. П. Василенко
14. Васильев В. А. – к.т.н., старший преподаватель кафедры «электроснабжение промышленных предприятий» Алматинского университета энергетики и связи
15. Дё И. М. – к.т.н., ведущий научный сотрудник ОЮЛ «Ассоциация “Индустриальные строительные технологии РК”»
16. Дракунов Ю. М. – доктор технических наук, профессор кафедры механики Казахского национального университета им. аль-Фараби.
17. Дручинина Л. А. – научный сотрудник ОЮЛ «Ассоциация “Индустриальные строительные технологии РК”»

-
18. Елубаев С. А. – заведующий лабораторией имитационного моделирования космических систем ДТОО «Институт космической техники и технологий» АО «Национальный центр космических исследований и технологий»
19. Жумагулов Б. Т. – д.т.н., профессор, академик Национальной академии наук и Национальной инженерной академии РК, Международной инженерной академии, лауреат Государственной премии РК в области науки, техники и образования, Заслуженный деятель науки РК, президент Национальной инженерной академии Республики Казахстан, главный редактор журнала «Вестник НИИ РК»
20. Ирмухаметова Г. С. – к.х.н., старший научный сотрудник кафедры химии и технологии органических веществ, природных соединений и полимеров Казахского национального университета им. аль-Фараби
21. Исахов А. А. – доктор PhD, заместитель заведующего кафедрой математического и компьютерного моделирования по научно-инновационной деятельности и международным связям Казахского национального университета им. аль-Фараби
22. Калдыбеков Д. – докторант PhD кафедры химической технологии переработки нефти и газа Казахского национального технического университета им. К. И. Сатпаева
23. Кальменова М. Т. – к.э.н., доцент кафедры «экономика» Южно-Казахстанского государственного университета им. М. О. Ауэзова
24. Канило П. М. – д.т.н., профессор, ведущий научный сотрудник отдела оптимизации процессов и конструкций турбомашин Института проблем машиностроения НАН Украины
25. Кетегенов Т. А. – д.х.н., доцент, член-корреспондент и главный научный сотрудник Национальной инженерной академии Республики Казахстан

26. Кливенко А. Н. – PhD докторант кафедры химии и технологии органических веществ, природных соединений и полимеров Казахского национального университета им. аль-Фараби
27. Кононов А. В. – инженер Института высоких технологий «НАК “Казатомпром”»
28. Королев А. А. – д.т.н., профессор кафедры «технология машиностроения» Саратовского государственного технического университета им. Ю. А. Гагарина (Россия)
29. Королев А. В. – д.т.н., профессор, член-корреспондент Российской инженерной академии, заведующий кафедрой «технология машиностроения» Саратовского государственного технического университета им. Ю. А. Гагарина (Россия)
30. Кошкаров С. И. – д.т.н., профессор кафедры «водное хозяйство и землеустройство» Кызылординского государственного университета им. КORKYT-Ата
31. Кудайбергенов С. Е. – д.х.н., профессор, директор Института полимерных материалов и технологий
32. Кулибаев А. А. – д.т.н., профессор, академик Международной инженерной академии, Национальной инженерной академии РК, лауреат Государственной премии РК в области науки, техники и образования, президент «АКА групп», председатель попечительского совета Фонда «Мунайши», президент Фонда совет мира и согласия РК
33. Лексин М. Ю. – конструктор-технолог Института высоких технологий «НАК “Казатомпром”»
34. Мирюк О. А. – д.т.н., профессор, заведующая кафедрой строительства и строительного материаловедения Рудненского индустриального института
35. Музгина В. С. – д.т.н., профессор, ГНС отдела физико-химических проблем комплексного освоения недр Института горного дела им. Д. А. Кунаева

-
36. Мун Г. А. – д.х.н., профессор, член-корреспондент Национальной инженерной академии Республики Казахстан, заведующий кафедрой химии и технологии органических веществ, природных соединений и полимеров Казахского национального университета им. аль-Фараби
37. Муратов Д. М. – ведущий инженер-программист лаборатории имитационного моделирования космических систем ДТОО «Институт космической техники и технологий» АО «Национальный центр космических исследований и технологий»
38. Муханова А. М. – к.т.н., доцент кафедры информационных технологий Алматинского технологического университета
39. Нурбатуров К. А. – доктор технических наук, профессор, академик НИА РК, лауреат Государственной премии РК в области науки, техники и образования, почетный строитель, председатель ОЮЛ «Ассоциация “Индустриальные строительные технологии РК”»
40. Нурлыбаева А. С. – инженер кафедры информационных систем и математического моделирования Международного университета информационных технологий
41. Орынгожин Е. С. – д.т.н., доцент, член-корреспондент и главный научный сотрудник Национальной инженерной академии Республики Казахстан
42. Осеров Т. Б. – младший научный сотрудник Национальной инженерной академии РК, магистрант Казахского национального технического университета им. К. И. Сатпаева
43. Рябцев М. Ю. – аспирант кафедры автоматизации технических процессов и производств Севастопольского национального технического университета (Россия)
44. Сейдахмет А. Ж. – кандидат технических наук, доцент кафедры механики Казахского национального университета им. аль-Фараби.

45. Синчев Б. К. – д.т.н., профессор кафедры информационных систем и математического моделирования Международного университета информационных технологий, член-корреспондент Национальной инженерной академии Республики Казахстан
46. Соловей В. В. – д.т.н., профессор, академик Инженерной академии Украины, заведующий отделом водородной энергетики Института проблем машиностроения НАН Украины
47. Сулейменов И. Э. – д.х.н., к.ф.-м.н., член-корреспондент Национальной инженерной академии Республики Казахстан, профессор кафедры автоматической электросвязи, заведующий лабораторией наноэлектроники Алматинского университета энергетики и связи
48. Суркова Т. Ю. – к.т.н., и.о. заведующей лабораторией благородных металлов АО «Центр наук о Земле, металлургии и обогащения» АО «ННТХ “Парасат”»
49. Турсыханова А. О. – инженер кафедры информационных систем и математического моделирования Международного университета информационных технологий
50. Тюрин А. Н. – д.т.н., доцент, заведующий кафедрой «технология машиностроения» Западно-Казахстанского аграрно-технического университета им. Жангир хана
51. Фалалеев А. П. – д.т.н., профессор, проректор по научной работе Севастопольского национального технического университета (Россия)
52. Юлусов С. Б. – младший научный сотрудник лаборатории благородных металлов АО «Центр наук о Земле, металлургии и обогащения» АО «ННТХ “Парасат”»

СОДЕРЖАНИЕ

КЛЮЧЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ НАУКИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

- VIII Казахстанско-Российская международная научно-практическая конференция «Математическое моделирование в научно-технологических и экологических проблемах нефтегазовой отрасли» 5
- Жумагулов Б. Т.* Выступление на VIII Казахстанско-Российской научно-практической конференции «Математическое моделирование в научно-технологических и экологических проблемах нефтегазовой отрасли»..... 7

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА

- Жумагулов Б. Т., Исахов А. А.* Математическое моделирование турбулентного пограничного слоя с помощью зонального RANS/LES метода..... 10
- Ахмедов Д. Ш., Елубаев С. А., Абдолдина Ф. Н., Бопеев Т. М., Муратов Д. М.* Имитационная модель оптимизации архитектуры кластерной вычислительной системы на базе GPU- ускорителей..... 19
- Бектемесов А. Т., Ахмед-Заки Д.Ж.* Модели параллельных программ и их верификация при использовании транзакционной памяти 30

ГОРНОЕ ДЕЛО, МЕТАЛЛУРГИЯ

- Суркова Т. Ю., Юлусов С. Б., Бейсахметов Д. А.* Об извлечении редкоземельных элементов из техногенных минеральных образований от переработки фосфатных урановых руд 36
- Битимбаев М. Ж., Орынгожин Е. С., Музгина В. С.* Экологические аспекты технологии интенсивного кучного выщелачивания 43

НОВОСТИ НАУКИ И ТЕХНИКИ..... 48

МЕХАНИКА И МАШИНОСТРОЕНИЕ

- Королев А. В., Тюрин А. Н., Королев А. А.* Ультразвуковая релаксация остаточных напряжений в полиамидных изделиях 52
- Синчев Б. К., Муханова А. М., Нурлыбаева А. С., Турсынханова А. О.* Общий алгоритм решения задачи кинематики механизма Ассура высоких классов с различными парами 59
- Дракунов Ю. М., Сейдахмет А. Ж., Бисмильдин И. Р.* Оптимальный синтез шарнирного четырехзвенника по коэффициенту изменения средней скорости коромысла и его моделирование в системе Inventor 66

ХИМИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

- Болотов А.В., Васильев В.А.* Индукционно-резистивный нагрев при производстве губчатого титана..... 74

Кетеменов Т. А., Лексин М. Ю., Кононов А. В., Осеров Т. Б. Применение колонных флотомашин для сбора микросфер 80

Кливенко А.Н., Болат А., Кудайбергенов С.Е., Мун Г.А. Синтез и исследование амфотерных криогелей на основе метакриловой кислоты и N,N'-диметиламиноэтилметакрилата..... 85

ЭНЕРГЕТИКА

Судейменов И. Э., Фалалеев А. П., Рябцев М.Ю., Бакытбеков Р., Калдыбеков Д., Ирмухаметова Г. С. К возможности реализации новых источников электрической энергии на основе термочувствительных полимерных гидрогелей 92

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Мирюк О. А. Вспенивание солевых затворителей для магнизиальных пенобетонов..... 98

Кулибаев А. А., Нурбатуров К. А., Дё И. М., Дручинина Л. А. Пенобетон – современный строительный материал 104

ЗНАЕТЕ ЛИ ВЫ 109

ЭКОЛОГИЯ И АГРОТЕХНОЛОГИИ

Васильев А. И., Канило П. М., Соловей В. В. Эколого-экономические проблемы канцерогенного загрязнения атмосферы городов автомобильным транспортом..... 113

Кошкарров С. И. О методах расчета режима орошения сельскохозяйственных культур 125

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Бейсенова М. У., Кальменова М. Т. Система показателей регионального баланса трудовых ресурсов 130

ЮБИЛЕЙНЫЕ ДАТЫ

Ахметову Даниалу Кенжетаевичу – 60 лет 137

Баймурзаев Орысбай Жубаевич (К 75-летию со дня рождения)..... 138

Адилов Жексенбек Макеевич (К 65-летию со дня рождения) 139

Киинов Ляззат Кетебаевич (К 65-летию со дня рождения) 140

Пшембаев Мейрам Кудайбергенович (К 55-летию со дня рождения)..... 141

Идрисов Динмухамет Аппазович (К 50-летию со дня рождения ... 142

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ..... 143

CONTENTS

THE KEY PROBLEMS of the DEVELOPMENT of SCIENCE and ENGINEERING ACTIVITY

VIII Kazakhstan-Russian International scientific-practical conference “Mathematical simulation in scientific-technological and ecological problems of oil and gas industry” 5

Zhumagulov B.T. The speech at the VIII Kazakhstan-Russian International scientific-practical conference “Mathematical simulation in scientific-technological and ecological problems of oil and gas industry”..... 7

INFORMATION TECHNOLOGIES AND APPLIED MATHEMATICS

Zhumagulov B.T., Isakhov A.A. Mathematical simulation of turbulent boundary layer with zonal RANS/LES method using 10

Akhmedov D.Sh., Yelubayev S.A., Abdoldina F.N., Bopeyev T.M., Muratov D.M. Imitation model of optimization of architecture of cluster computing system based on GPU accelerator 19

Bektemesov A.T., Akhmed-Zaki D.Zh. Models of parallel programs and their verification with transactional memory on high-performance computers 30

MINING AND METALLURGY

Surkova T.Yu., Yulusov S.B., Beisakhmetov D.A. Problem of rare-earth elements extraction from TMF of phosphate uranium ores processing 36

Bitimbayev M.Zh., Oryngozhin Ye.S., Muzgina V.S. Ecological aspects of intensive heap leaching technology 43

NEWS OF SCIENCE AND TECHNOLOGY 48

MECHANICS AND MACHINE BUILDING

Korolyov A.V., Tyurin A.N., Korolyov A.A. Ultrasonic relaxation of residual stresses in polyamide products 52

Sinchev B.K., Mukhanova A.M., Nurlybayeva A.S., Tursynkhanova A.O. Common algorithm for solving problem of kinematics of Assurs’ mechanisms of high classes with different pairs 59

Drakunov Yu.M., Seidakhmet A.Zh., Bismildin I.R. Optimal synthesis of four-bar linkage by coefficient of changing of average speed of rocking arm and its simulation in Inventor system 66

CHEMISTRY AND MATERIAL SCIENCES

<i>Bolotov A.V., Vasilyev V.A.</i> Inductive-resistive heating in spongy titanium production	74
<i>Ketegenov T.A, Leksin M.Yu., Kononov A.V., Oserov T.B.</i> Column flotation machines using for microspheres collection	80
<i>Klivenko A.N., Bolat A., Kudaibergenov S.Ye., Mun G.A.</i> Synthesis and studying of amphoteric cryogels based on methacrylic acid and N,N'-dimethylaminoethylmethacrylate	85

POWER ENGINEERING

<i>Suleimenov I.E., Falaleyev A.P., Ryabtsev M.Yu., Bakytbekov R., Kaldybekov D., Irmukhametova G.S.</i> Possibility of implementation of new sources of electric power based on thermo-sensitive polymeric hydrogels	92
---	----

CONSTRUCTIONAL MATERIAL

<i>Miryuk O.A.</i> Foaming of salt agents for mixing with water for magnesium foam concretes	98
--	----

<i>Kulibayev A.A., Nurbaturov K.A., Dyo I.M., Druchinina L.A.</i> Foamed concrete – modern construction material	104
--	-----

<i>DO YOU KNOW</i>	109
--------------------------	-----

ECOLOGY AND AGRICULTURAL TECHNOLOGIES

<i>Vasilyev A.I., Kanilo P.M., Solovei V.V.</i> Ecological-economic problems of cancerogenic pollution of cities atmospheric air by motor transport	113
---	-----

<i>Koshkarov S.I.</i> Methods of calculation of crops irrigation conditions	125
---	-----

ECONOMY AND MANAGEMENT

<i>Beisenova M.U., Kalmenova M.T.</i> System of indexes of regional work force balancing	130
--	-----

JUBILEE DATE

Akhmetov Danial Kenzhetayevich (To 60-th birthday).....	137
--	-----

Baimurzayev Orysbai Zhubayevich (To 75-th birthday).....	138
---	-----

Adilov Zheksenbek Makeyevich (To 65-th birthday).....	139
--	-----

Kiinov Lyazzat Ketebayevich (To 65-th birthday).....	140
---	-----

Pshembayev Meiram Kudaibergenovich (To 55-th birthday).....	141
--	-----

Idrisov Dinmukhamet Appazovich (To 50-th birthday).....	142
--	-----

THE INFORMATION ABOUT AUTHORS	143
--	-----

Редактор *Т.Н. Кривобокова*
Верстка на компьютере *Е.В. Огурцовой*

Адрес редакции:
Национальная инженерная академия РК
050010, г. Алматы, ул. Богенбай батыра, 80
Тел. 8(327)-2915290

Подписано в печать 21.08.2014 г.
Гарнитура Таймс. Формат 70x100 $\frac{1}{16}$.
Уч.-изд. л. 10,8. Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии ТОО «Luxe Media Group»