



**Научно-практическая конференция
«Энергетика будущего.
Энергоэффективность»**



**Междисциплинарные фундаментальные исследования – основа
новых технологий**

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

семинара

**«Атомно-водородные технологии для внедрения в энергетике и на
транспорте»**

Москва, МВЦ «Крокус Экспо», 2011 г.

УДК 66.074.36

Представлены тезисы докладов научно-практической конференции «Энергетика будущего. Энергоэффективность», которая проводится в рамках ежегодной 12-ой специализированной выставки «Изделия и технологии двойного назначения. Диверсификация ОПК» и в соответствии с необходимостью ускорения решения проблем по энергосбережению и повышению энергоэффективности, изложенных в Указе Президента Российской Федерации Д.А.Медведева «О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики» от 04.06.2008 г. №889. Конференция проводится по руководством Президента Российской инженерной академии, член-корр. РАН, д.т.н., профессора, Лауреата Государственных премий СССР и Российской Федерации Б.В.Гусева.

Руководители:

Козляков В.В. – Первый заместитель Генерального директора ОАО «ВНИИАМ» по научной работе (Ученый секретарь Комиссии РАН по использованию энергоаккумулирующих веществ в машиностроении, механике и экологии), проф., д.т.н.

Безруких П.П. – Академик секретарь секции «Энергетика» Российской инженерной академии, д.т.н.

ПРОБЛЕМЫ НАУЧНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКОНОМИКИ РОССИИ

*П.П. Безруких, д.т.н, Председатель Комитета
по проблемам использования ВИЭ Российского Союза научных и
общественных организаций (Комитет ВИЭ РосСНМО), Зам. генерального
директора ЗАО «ГУ Институт энергетической стратегии».*

В настоящее время автор видит следующие проблемы научного обеспечения повышения энергетической эффективности экономики России:

- *отсутствие на государственном уровне комплексного подхода к проблеме «Энергоэффективная экономика»;

- *принятый основной макроэкономический показатель оценки энергоэффективности экономики – (удельная энергоемкость ВВП) – не отражает уровень развития экономики и не может являться основой практической работы по этой проблеме;

- *понятия, установленные в федеральном законе № 261-ФЗ не в полной мере отражают содержание проблемы «Энергоэффективность»;

- *отсутствие концепции преодоления противоречия интересов в энергосбережении: производитель (продавец) топлива и/или энергии – производитель (продавец) товаров и услуг – потребитель товаров, услуг, топлива и энергии;

- *отсутствие ясной государственной политики в использовании возобновляемых источников энергии.

Комплексность подхода к проблеме энергоэффективности заключается в том, что в неразрывном единстве необходимо рассматривать три компонента:

- *эффективность использования топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) на всех стадиях жизненного цикла (энергосбережение);

- *эффективность использования минерально-сырьевых ресурсов, материалов и изделий (ресурсосбережение);

- *использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) для производства топлива, электрической и тепловой энергии (замещение органического топлива).

Несостоятельность использования показателя «удельная энергоемкость ВВП», как главного показателя энергоэффективности экономики видна из следующего сопоставления.

По паритету покупательной способности удельная энергоёмкость ВВП России в 2009 г. (0,42 тнэ/\$1000 США 2000) выше (хуже), чем в США - в 2,2 раза, Великобритании - в 3,8 раза, Германии - в 3,0 раза, Франции - в 2,8 раза, Канаде - в 1,68 раза, Испании – в 3,5 раза. Но, удельная энергоёмкость ВВП США в 2009 г. (0,19 тнэ/\$1000 США 2000) выше (хуже), чем на Кубе - в 1,9 раза, в Чили - в 1,37 раза, в Перу - в 2,37 раза, в Индии - в 1,37 раза, в Бангладеш - в 2,11 раза, в Турции - в 1,58 раза.

Не станем же мы утверждать, что во всех развитых странах энергоэффективность «хуже», чем в развивающихся. Просто эти страны не достигли приемлемого уровня использования преобразованных видов энергии.

Понятия «энергосбережение» и «энергоэффективность» принятые в Федеральном Законе №261-ФЗ, не отражают ни научной сущности явления, ни практической направленности и зачастую понимаются упрощенно.

Автором предлагается, например, понятие «энергоэффективность» свободное от указанных недостатков. «Энергетическая эффективность это достижение научно-обоснованных:

- *потерь топлива и/или энергии на всех стадиях их жизненного цикла;

*удельной энергоёмкости производства продукции, работ и услуг;

*удельного энергопотребления машинами и механизмами при производстве продукции, работ и услуг с соблюдением ограничений техногенного влияния на окружающую среду процессов добычи, транспортировки и переработки топлива, производства, передачи и распределения электрической и тепловой энергии».

Можно смело утверждать, что если не удастся правильно разрешить противоречия интересов при проведении энергосберегающих мероприятий, то все наши попытки обречены на провал. Их суть отражена на рис.1:

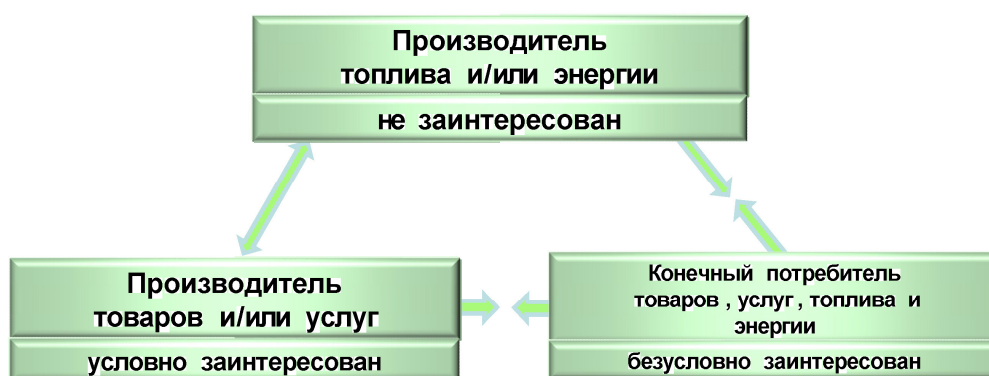


Рис.1. К вопросу о заинтересованности в энергосбережении (противоречия интересов).

Предложения по направлениям преодоления противоречия интересов в энергосбережении сводятся к установлению следующих положений:

*Прозрачность и публичность обоснования тарифов на электрическую и тепловую энергию;

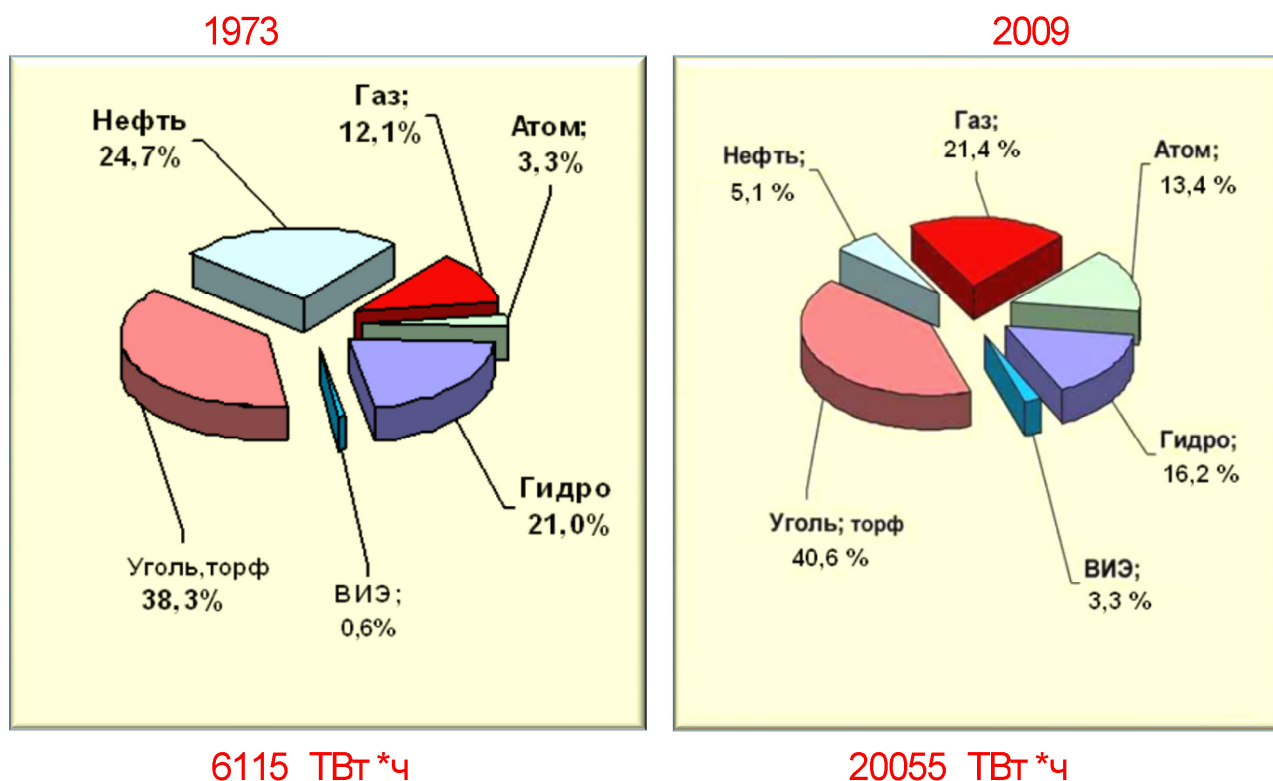
*Устранение посредников в реализации электрической и тепловой энергии; Стимулирование одновременно производителя и потребителя за экономию топлива и/или энергии в результате внедрения у потребителя энергоэффективных мероприятий;

*Организация работ на государственном уровне по определению удельной энергоёмкости основных видов продукции и удельного энергопотребления машинами и механизмами массового использования;

*Стимулирование производителя биотоплива, электрической и тепловой энергии по безтопливным технологиям и на базе отходов (использование ВЭР, ВИЭ, детандеров, ТБО и т.п.);

*Предъявление санкций к производителям товаров и услуг, расточительно использующих ТЭР.

Состояние возобновляемой энергетики мира представлено на рис.2. и табл.1.



Источник : KEY WORLD ENERGY STATISTICS 2011

Рис.2. Производство электроэнергии в мире в 1973 и в 2009 годах.

Таблица 1.

Индикаторы состояния и темпы развития ВЭ мира.

	Единицы измерения	2008	2009	2010	2010/2009
Годовые инвестиции в возобновляемую энергетику	млрд. \$ США	130	160	211	1,32
Мощность электростанций возобновляемой энергетики (без ГЭС)	ГВт	200	250	312	1,25
Мощность ГЭС	ГВт	590	980	1010	1,03
Мощность ВЭС	ГВт	121	159	198	1,24
Мощность фотоэлектрических станций	ГВт	16	23	40	1,74
Годовое производство солнечных элементов	ГВт	6,9	11	24	2,2
Мощность солнечных водонагревателей	ГВт (тепл)	130	160	185	1,15
Годовое производство этанола	млрд.литр.	67	76	86	1,13
Годовое производство биодизельного топлива	млрд.литр.	12	17	19	1,12
Страны, установившие государственные цели в использовании ВИЭ	кол-во	79	89	98	1,1

Источник: REN21. Renewables 2011. Global status report.

Как видно из табл.1. даже в кризисные годы возобновляемая энергетика развивалась темпами, немыслимыми для других отраслей. Особенно стоит отметить темпы роста фотоэлектрических станций. К 2020 г. прогнозируется, что общая установленная мощность ФЭС сравняется с установленной мощностью ВЭС.

А уже в 2009 г., производство электроэнергии на ВЭС составило в Дании – 21%, Испании – 14,5%, Португалии – 9%, Германии – 7% от общего производства.

Общая установленная мощность ВЭС в 2010 г. составила 198 ГВт, а ФЭС - 40 ГВт.

К сожалению, в России при имеющимся экономическом потенциале (320 млн. т у.т. в год) и инновационным разработкам оборудования многих видов ВИЭ, за исключением мощных ветроустановок, объем производства электрической энергии на базе ВИЭ вот уже целое десятилетие находится на одном уровне - порядка 0,6-0,7 % от годового производства.

Существующее правовое и нормативное обеспечение не стало стимулом развития из-за многих недоработанных аспектов. Заявленные Правительством РФ рубежи развития возобновляемой энергетики : 2010 г. -1,5% , 2015 г. – 2,5% и 2020 г. – 4,5% не подкреплены практическими действиями. С сожалением приходится констатировать отсутствие ясной целенаправленной государственной политики.

Выводы:

*Позиционирование России как великой энергетической державы должно сопровождаться кроме решения проблем добычи органического топлива и минерально-сырьевых ресурсов, также решением проблем перехода к энергоэффективной экономике.

*Проблема перехода к энергоэффективной экономике заключается в разработке комплексного научного, правового, нормативного и организационного обеспечения трех взаимосвязанных направлений: энергосбережения, ресурсосбережения и развития возобновляемой энергетики с учетом влияния на окружающую среду;

*Действующее нормативно-правовое, научное и организационное обеспечение энергосбережения, ресурсосбережения и возобновляемой энергетики нуждается в безотлагательном совершенствовании и расширении областей применения;

*Развитие энергосбережения, ресурсосбережения и возобновляемой энергетики возможно только при существенном финансировании из федерального и регионального бюджетов, по меньшей мере составляющем

15-20 % от объема государственного финансирования традиционной энергетики.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И АНАЛИЗ ЭНЕРГОАККУМУЛИРУЮЩИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ СПЛАВОВ АЛЮМИНИЯ С МАГНИЕМ И МЕДЬЮ

д.т.н. В.И. Есьман, д.т.н. В.В. Козляков, М.А. Печейкина, к.т.н. Д.Л.Раков,
асп. В.Н. Саранцев, д.т.н. А.В.Синев, к.т.н. В.С. Терещук.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 10-08-00336-а)

В настоящее время для хранения водорода исследуются сплавы алюминия с редкоземельными металлами (индием и галлием). Стоимость индия и галлия находится на уровне драгоценных металлов, а их содержание в земной коре не превышает тысячных долей процента, что не позволит в будущем создать энергетику на их основе.

В США в частности разработан способ получения водорода из воды с помощью металлического сплава, состоящего из алюминия и галлия. (http://www.rnd.cnews.ru/natur_science/news/top/index_science.shtml?2007/05/22/251270) или из алюминия (90%) и сплавами галлий-индий-олово (10%) (публикация 14 ноября 2010 в Materials Today- <http://www.materialstoday.com/view/13936/hydrogen-generation/>).

Наши исследования в ходе выполнения показали, что водород можно получать и из сплавов алюминия с магнием и медью, что значительно эффективнее. Стоимость исследуемых сплавов на несколько порядков меньше, чем у сплавов с индием и галлием.

В экспериментальной части проекта исследованы сплавы активированного алюминия с медью и магнием для хранения водорода, которые не исследовались ни в России, ни за рубежом.

Известен композит на основе алюминия для генерирования водорода (патент РФ 2253606). Активация металла композита осуществляется введением в расплав алюминия сухой щелочи. Этот процесс для увеличенного содержания щёлочи с целью увеличения скорости реакции, т. е. для увеличения газоприхода с той же реакционной поверхности, хорошо идёт при повышенном, относительно атмосферного, давлении окружающей инертной среды, что удорожает и усложняет технологический процесс изготовления композита.

Недостатком известных процессов является малая скорость газовыделения с единицы поверхности, стоимость и сложность процесса изготовления. Так, скорость газовыделения у прототипа находится в пределах 0,01 - 0,02 л/м²мин. При используемом в настоящее время, методе прессования для изготовления необходим пресс с мощностью порядка 70 Мпа.

Задачей исследований являлась разработка композита для ускорения прохождения реакции и более простого, дешевого способа получения водорода. Задача решена разработкой композита, представляющего собой сплав на основе алюминия (87-90%) магния или меди (4-5%) и щелочи (4-5), при этом в шихту сплава вводят, кроме этих компонентов, 2-3% порообразующего гидрида металла.

Пористый композит изготавливают следующим способом - путем введения в смесь А1 с вышеуказанными добавками перед его плавкой 2-3% порошкообразного гидрида магния или титана и хорошо перемешивают, помещают в индукционную печь и проводят плавку при температуре 660-700⁰С. Гидрид металла с температурой разложения 300-600⁰С образует в расплаве металла поры, которые заполняются помимо водорода расплавом щелочи, которая не растворилась в расплаве алюминия. Для лучшей активации алюминия используется гидрид магния или титана, что было подтверждено экспериментально. Были выбраны 5 композитов с

разным составом и при одинаковых нормальных условиях были получены величины их газовыделения и проведено сравнение с газовыделением прототипа (вариант 6). Результаты экспериментов приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Зависимость газовыделения композита от его состава

Номер варианта	Al	Магний, Медь	Щелочь	Гидрид металла	Газовыделение, л/м ² мин
Вариант 1	90% Al	4% Cu	4% NaOH	2% MgH ₂	1,9
Вариант 2	89% Al	4% Cu	4% NaOH	3% MgH ₂	2,15
Вариант 3	88% Al	5% Cu	5% NaOH	2% TiH ₂	1,4
Вариант 4	89% Al	4% Mg	4% NaOH	3% MgH ₂	1,8
Вариант 5	87% Al	5% Cu	5% NaOH	3% MgH ₂	3,5
Вариант 6 (прототип)	92% Al	4% Cu	4% NaOH	-	0,02

В заключении можно сделать вывод о том, что в синтезированном композите удалось достичь скорости газовыделения 3,5 л/м²мин. Данный композит состоит из 87% Al, 3% MgH₂, 5% NaOH, 5%Cu.

ГИДРИДЫ АЛЮМИНИЯ, КАК АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ЭФФЕКТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

д.т.н. В.И. Есьман, д.т.н. В.В. Козляков, М.А. Печейкина, к.т.н. Д.Л.Раков,
асп. В.Н. Саранцев, д.т.н. А.В.Синев, к.т.н. В.С. Терещук.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 10-08-00336-а)

В последнее десятилетие в ряде ведущих стран, обладающих промышленной энергетикой интенсивно развиваются исследования и опытно-конструкторские разработки в области водородной энергетики. Так по данным Международной ассоциации водородной энергетики, уже более 50 государств мира имеют национальные программы перехода к водородной экономике. В различных областях водородной энергетики в более чем в 40 странах работает до тысячи структур – государственных, частных и общественных (Источник - О национальной научно-инновационной программе «Водородная энергетика» на период до 2050 года: итоговое заявление российских участников Второй международной конференции «Водородная энергетика будущего: регионы и отрасли» (ВЭБРО-2007). Соответственно этому экспоненциально растет и число научно-исследовательских работ.

Одним из важнейших вопросов при создании водородных технологий является выработка концепций энергетических систем использующих возобновляемые источники энергии и эффективные системы хранения энергии. В настоящее время для хранения водорода исследуются различные сплавы алюминия. Сплавы активированного алюминия с медью и магнием в качестве веществ для хранения водорода до настоящего времени не исследовались ни в России, ни за рубежом. Преимуществом исследуемых материалов является то, что они не пассивируются, а ожидаемая газопроизводительность и характеристики выше, чем у известных веществ.

Проект посвящен поиску перспективных способов использования и хранения энергии возобновляемых источников, а также созданию научной базы энергетики нового поколения. Конкретная фундаментальная задача - моделирование и выявление закономерностей создания энергетических систем на базе возобновляемых источников энергии с использованием водорода в качестве энергоаккумулирующего вещества.

Задача, на решение которой направлен проект, сформулирована в "Основных направлениях фундаментальных исследований РАН", а именно посвящена исследованиям возобновляемых источников энергии и проблемам водородной энергетики.

Предлагаемый проект соответствует также перечню критических технологий, изложенных в "Основах политики Российской Федерации в области развития науки и технологий на период до 2010 года и дальнейшую перспективу", а именно технологиям новых и возобновляемых источников энергии и технологиям водородной энергетики.

Сочетание эффективных систем хранения водорода с использованием возобновляемых источников энергии позволит создать базу для перехода на экологически чистую энергетику.

Проект направлен на решение фундаментальной научной проблемы в области энергетики, связанной с теоретическими и экспериментальными исследованиями систем на базе возобновляемых источников энергии с использованием водорода в качестве энергоаккумулирующего вещества.

ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ НА АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКАХ ЭНЕРГИИ

д.т.н. Ю. Торбек, к.т.н. Д.Л. Раков

Авиакосмический институт Берлинского технического университета, Германия,
ИМАШ РАН, Россия

Уменьшающиеся запасы невозобновляемых ресурсов (нефть, природный газ) и их отрицательное воздействие на окружающую среду заставляют проводить исследования по поиску альтернативных видов топлива.

Одним из главных претендентов является электрическая энергия, запасаемая в аккумуляторах или преобразованная при помощи фотоэлементов. В настоящее время появилось множество проектов связанных с применением электроэнергии для полета.

Критическим фазами полета самолетов являются фазы взлета, когда необходимо развить максимальную тягу двигательной установки. Одной из альтернатив является дополнительные установки позволяющие самолету получить необходимое количество энергии. После анализа возможных схем, для последующих исследований оставлены 3 альтернативы (рис.1).

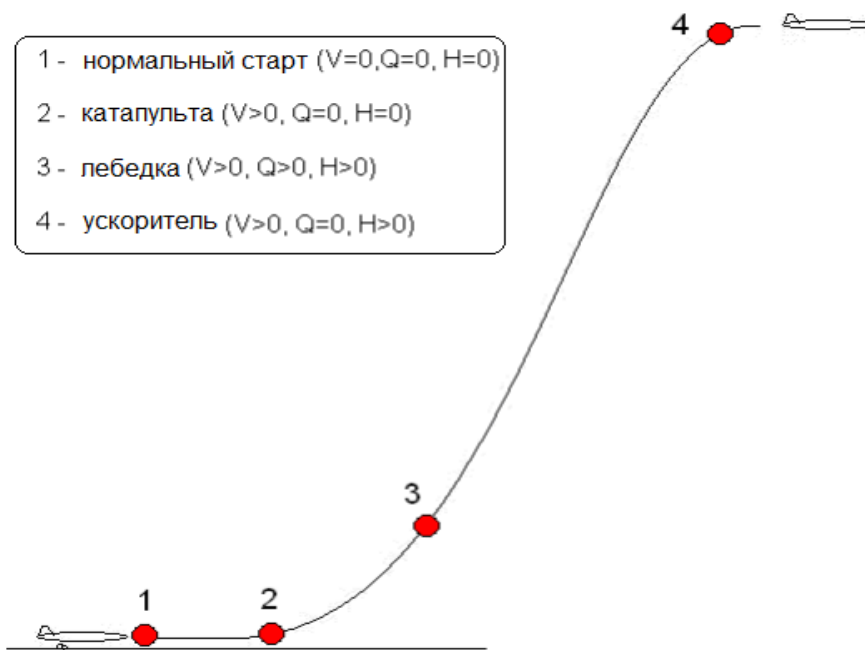


Рис.1. Схемы разгона самолета при помощи внешних ускорителей

Для исследуемых вариантов рассчитаны баллистические, аэродинамические и массово-геометрические модели. Баллистические расчеты проводились путем интегрирования уравнений движения методом Эйлера на базе программы «LANE» с шагом интегрирования 0,05. При расчете траекторий численно рассчитываются уравнения движения самолетов в вертикальной плоскости. На рис. 2 приведены зависимости характеристик самолета при старте и наборе высоты, а на рис.3 гистограммы показывающие уменьшение веса аккумуляторов при разгоне со внешними ускорителями.

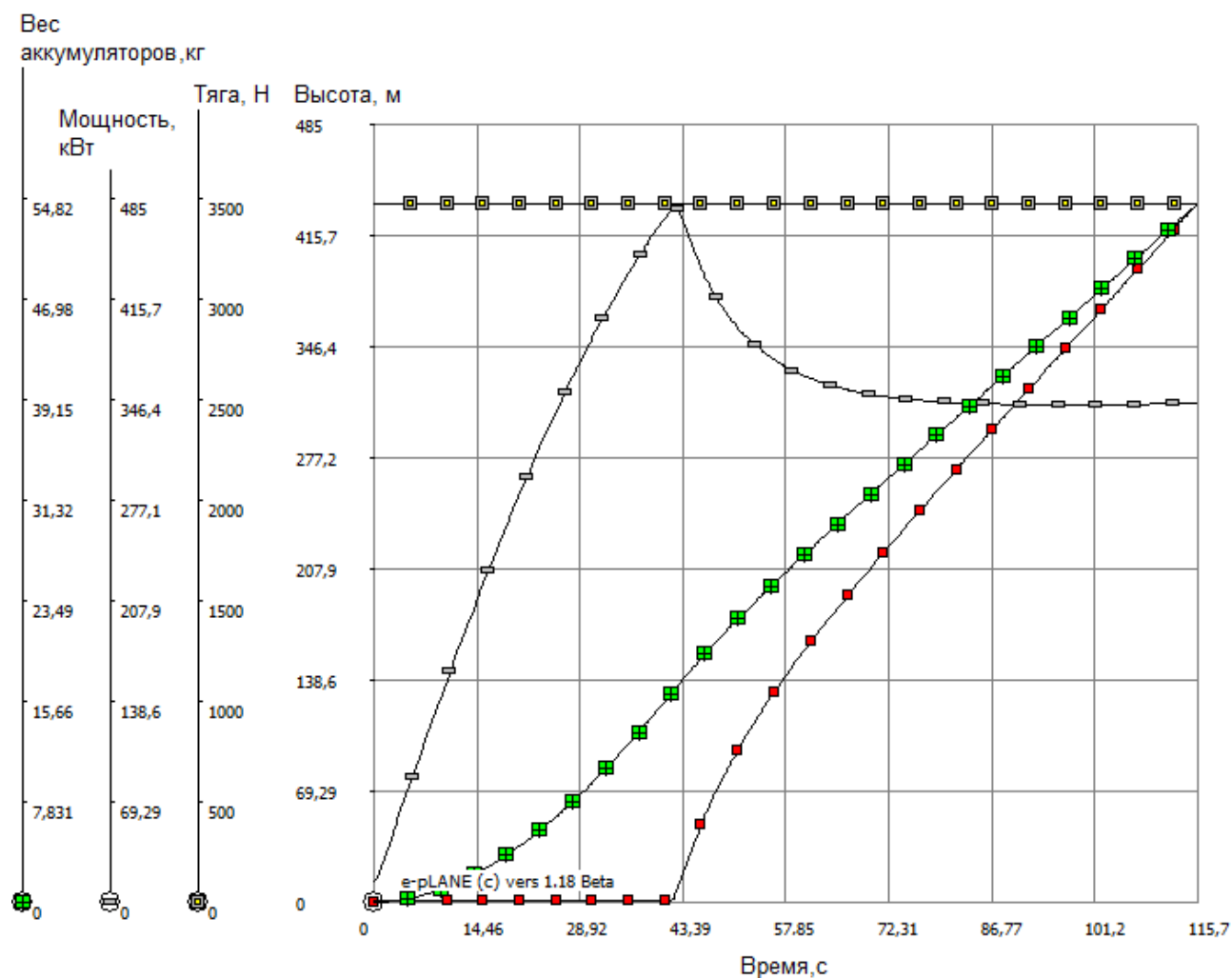


Рис.2. Зависимости характеристик самолета от времени

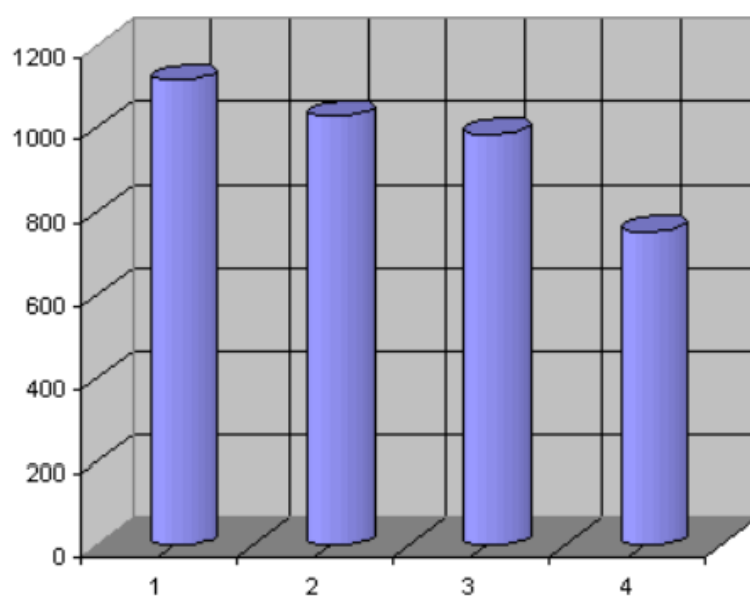


Рис.3. Зависимости веса аккумуляторов от вида старта

Экономия веса составляет от 100 до 400 кг, что доказывает получение существенного эффекта и определяет возможность применения дополнительных ускорителей.

В ходе моделирования также выявлено сильное влияние скорости крейсерского полета на вес, а следовательно и компоновку электрических самолетов (рис.4). При расчетах считалось что дальность полета составляет 400 км, крейсерская высота полета — 3000м, и стартовый вес 3500кг.

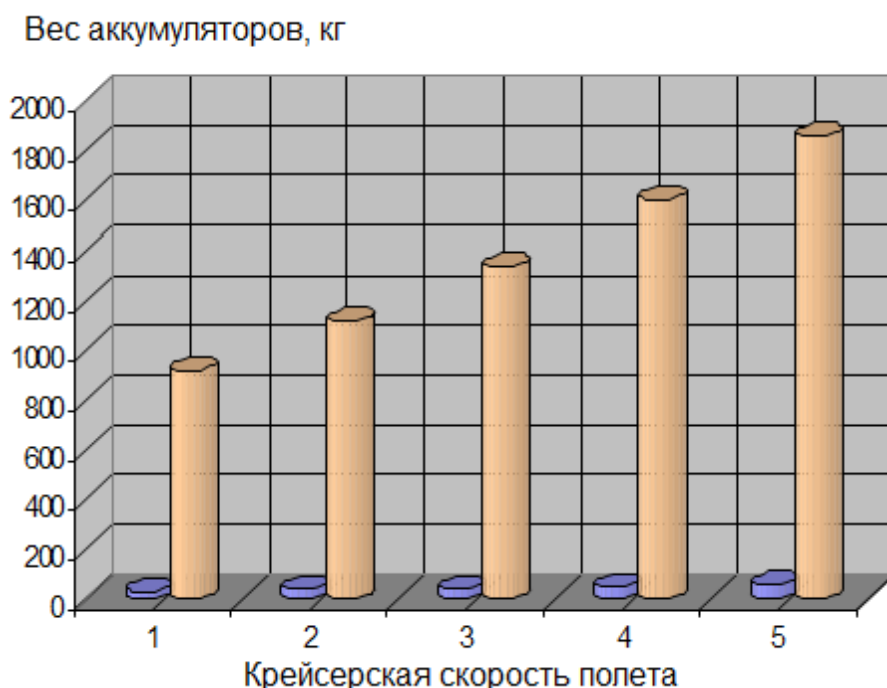


Рис.4. Зависимости веса аккумуляторов от вида старта (1 модель — 30 м/с, 2 модель — 35 м/с, 3 модель — 40 м/с, 4 модель — 45 м/с и 5 модель — 50 м/с)

В заключении можно отметить, что:

- ⚡ в настоящее время возможна реализация самолетов, использующих электроэнергию для двигательных установок;
- ⚡ Существенную экономию веса можно достичь использованием вспомогательных стартовых устройств;
- ⚡ Одной из критических составляющих для электрических самолетов является крейсерская скорость полета.

ОБРАТНЫЕ ЗАДАЧИ СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА ПРИ СОЗДАНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

к.т.н. Д.Л. Раков
ИМАШ РАН, Россия

Развитие экологических транспортных систем в настоящее время представляет собой одну из главных задач стоящую перед научно-исследовательскими организациями. Катастрофические последствия экстенсивного развития транспорта и его решающее воздействие на окружающую среду заставляет искать новые технические решения, позволяющие совершить качественный рывок в технологиях.

Современный период развития науки и техники характеризуется усложнением создаваемых технических средств, резким увеличением стоимости их разработки, производства, эксплуатации, а также быстрым моральным старением и снижением возможности одновременного существования нескольких изделий близкого назначения. В связи с этим особое значение приобретает решение задачи создания техники, воплощающей новейшие научно-технические достижения и открытия, имеющей высокий технический уровень [1,2]. Огромное число факторов конструктивного, технологического, эксплуатационного и экономического характера, влияющих на процесс создания новой техники, предопределили необходимость использования системного анализа и синтеза при проектировании технических систем (ТС).

Однако до настоящего времени большие надежды, возлагаемые на использование в процессе проектирования вычислительных средств, оправдываются далеко не в полной мере. Сложившаяся ситуация описывается в [3,4], где указывается на определенную недоработанность общей теории проектирования, что заставляет внимательно рассмотреть особенности и содержание процесса проектирования.

В практическом плане "...методологически, с позиций формальных методов, проектирование устройства (системы, процесса) следует рассматривать как совокупность двух основных задач: выбора структуры, или структурного синтеза, и выбора числовых значений параметров элементов данной структуры, или синтеза параметров"[1].

Методы решения этих задач существенно различаются. Различается и их сложность. Задачи параметрического синтеза, как правило, сводятся к поиску решений, удовлетворяющих метрическим критериям, что делает их формально разрешимыми. Совершенно иной является задача структурного синтеза, которая не может быть в общем случае отнесена к классу формально разрешимых задач. Результатом структурного синтеза является выбор рациональной структуры объекта. Формально под структурой может пониматься некоторая семантическая конструкция, описывающая совокупность элементов проектируемого устройства и связи между ними. При формировании такого описания приходится иметь дело с неопределенными структурными связями, неметрическими признаками элементов структуры, качественными критериями. Именно решение задачи структурного синтеза и составляет главное содержание творческой деятельности инженера. Формальные методы синтеза разработаны для крайне ограниченного класса объектов: конечных автоматов, тестов, коммуникационных устройств и некоторых других систем. Таким образом, теория проектирования далека от завершения, и прежде всего в области структурного синтеза [5].

Процесс поиска новых технических решений является процессом субъективным. Так у проектировщиков возникает психологический барьер – при нахождении

первого приемлемого решения процесс поиска останавливается и работа идет с выбранным вариантом. Интуитивно понятно, что первое приемлемое решение не будет наилучшим, и поблизости могут располагаться более «лучшие» альтернативы. Психологи давно установили, что в таких ситуациях люди обычно подсознательно выделяют лишь один или несколько вариантов ТР, а об остальных "забывают" [6]. Так, Крайнев А.Ф. констатирует что «нельзя останавливаться на варианте схемы, компоновки, геометрии элементов, даже если на первый взгляд этот вариант представляется лучшим» [7]

Для устранения этого недостатка разработана методология для решения обратных задач структурного синтеза [8]. В морфологическую таблицу (МТ) заносится опорное техническое решение (ТР) (рис. 1).

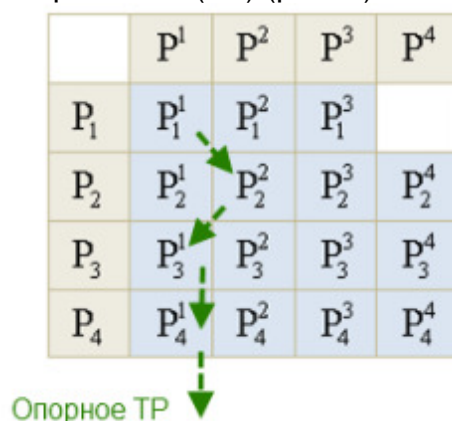


Рис.1. Опорное ТР в МТ

В дальнейшем генерируется некоторое количество вариантов, включенных в кластеры. Сначала исследуются варианты ТР кластера, в котором находится опорный вариант (рис. 2,3). В дальнейшем проводят разработку других кластеров. С опорным вариантом сравниваются другие технические решения, выясняется возможность улучшения технического решения.

Сначала проводят исследования вариантов, находящихся «поблизости» от опорного, а в случае необходимости затем проводят исследования остальных ТР (рис.4).

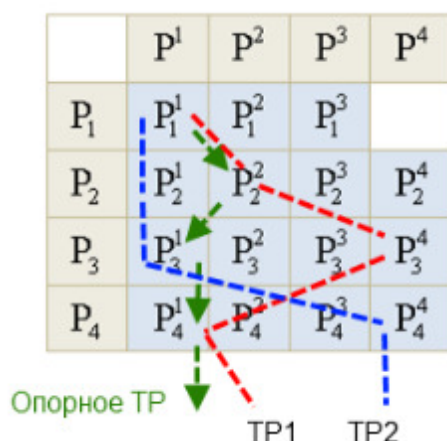


Рис. 2. Сравнение опорного ТР со сгенерированными вариантами

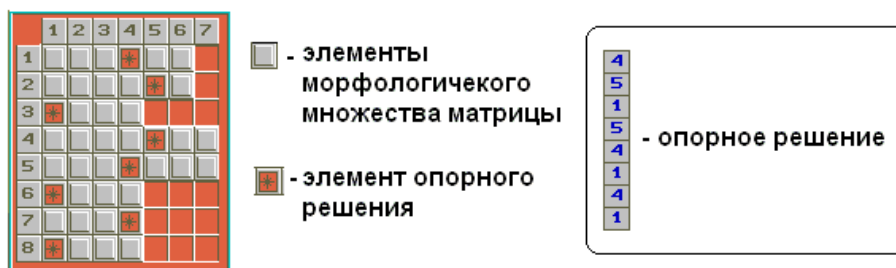


Рис.3. Морфологическая матрица с опорным решением



Рис. 4. Окрестности опорного варианта

Предложенный подход позволяет качественно рассмотреть большое количество альтернативных решений и с учетом ограничений выбрать рациональные.

Предложенная методология позволяет:

- Решить задачу снижения размерности морфологических таблиц путем кластеризации вариантов и, следовательно, сократить трудозатраты при поиске ТР.
- Решать задачи прогнозирования и выявлять тенденции развития ТР.
- Выполнять модификацию технических систем.
- Сравнивать между собой альтернативные ТР и кластеры.

Путем компромиссов, при использовании набора технических решений и выбора из их числа предпочтительного на данный отрезок времени, можно, просматривая остальные варианты ТР, оставить возможность для его модификации в будущем, с наименьшими потерями. Это позволяет выявить системы обладающие способностью гибко реагировать на изменяющиеся внешние условия при наименьших затратах. Данное обстоятельство позволит повысить конкурентоспособность выбранных ТР.

Предложенный подход успешно апробирован при создании и исследованиях транспортных рабочих машин.

Использованные источники

1. Голубев, И. С. Проектирование конструкций летательных аппаратов : учебник для вузов / И. С. Голубев, А. В. Самарин. - М.: Машиностроение, 1991. - 511 с.
2. Джонс, Дж. К. Методы проектирования / Дж. К. Джонс. - М.: Мир, 1986. – 326 с.
3. Силин, В. Б. Поиск структурных решений комбинаторными методами / В. Б. Силин. - М.: МАИ, 1992. - 216 с.
4. Стабин, И. П. Автоматизированный системный анализ / И. П. Стабин, В. С.

- Моисеева. - М.: Машиностроение, 1984. - 309 с.
5. Мишин В. П., Осин М. И. Введение в машинное проектирование летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1971, 128 с.
 6. Бусленко, Н. П. Моделирование сложных систем / Н. П. Бусленко. - М.: Наука, 1978. - 400 с.
 7. Крайнев, А. Ф. Идеология конструирования. / Крайнев А. Ф. - М.: Машиностроение, 2003, - 384 с.
 8. Раков, Д. Л. Прямые и обратные задачи структурного синтеза при поиске новых технических решений / Информационные технологии в проектировании и производстве. 2007. - № 2. - С. 42-49.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КВАЗИРЕГУЛЯРНОГО РЕЖИМА ОХЛАЖДЕНИЯ

Соколовский Р.И., Соколовская Т.С., Шибарова Е.А.

Московский государственный текстильный университет имени А.Н. Косыгина, Россия

Все измерения теплофизических параметров теплоизоляционных материалов являются косвенными и всегда сопровождаются теорией метода измерения и определенной конструкцией экспериментальной установки, позволяющей контролировать тепловые потоки в окружающую среду. Для методов измерения, основанных на теории нестационарных процессов, характерным безразмерным параметром задачи является критерий Био $Bi = \frac{\alpha \delta}{\lambda}$, где α - коэффициент теплоотдачи поверхности образца, δ - определяющий размер образца, λ - коэффициент теплопроводности материала, из которого образец изготовлен. По мере охлаждения влияние сложного начального температурного поля в образце перестает сказываться, и со временем (достаточно быстро по сравнению со временем протекания процесса) процесс охлаждения переходит в стадию упорядоченного, т.е. становится регулярным или, в общем случае, квазирегулярным. Темп охлаждения сравнительно легко определяется экспериментально по анализу кривой охлаждения.

Закономерности регулярного режима охлаждения были положены в основу разработки нестационарных методов измерения коэффициента температуропроводности, которыми были найдены теплофизические параметры большого числа теплоизоляционных материалов.

В случае квазирегулярного режима охлаждения, когда логарифм разности температур поверхности образца и температуры окружающей среды описывается законом

$$\ln u = -m(1 - \mu\tau)\tau + const.,$$

с параметрами m, μ , зависящими только от физических свойств окружающей среды и испытываемых материалов, квадратично зависит от времени τ , теория метода измерения достаточно сложна.

В работе предлагается упрощенная математическая модель, позволяющая достаточно просто находить по параметрам m, μ значения параметров, описывающих теплофизические характеристики испытываемых материалов. Метод апробирован на анализе кривых охлаждения объемного нетканого материала из смеси химических волокон.

ПЕРЕДАЧА ЭНЕРГИИ ТОКОМ СМЕЩЕНИЯ

Соколовский Р.И. ,

Московский государственный текстильный университет имени А.Н. Косыгина, Россия

Транспортировка энергии в пространстве обычно осуществляется либо электрическими токами по линиям электропередачи, либо магнитным полем в сердечниках силовых трансформаторов. Существует еще один способ транспортировки энергии в пространстве, основанный на токе смещения, который возникает, когда электрическое поле изменяется во времени. В частности, в передаче энергии электромагнитными волнами представлены оба последних механизма. В этом случае электрическое и магнитное поля согласовано меняются в соответствии с уравнениями Максвелла.

На возможность использования тока смещения в качестве инструмента для передачи энергии в пространстве обратил внимание Н. Тесла. Однако до сих пор высказанные им идеи не используются, в то время как электрическое поле зарядов обладает дальним действием, достаточным для преодоления значительных расстояний.

В работе в качестве приемника энергии, переносимой током смещения, предложено использовать специального вида катушку в которой генерируется ЭДС (энергия, затрачиваемая на перенос единичного заряда по замкнутому контуру). Если ток смещения меняется с частотой ν , то величина ЭДС дается формулой

$$E = \frac{\pi^2}{c^2} \nu^2 s R N E_0 ,$$

где E_0 - амплитуда напряженности электрического поля в В/м, N – число витков, R , s – параметры катушки, c – скорость света.

Появление квадрата скорости света в знаменателе можно компенсировать увеличением частоты и напряженности электрического поля, что достигается применением трансформаторов Тесла.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЦИКЛА ДВИГАТЕЛЯ СТИРЛИНГА СХЕМЫ БЕТА

Гудков В.И., Соколовский Р.И.,

Московский государственный текстильный университет имени А.Н. Косыгина, Россия

В работе представлена теоретическая модель двигателя Стирлинга схемы бета, основанная на термодинамических зависимостях, описывающих рабочий процесс.

Численными расчетами показано, что когда плунжер заходит в часть цилиндра, в котором движется рабочий поршень настолько далеко, насколько это возможно, энергетическая эффективность двигателя резко возрастает. В этом случае КПД двигателя становится значительно больше, приближаясь к КПД цикла Карно настолько, насколько это позволяет совершенство регенератора. Почти вдвое возрастает даже КПД двигателя без регенератора.

Предлагается следующее объяснение полученного результата. Цикл сопровождается перемещением рабочего тела между горячим с температурой T_1 и холодным с температурой T_2 частям цилиндра, что приводит к изменению за цикл внутренней энергии газа на величину

$$\Delta u = c_v(T_1 - T_2),$$

где c_v - теплоемкость рабочего тела при постоянном объеме. Это изменение является неотъемлемым элементом способа регулирования давления в системе. Соответствующее тепло за цикл дополнительно должно подводиться к рабочему телу и отводиться от него. Эффективность предложенного способа изменения давления предлагается характеризовать безразмерным параметром

$$W = \frac{\Delta u}{q_1},$$

где в знаменателе стоит подводимое к циклу тепло.

Увеличение КПД связано с заметным уменьшением фактора W в случае, когда плунжер заходит в область движения рабочего цилиндра двигателя.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Носевич О.Е., Соколовский Р.И.

Московский государственный текстильный университет имени А.Н. Косыгина, Россия

В работе представлена математическая модель, описывающая процесс передачи тепла от производителя к потребителю с учетом потерь тепла в окружающую среду в процессе передачи. Составлена система уравнений, в которой приняты во внимание потери тепла в процессе передачи и требования к температуре отапливаемого помещения.

Показано, что энергетическая эффективность тепловой сети не является независимым параметром и определяется санитарно-гигиеническими требованиями потребителя и температурой окружающей среды. Предложена схема регулирования параметров теплоносителя и механизмов его транспортировки к потребителю, основанная на результатах расчетов, основанных на системе балансных уравнений, учитывающих всевозможные потери тепла в процессе его транспортировки, и расходов электрической энергии на транспортировку. Дан энергетический анализ предложенной схемы. Показано, что ее внедрение ведет к повышению энергетической эффективности систем транспортировки тепла и снижению потерь тепла в окружающую среду.

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ МАШИН

к.т.н., доцент Л.М. Духовный, инж. А.А. Соломашкин
ФГБОУ ВПО «МГИУ», ГНУ ГОСНИТИ РАСХН

Использование ресурсосберегающих технологий при восстановлении работоспособности мобильных объектов как военного, так и гражданского назначения является весьма актуальной задачей. По данным ряда исследователей, в настоящее время при ремонте автомобилей, тракторов и других машин до 30% деталей поступают в ремонт с недоиспользованным ресурсом. Предлагаемая технология восстановления работоспособности машин позволяет значительно уменьшить число отказов, сократить расход запчастей и на 20...25 % повысить фактически используемый ресурс этих машин.

Одной из наиболее важных – базовой операцией при ремонте или техническом обслуживании машин является операция выбраковки деталей этих машин. В настоящее время наибольшее часто используют методику выбраковки, основанную на применении одного допускаемого значения параметра – одного допуска.

При достижении ремонтным размером детали этого значения (допуска) она выбраковывается и направляется в ремонт. Однако детали машин изнашиваются с различной скоростью и достигают момента выбраковки в разное время. В результате этого быстро изнашиваемые детали отказывают раньше установленного времени, формируя большой процент отказов, а детали с малой скоростью изнашивания выбраковывают раньше заданного срока службы, т.е. с недоиспользованным ресурсом. В результате эти два фактора приводят к неоправданным финансовым затратам на материалы и увеличение трудоемкости процесса восстановления.

Разработанный в ГОСНИТИ способ ремонта (выбраковки деталей машин) использует не один, а несколько допусков. Особенность способа заключается в том, что чем больше скорость изнашивания детали, тем меньше допуск, и деталь выбраковывается заранее, не дожидаясь наступления отказа, и наоборот, чем ниже скорость, тем больше допуск и деталь более продолжительный интервал времени работает без выбраковки. В итоге, резко сокращается число отказов в эксплуатации и значительно продлевается срок службы машины. Этот способ ремонта может обеспечить высокую эффективность, в первую очередь, при восстановлении военной техники, где используются машины (танки, бронемашины, корабли, подводные лодки и др.), в агропромышленном производстве (автомобили, тракторы, комбайны и другая техника), на железнодорожном транспорте и т.д. Это – высокоэффективный, экономически выгодный способ восстановления работоспособности машин в процессе ремонта или технического обслуживания.

КОМПЬЮТЕРИЗАЦИЯ ОПТИЧЕСКОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПЛАСТИКАТОВ

к.т.н., доцент П.Н. Емельянов, магистр И.Н. Луговая
(ФГБОУ ВПО МГТУ «Станкин»)

Пластикаты – материалы, имеющие широкое применение в таких отраслях как электроэнергетика (для оболочек кабелей и проводов), оборонная техника, автомобилестроение, строительство, медицина и др. Пластикаты представляют собой продукты на основе поливинилхлорида, получающиеся в результате добавления к поливинилхлориду пластификатора, количество которого определяет степень эластичности пластика.

Показатели качества пластикатов и методы контроля этих показателей нормированы в ГОСТ5960-72 «Пластикат поливинилхлоридный для изоляции и защитных оболочек проводов и кабелей. Технические условия». Этот стандарт ориентирован в основном на ручные методы контроля, например, метод визуального наблюдения исследуемого образца пластика размером 300 x 200 x 0,5 мм на просвет с помощью лупы и ручного подсчета количества посторонних включений (непрозрачных инородных частиц) размером от 0,2 до 0,5 мм, а также метод визуального сравнения цвета пластика с цветовыми образцами. Повышенная трудоемкость и субъективная погрешность данных методов не вызывает сомнений.

Авторами предложен метод получения цифрового изображения исследуемого образца с помощью цифровой фотокамеры и дальнейшего определения годности исследуемого образца путем компьютерной обработки полученного изображения. Так как размеры ПЗС-матрицы современных высококачественных цифровых фотокамер в среднем составляют 20 x 30 мм, размер изображения исследуемого образца на ПЗС-матрице будет в 10 раз меньше оригинала, размеру минимального контролируемого включения 0,2 мм будет соответствовать размер изображения 0,02 мм и этот размер необходимо уверенно различать. При использовании ПЗС-матрицы с размерами 24 x 36 мм, содержащей 22 млн. пикселей (например, фотокамера Canon EOS 5D Mark II), размер одного пикселя составит 6,25 мкм. Таким образом, размер изображения минимального включения 0,02 мм будет соответствовать трем пикселям. Важнейшим вопросом здесь является выбор порогового уровня яркости, определяющего переход от светлого фона образца к темному включению. Повысить точность контроля можно путем анализа площади образца по участкам, что приведет к некоторому снижению производительности контроля.

Алгоритм компьютерной обработки цифровых изображений образцов, предложенный авторами, решает задачу определения контуров пятен посторонних включений, которые могут иметь произвольную форму, и определения наибольшего размера каждого пятна. Алгоритм сводится к анализу изображения попиксельно по строкам и столбцам в отношении яркости и координат каждого пикселя, принятию решений об объединении ряда «темных» пикселей в общее пятно и дальнейшего вычисления наибольшего размера этого пятна.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ АППАРАТА ПОЛУМАРКОВСКИХ ПРОЦЕССОВ

Д.т.н. профессор Майструк А.В., к.т.н. профессор Резчиков Е.А., Майструк А.А.
Московский государственный индустриальный университет, Россия

Решение проблемы энергосбережения и повышения энергоэффективности сложных систем возможно с помощью экономико-математических моделей, позволяющих оптимизировать их эксплуатационно-технические характеристики. При этом формализация процессов функционирования энергетических объектов с требуемой точностью может быть выполнена на базе математического аппарата полумарковских процессов (ПМП), обладающего большими возможностями учета эксплуатационных особенностей моделируемых систем, анализа и синтеза сложного процесса по частям, а также определенной простотой и общностью моделей. В целом, применение аппарата ПМП позволяет решать задачи анализа качества конкретного технического объекта (например, системы энергоснабжения) и синтеза оптимальных систем их эксплуатации.

При этом, задавая конкретные признаки опасности и законы их распределения, могут быть получены как показатели безопасности и эффективности сложных систем, так и другие характеристики, например:

- вероятности всех состояний и средние интервалы времени между последовательными попаданиями в одно и то же состояние (например, опасное);
- средние интервалы времени между попаданием в любые два состояния и среднюю продолжительность нахождения в каждом состоянии;
- среднюю продолжительность интервала от произвольного момента времени до перехода в любое состояние (например, аварии, катастрофы);
- среднее количество предпосылок к происшествиям по вине обслуживающего персонала, опасных отказов, мероприятий обеспечения безопасности за единицу времени;
- среднеквадратические отклонения перечисленных временных характеристик и параметров событий, а также ковариации и коэффициенты корреляции различных переходов (например, зависимость между частотой ошибочных действий, достоверностью контроля и частотой происшествий);
- удельные или суммарные затраты ресурсов на реализацию программ обеспечения безопасности при эксплуатации технических систем.

Кроме индивидуальных показателей систем, могут быть рассчитаны и показатели эффективности группировки однотипных объектов, например, среднее число систем, находящихся в произвольный момент времени с признаками опасности, в состоянии скрытого отказа, на техническом обслуживании, в очереди на ремонт, а также среднеквадратические отклонения этих численностей и законы распределения этих случайных величин.

Знание подобных характеристик для того или иного варианта решения позволяет получить всестороннюю оценку его эффективности и решить задачу оптимизации параметров безопасности энергетических объектов в целом.

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПАСНЫХ ПРОЦЕССОВ МЕТОДАМИ СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Д.т.н. профессор Майструк А.В., Майструк А.А., Васильев С.В.
Военная академия Ракетных войск стратегического назначения,
Московский государственный индустриальный университет, Россия

Во многих практических случаях исследователь имеет дело с такими сложными техническими системами, которые не позволяют с помощью математических моделей заранее вычислить или предсказать результат их функционирования. Поэтому для исследования сложных систем необходим эксперимент, имитация на модели при заданных исходных данных. Имитируя различные опасные ситуации с помощью имитационной модели (ИМ), исследователь получает возможность решения таких задач, как оценка эффективности тех или иных принципов управления системой, сравнения вариантов структурных схем, определение степени влияния изменений параметров системы и начальных условий на показатели эффективности, надежности и безопасности. При этом в большинстве задач системного анализа возникает необходимость в исследовании не только статистической структуры, но и динамического поведения системы, например, безопасной работы.

Построение имитационной модели системы с целью анализа потенциально опасных процессов начинается с изучения структурных схем, режимов функционирования и построения сценария опасного состояния (СОС), который представляет собой графическое отображение причинно-следственной цепи инициирующих событий и условий возникновения происшествия. СОС характеризует статистическую составляющую процесса, для описания которой используется аппарат теории графов и алгебры логики. Аналитическое описание опасного состояния осуществляется с помощью логической функции опасности системы (ФОС), аргументами которой выступают инициирующие события и условия возникновения происшествия. Следующим этапом моделирования является построение динамической составляющей модели. В качестве динамических объектов выступают транзакты, моделирующие предпосылки к происшествиям (ПП), которые, продвигаясь по фиксированной структуре СОС, отображают динамику опасного процесса. При этом задаются вероятностные характеристики мероприятий безопасности и исходные данные для моделирования конкретных предпосылок (например, ошибочных действий персонала, отказов элементов системы), в виде вектора параметров законов распределения времени их возникновения, обнаружения и устранения, отражающие эффективность планируемых мероприятий безопасности.

Для моделирования может использоваться система GPSS World, как мощная универсальная среда моделирования дискретных и непрерывных процессов, реализующая язык декларативного типа, построенный по принципу объектно-ориентированного языка. Основными элементами данного языка являются транзакты и блоки, отображающие соответственно динамические и статистические особенности моделируемого процесса.

ЭФФЕКТИВНЫЕ ТИПОВЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ ПАРОВОЗДУШНЫХ ВЫБРОСОВ

Тюрин М.П., Кочетов Л.М., Апарушкина М.А., Курин В.И.
Московский государственный текстильный университет им. А.Н.Косыгина

Технико-экономические исследования показали, что с точки зрения утилизации теплоты, тепловые ВЭР следует разделить на две группы: ВЭР с температурой выше $60-70^{\circ}\text{C}$ и ВЭР с температурой до $60-70^{\circ}\text{C}$. Вторичные тепловые энергетические ресурсы первой группы целесообразно использовать для нагрева технологических теплоносителей в теплообменных аппаратах, либо непосредственно использовать в технологических процессах в зависимости от их состава и наличия загрязнений. Экономический эффект от использования тепловых ВЭР второй группы, имеющих температуру ниже 60°C , может быть получен с помощью тепловых насосов, повышающих тепловой потенциал теплоносителя до такого уровня, при котором становится возможным его использование в соответствующих теплотехнологических аппаратах. С этой целью для условий текстильного производства разработана и предложена двухуровневая по температуре теплонасосная установка, позволяющая повысить температурный потенциал нагреваемого сушильного агента до $100-110^{\circ}\text{C}$.

Теоретические и экспериментальные исследования в области создания оборудования для утилизации теплоты ПВС позволили сделать вывод о перспективности использования в этих целях вихревого многофункционального аппарата (ВМФА) на базе аппарата со встречными закрученными потоками (ВЗП). В аппарате ВМФА обеспечиваются высокие скорости потока газа ($5-25\text{ м/с}$) без снижения эффективности улавливания влаги. Одним из основных преимуществ вихревого аппарата является наличие в рабочем объеме аппарата высокоразвитой поверхности теплообмена, включающей в себя капельную, пленочную и пенную поверхности раздела фаз. Высокие относительные скорости движения фаз и высокоразвитые поверхности раздела фаз обеспечили высокую эффективность аппаратов. Коэффициент тепломассообмена аппарата на порядок выше, чем в известных промышленных аппаратах, используемых для тех же целей. Это позволило получить требуемый эффект утилизации теплоты при минимальных габаритных размерах и металлоёмкости.

На основании проведенных исследований были разработаны конструкции опытно - промышленных образцов вихревых многофункциональных аппаратов с регулируемой гидродинамикой для утилизации теплоты и очистки выбросного воздуха от пыли и некоторых газов, предназначенных для различных типовых условий их работы, а также инженерные методы их расчета.

КОМПЛЕКСНАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ПРИ КРАШЕНИИ ШЕРСТИ

Л.М. Кочетов, М.П. Тюрин, М.А. Апарушкина, В.И. Курин

Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина

Разработана комплексная схема очистки воды, образующейся при промывке шерстяных материалов, до качества, позволяющего производить их сброс в водные источники или использовать повторно. Схема включает следующие методы очистки: улавливание мелких волокон с помощью сетчатого волокнуловителя; тонкослойное отстаивание с использованием коагулянтов на основе соединений алюминия; напорная флотация или фильтрование воды через слой зернистого материала.

Для повторного использования очищенной воды необходимо производить ее дополнительную очистку путем адсорбции на активированных углях. Для обеззараживания и полного обесцвечивания сточной воды, а также для окисления растворенных органических веществ целесообразно озонирование воды. Остаточное количество загрязняющих веществ в очищаемой воде (мг/л) по последовательным ступеням очистки приведено в таблице.

Наименование показателя	После промывки	После волокнуловителя.	После коагуляции и отстаивания	После напорной флотации	После адсорбции на ГАУ	После озонирования
Взвешенные вещества	100-300	100 -300	30	3	1-2	1-2
Мелкие волокна	10-25	1-2	1	-	-	-
Растворенные минеральные вещества						
в т.ч. хлориды	300	300	250	250	200	150
азот аммонийный	135	135	100	100	100	100
Растворенные органич. вещества	15-40	15-40	5-10	5-10	5-10	2-3
Жиропродукты (в т.ч. замасливатели)	60	60	40	40	10	2-5
СПАВ	100	100	40	10-15	2-5	1-3
Красители	150	150	50	10-15	5-10	4-5
Сухой остаток	12	12	5-6	4-5	0,3-0,05	-
ХПК	1400-2000	1400-2000	500-600	300-400	300-400	300
БПК5	500-700	500-700	100-150	90-100	50-70	30-50
pH	360-420 4,8-6,2	360-420 4,8,-6,2	80-100 5-7	60-80 7-8	30-40 7-8	10-20 7-8

Использование коагулянтов на основе полиоксихлорида алюминия позволяет существенно повысить эффективность отстаивания. При этом возможно частичное удаление не только взвесей, но также ПАВ (до 70%), красителей и других растворенных веществ, что обусловлено способностью катионов алюминия к комплексообразованию с участием ионов растворенных веществ, а также их сорбцией органических красителей на поверхности гидроокиси алюминия, выпадающей в осадок. При этом эффективность очистки превышает 50% и может достигать 90%.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ВЫСОТНЫХ СТРУЙНЫХ ТЕЧЕНИЙ В АТМОСФЕРЕ

В.М. Лятхер, В.В. Козляков, А.В. Синёв.

Институт машиноведения РАН, ОАО «ВНИИАМ», Москва, Россия

Плотность потока энергии ветра на тех высотах приземного слоя, которые сейчас технологически доступны, остается сравнительно очень небольшой, достигающей экономически эффективных значений на небольших территориях, расположенных преимущественно в горных странах или в береговых зонах морей. Существенно иная ситуация имеет место на высоте 6-8 км от поверхности Земли, где в струйных течениях, располагающихся над средними, наиболее населенными широтами северного полушария Земли (рис.1), плотность потока энергии ветра в 30-50 раз выше, чем в приземном слое.



Рис. 1 Струйное течение со скоростью ветра свыше 30 м/сек шириной несколько сотен километров и толщиной несколько километров в Северном полушарии на средних широтах охватывает весь земной шар в направлении с Запада на Восток

Освоение энергии этих устойчивых воздушных «рек» привлекало и привлекает внимание многих специалистов. Достаточно реальные и экономически привлекательные предложения были даны российскими специалистами - Кажинский Б.Б и Уфимцев А.Г.(1927), Ионга Ф.С. (1939), Красовский А.А и Мисриханов М.Ш.(1995, 2003), специалистами Австралии, Австрии, Германии, США - Arbow J.(1978), Charles Max Fry (1976), Fletcher C.A. & Roberts B.W.(1979), Furuya O. & Maekawa S.(1984), O'Doherty R.J. & Roberts B.W.(1981), Riegler G. & Riedler W.(1984), Riegler G. & Riedler W. & Horvath E.(1980), Roberts B.R. & Blacker J.(1980), Rye D.C. & Blackler S. & Roberts B.W. (1981), Sivier K. R.(1980). Большая часть этих предложений, ни одно из которых пока не нашло практического применения, предусматривает в нормальном эксплуатационном состоянии использование аэростатных систем либо подъемной силы планера, возникающей под действием ветра. Невысокая надежность, низкая технологичность и плохая способность к ремонту этих систем, вероятно, являются причинами отсутствия интереса к их практическому использованию.

Описываемая ниже новая конструкция высотной ветровой электростанции большой мощности (В.М.Лятхер, патент России 2240444 с приоритетом от 05.05.03), первые варианты которой были опубликованы в 1991 году, свободна от недостатков, присущих известным решениям. Эта конструкция технологична, живуча, энергетически эффективна, эстетична (рис.2). Удельные капитальные вложения в

энергетический узел станции вследствие высокой скорости ветра сравнительно малы, значительная часть общих затрат относится на тросовую систему, связывающую энергетический узел с Землей.

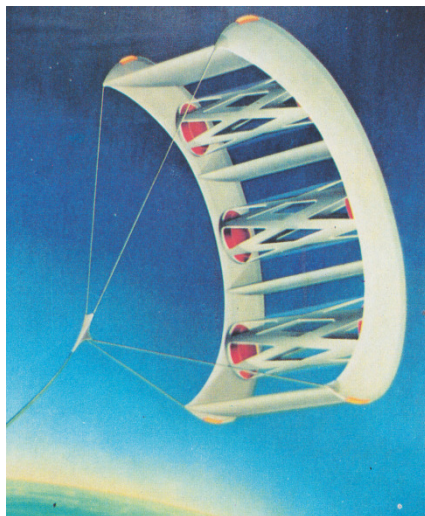


Рис. 2. Высотная ветроэлектростанция

Величина этой части затрат слабо зависит от мощности энергетического узла, поэтому высотная ветровая станция оказывается экономически привлекательной только при достаточно большой мощности – порядка 50-100 МВт и более. В данной статье рассматривается опытная станция мощностью 50 МВт. Помимо основного назначения - производства электроэнергии, данный проект может быть использован также:

в радио и телекоммуникационных сферах;

в метеорологических исследованиях и наблюдениях,

для создания системы лазерной защиты крупных наземных объектов от несанкционированного проникновения высоко летящих предметов (самолетов, ракет, метеоритов).

Получение электроэнергии из заоблачных высот может казаться на первый взгляд фантастическим проектом, однако, результаты проведенных ранее исследований и опыт российских предприятий в создании высокоэффективной техники, отвечающей современным требованиям, с одной стороны, резко возросший интерес к экологически чистым способам производства электроэнергии и реальные выгоды от “парящей” электростанции, с другой стороны, заставляют стремиться к ее созданию, не откладывая проект на будущее.

Скорость ветра в струйных течениях обычно составляет от 30 до 70 м/сек, их толщина охватывает изобарические поверхности от 650 до 130 мбар (от 3.5 до 14 км), ширина течения может быть несколько сотен километров. Максимальные скорости в центре струи нередко превышают 100 м/сек. Так над Ленкоранью 7 декабря 1959г зафиксирована скорость ветра 136 м/сек, над Кызыл Ордой 31.07.61 – 190 м/с. Наличие устойчивых струйных течений на высотах 6-10 км отражено уже в расписании регулярных авиарейсов между Европой и Америкой. Рейсовая скорость современного самолета (Боинг 777) из США в Европу превышает 1100 км/час, а на пути из Европы в США не достигает 900 км/час. Таким образом, средний ветер на этих трассах направлен из Америки в Европу и имеет скорость около 100 км/час (28 м/с) (рис. 3).

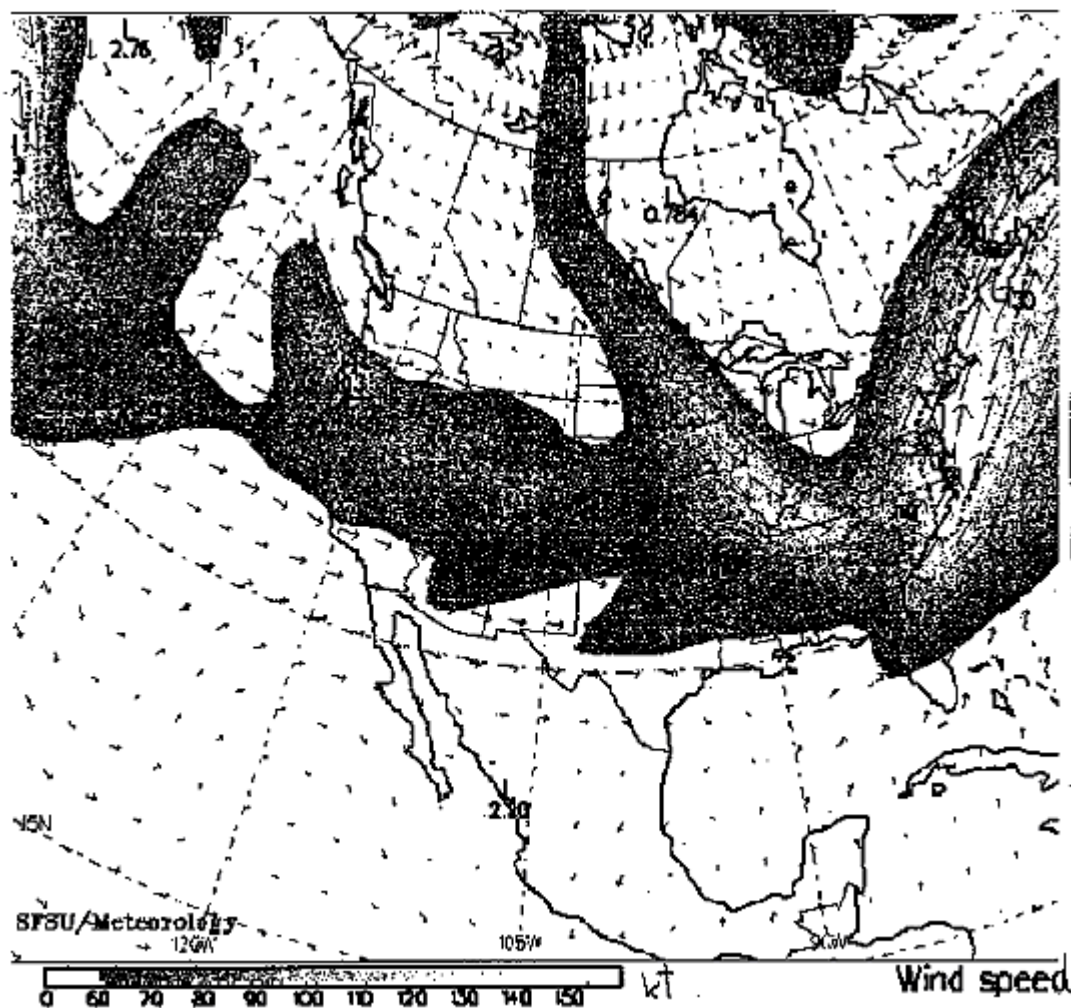


Рис.3. План струйного течения над США утром 22 декабря 2000 года на уровне 300 мбар (около 9 км над уровнем моря). Густота заливки характеризует скорость ветра в узлах (10 узлов = 5.15 м/сек) – Граница заливки – скорость 30 м/с.

В России, Беларуси, на Украине зонами интенсивных струйных течений являются столичные регионы (Московский, Минский, Киевский), отличающиеся высокой плотностью населения, большим числом энергоёмких промышленных предприятий, неуклонно возрастающим потреблением энергии, напряженной экологической обстановкой, ограничивающей рост мощности традиционных источников. В таблице представлены данные метеорологических служб, характеризующие среднемноголетние скорости ветра над Москвой зимой (январь), весной (апрель), летом (июль), осенью (октябрь) на высоте 6 и 8 км.

Таблица 1.
Параметры ветра над Москвой в зоне высотных струйных течений

Высота над землей, км.	6	8
Средняя скорость ветра, м/сек		
зима	19.4	22.5
весна	17.9	21.4
лето	11.3	13.4
осень	20.3	24.6

Максимальный ветер (м/сек) с обеспеченностью, %		
50		46
80		54
95		63
Повторяемость (%) скорости ветра, Превышающей 30 м/сек		
зима	16.1	25.1
весна	12.7	23.1
лето	1.3	2.0
осень	16.6	28.0

Приведенные данные показывают, что на этих высотах в осенне-зимний период средняя скорость ветра практически постоянна, достаточно высока, то есть, когда потребность в электроэнергии наибольшая, энергия ветропотока достигает максимального значения – 5 - 6 кВт/м² (рис. 4).

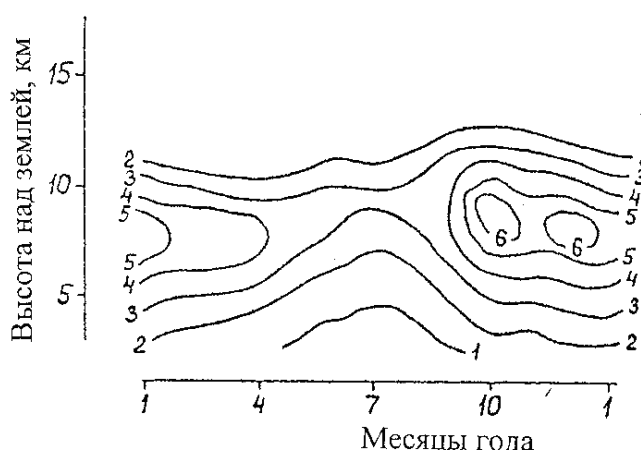


Рис. 4. Изолинии потоков энергии ветра (кВт/м²) в струйном течении над Москвой

В летний период сильные ветра заметно реже, что позволит проводить регламентное обслуживание ветроэлектростанций. Примерно такие же условия имеют место над Новосибирском, Красноярском, Иркутском и над соответствующими широтами в Европе. Над Северной Калифорнией плотность потока энергии в струйном течении на высоте 6 км составляет в среднем 7-10 кВт/м², над Нью-Йорком – до 16 кВт/м².

Плотность воздуха в слое с максимальным потоком энергии ветра составляет 0.57-0.61 кг/м³, что примерно в 2 раза ниже, чем у поверхности земли.

На примере метеорологических условий Московского региона было показано, что предлагаемый проект использования энергии струйных течений с помощью “парящих” ВВЭУ, является вполне реальным способом экологически чистого производства электроэнергии для регионов, которые по данным приземных наблюдений являются безветренными и неперспективными для традиционной ветроэнергетики..

На первом этапе реализации проекта опытную высотную ветроустановку в районе Москвы целесообразно расположить на высоте 6 км от поверхности земли с тем, чтобы в последующем поднять её ещё на 2 км (до высоты

8 км). Средние потоки энергии ветра на этих высотах в Московском регионе показаны в таблице.

Таблица 2.

Поток энергии ветра в струйном течении над Москвой (кВт/м²)

Сезон	Зима	Весна	Лето	Осень
Поток энергии на высоте 6 км	3.8	2.7	1.8	4.3
Поток энергии на высоте 8 км	5.3	3.2	2.6	6.0

Общие запасы энергии ветра в атмосфере оцениваются примерно в 4×10^{12} кВт или 3.5×10^{16} кВтчас/год из них менее 7% относится к нижнему слою толщиной 100 м преимущественно над водной поверхностью. Энергия «ветровых рек» - струйных течений в 100 раз больше гидроэнергетического потенциала рек всего мира. Половины процента этой энергии достаточно чтобы обеспечить 8 миллиардов будущих жителей Земли по современным нормам самых благоустроенных стран.

Предлагаемая конструкция высотной ветроэлектростанции включает несколько ортогональных геликоидных роторов, объединенных в пространственную конструкцию (рис.5), автоматически удерживающую себя в зоне струйных течений. Эта конструкция связана с землей газонаполненным полым тросом, совмещающим функции лифтового шлюзованного канала, токопровода и анкерного устройства. Принцип действия ветроустановок состоит в следующем. Каждая установка состоит из трех или более блоков ортогональных роторов, объединенных общей строительной конструкцией (на рис.5 показан вариант ВВЭУ с тремя группами роторов, т.е. вариант минимальной установки), узлы которой лежат на гипотетической эллиптической поверхности. В другом (основном) варианте две турбины, вращающиеся в противоположных направлениях, работают на один линейный генератор с неподвижным индуктором между ними. Такая пара турбин образует энергетическую единицу (комплекс). В каждом блоке высотной электростанции располагается три таких комплекса. Каждую турбину предлагается делать с 6 лопастями, образующими жесткую пространственную ферму.

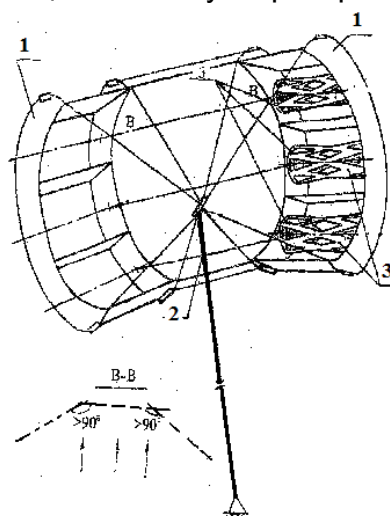


Рис.5. Схема высотной ветроэнергетической установки (ВВЭУ). 1-несущая конструкция блока, объединяющая 3 турбины, 2- полый, газонаполненный кабель-

трос, 3 – решетка лопастей ортогональной турбины. Слева – один блок ВВЭУ с контрроторными генераторами.

Расчетная скорость ветра и скорости движения лопастей при заданной установленной мощности выбираются из условия максимума выработки энергии и минимума стоимости ветровой станции. При этом учитывается, что увеличение реального значения скорости ветра свыше расчетного вызывает перемещение станции ближе к земле и выводит ее из зоны слишком больших скоростей.

Если принять расчетную скорость ветра, отвечающую номинальной мощности 50 МВт равной 35 м/сек, а скорость лопастей при этом 50 м/сек, то необходимая площадь лопастей составит $\Omega_b = 6660 \text{ м}^2$. Площадь сечений фигур, ометаемых турбинами должна быть примерно 14800 м^2 , а площадь сечения одной турбины – 1644 м^2 . Габариты всей станции $120 \times 120 \text{ м}^2$, габариты одного блока – $40 \times 120 \text{ м}^2$. Если принять диаметр турбины равным 40 м, ее длина получается так же около 40 м. Для ветровой станции мощностью 100 МВт параметры турбины можно сохранить теми же, но в каждом блоке предусмотреть не по три штуки, а по три пары турбин с единым контрроторным генератором на каждую пару турбин (рис.122). При отключении генератора с увеличением скорости ветра скорость вращения турбин будет возрастать и для защиты лопастей от перегрузок предусматривается аэродинамическое торможение с помощью щитков, встроенных в траверсы турбины и раскрывающихся по сигналу от датчика скорости лопастей, которая не должна быть больше 65 м/сек. В этом режиме перегрузка от центробежной силы составит 21.6. Максимальная аэродинамическая нагрузка на лопасть, направленная от центра вращения равна 355 кг/м^2 , к центру - 381 кг/м^2 . При массе лопастей, большей 17.6 кг/м^2 , нагрузки на лопасти не будут знакопеременными.

Лопастей роторов снабжены струйными устройствами управления локальной циркуляцией (рис.6).

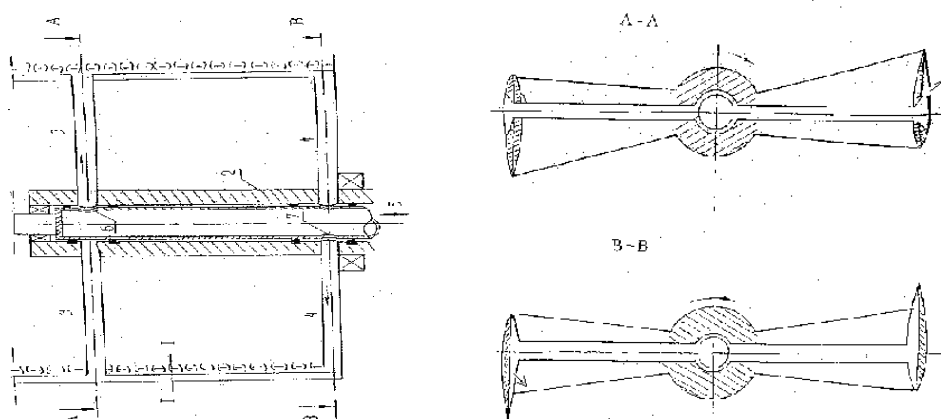


Рис. 6. Ортогональная турбина с регулирующей управляющей струей.

Эти устройства должны повышать выработку энергии установкой и при необходимости, в отсутствии ветра, при подъеме и опускании установки создают подъемную силу, направление и величина которой могут изменяться, позволяя управлять установкой, как воздушным судном. Оси роторов (в плане) составляют тупой угол, что обеспечивает автоматический разворот системы по ветру и ее устойчивое равновесие. В случае аварии (например, при обрыве троса или разрушении одного из роторов) установка переворачивается и плавно опускается на землю, сохраняя автоматическую управляемость по радиомаякам.

Идея системы управления циркуляцией на лопастях состоит в том, что, выпуская струю на лопасти в нужный момент, можно заметно изменить подъемную

силу лопасти в ветровом потоке, изменять ее направление и даже создать подъемную силу на роторе, вращающемся в неподвижном воздухе. Возможная схема управления системой подобных струй показана на простейшем примере ротора с двумя лопастями (рис.6). Каждая лопасть (1) имеет две отдельных полости, соединенные с полостью в центральном вале турбины через каналы в траверсах (3) и (4). Труба в траверсе (3) способна подавать воздух на внешнюю сторону лопасти, а труба в траверсе (4) – на внутреннюю сторону лопасти. Распределительная система, расположенная внутри вала турбины, имеет два противоположно расположенных отверстия (6) и (7). Внутри распределительного вала постоянно поддерживается повышенное давление воздуха (по воздухопроводу 5). Когда это давление подается через отверстие 6 в правую траверсу (3) и через отверстие (7) в левую траверсу (4), подъемная сила инициируемая струями на лопастях, будет действовать в правую сторону. При противоположном расположении отверстий сила будет действовать в левую сторону. Меняя положение отверстий распределительного вала 4 относительно земли или относительно ветра с помощью пластины (8), можно менять направление “упора” (В.М.Лятхер, Авторское свидетельство СССР 1634567, класс В 63 Н 1/08 с приоритетом от 20.02.89) . Принципиальная возможность резкого увеличения подъемной силы профиля за счет управления циркуляцией путем подачи струи с относительно небольшим расходом в пограничный слой на лопастях хорошо известна. Согласно данным опытов Л.И. Мальцева (Новосибирск, 1989г) в стационарных условиях при подаче струи, например, с относительным импульсом

$$C_\mu = \frac{2\rho_1 Q_1 U_1}{\rho W^2 \Omega_L} = 0.25 \quad (1)$$

коэффициент подъемной силы C_L при нулевом угле атаки, характерном для случая отсутствия ветра, достигает $C_L = (C_L)_{\max} = 1.2$, что для обычных самолетных профилей близко к практически достижимому максимуму. Здесь ρ_1 , Q_1 , U_1 - плотность, расход и скорость управляющей струи, ρ , W - плотность и скорость воздуха относительно лопасти (в отсутствии ветра W равна скорости лопасти), Ω_L - площадь лопасти (рис. 7).

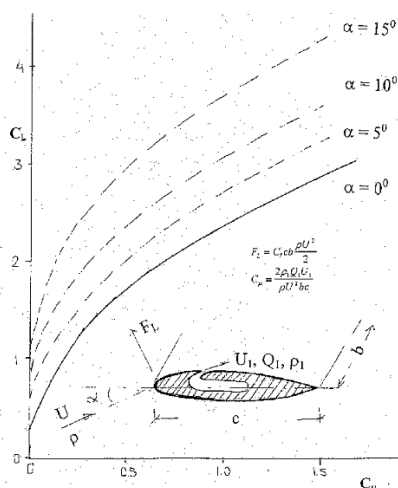


Рис. 7. Влияние вдува струи на коэффициент подъемной силы.

Влияние вдува струи в нестационарных условиях, характерных для режимов обтекания лопастей в ортогональных турбинах, по заданию автора было изучено на колебательной установке Института Механики МГУ . Влияние нестационарности обтекания на гидродинамические характеристики лопасти было изучено на специальной колебательной установке в плоской гидродинамической трубе в Институте механики МГУ им. Ломоносова в 1989-1991гг. *)

Испытания проведены в условиях плоской задачи при значительном избыточном давлении воды (2.5 ати), исключая аэрацию и кавитацию на лопасти, с тщательным учетом возможных ошибок. Нестационарные и стационарные характеристики были получены для профилей NACA-0010, 0015, 0017.5, 0020 с хордой $b=0.2$ м при скорости потока до $U=10.2$ м. Изменение угла атаки проводилось либо с сохранением знака - по закону

$$\alpha = 15^\circ \sin(2\pi f t) + 15^\circ \quad (2),$$

либо по схеме, более близкой к реальным условиям работы турбин, - с изменением знака:

$$\alpha = 14^\circ \sin(2\pi f t) - 1^\circ \quad (3).$$

В той же гидродинамической трубе со значительным избыточным давлением воды (2.5 ати), на той же колебательной системы, на которой испытывались профиля без подачи струи, были изучены характеристики двух вариантов лопастей профиля NACA 0021 с хордой $b=200$ мм с выпуском плоской струи толщиной $a=0.83$ мм в хвостовой части профиля (на расстоянии $0.65b$ от носка профиля) – вариант 1 на рис.125 и в головной части профиля на расстоянии $0.30b$ от носка профиля – вариант 2. Воздействие струи характеризуется относительной величиной импульса

$$C_s = (U_1/U)^2(a/b), \quad (4)$$

U_1 – скорость истечения струи, U скорость набегающего потока.

Изменение угла атаки задавалось поворотом лопасти относительно оси, расположенной в середине лопасти ($0.50b$ от носка):

$$\alpha = 14.5^\circ \sin(2\pi f t) \quad (5)$$

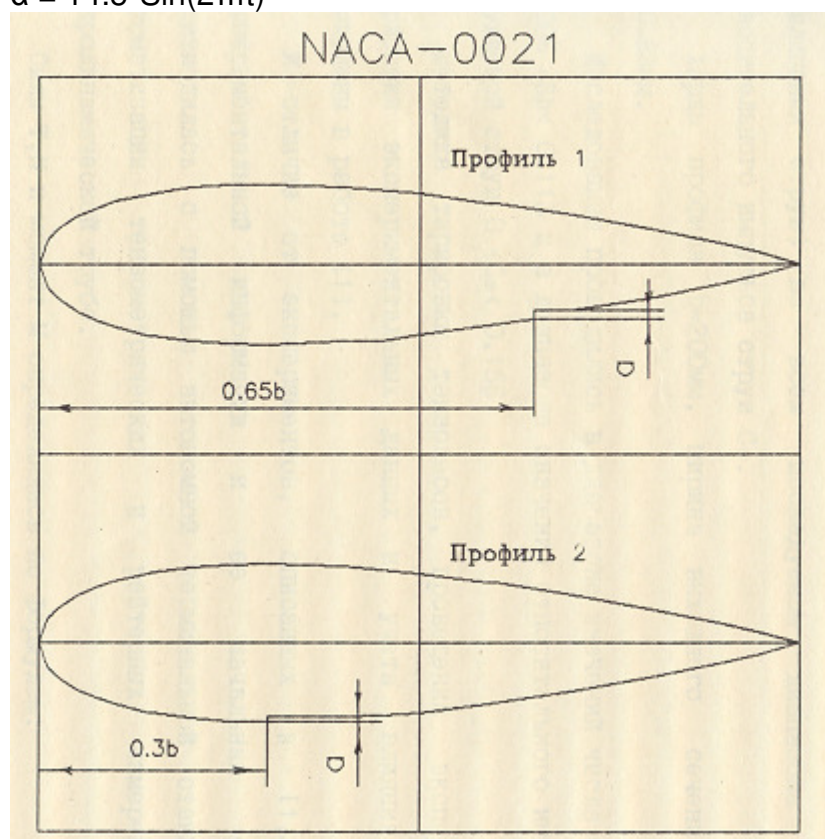


Рис. 8. Варианты расположения щели для подачи струи, $b = 200$ мм, $a = 0.83$ мм

Общий вывод проведенных испытаний состоит в том, что при обоих вариантах расположения струи ее действие на теневой стороне весьма эффективно

увеличивает подъемную и тянущие силы в стационарном и в нестационарном режимах (рис.9 – 13).

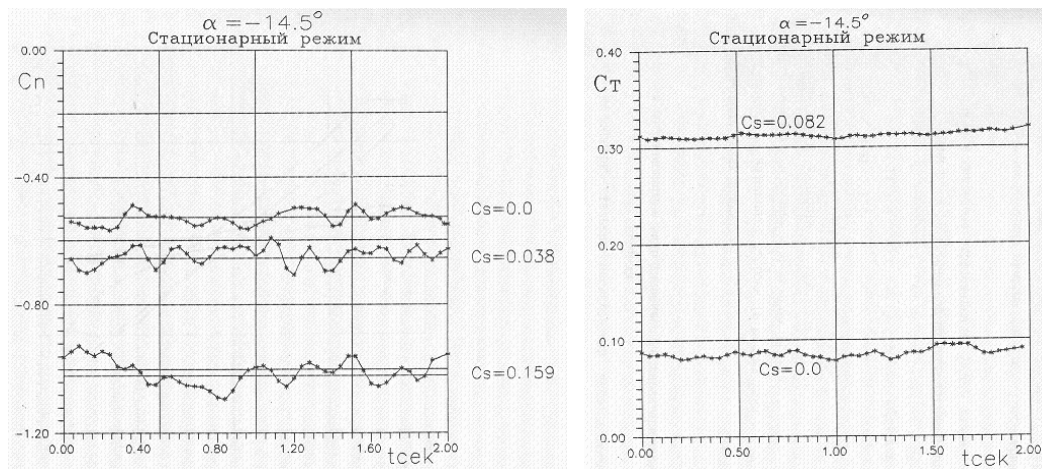


Рис. 9. Вариант 1. Струя на теневой стороне в конце крыла.

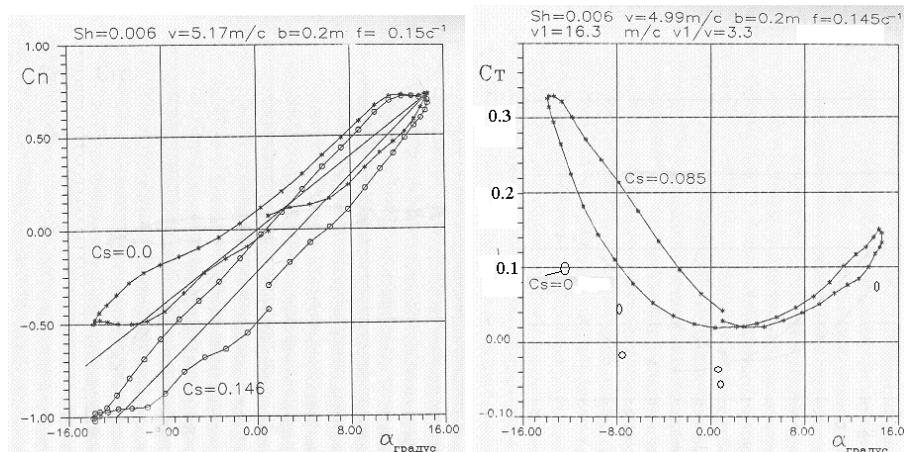


Рис. 10. При отрицательных углах струя на затененной стороне. Влияние струи при малых числах Струхала.

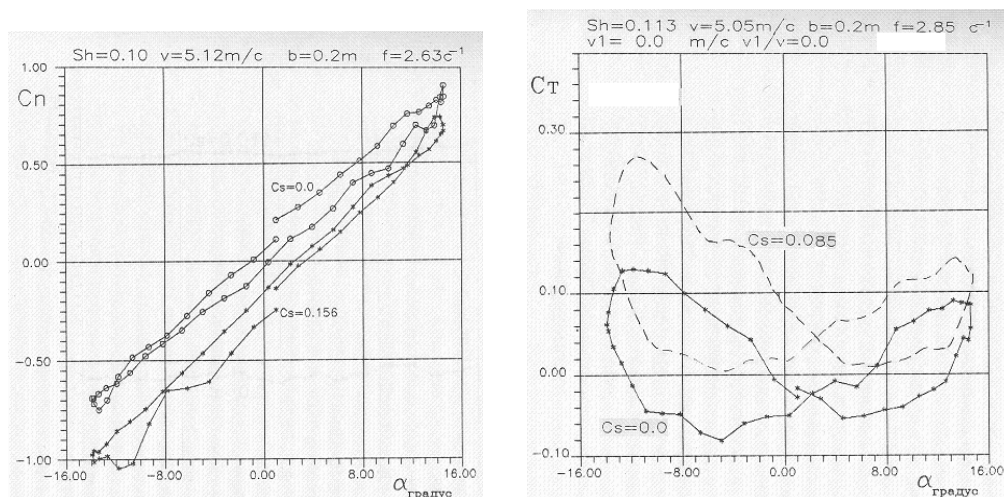


Рис. 11. Влияние струи при больших числах Струхала.

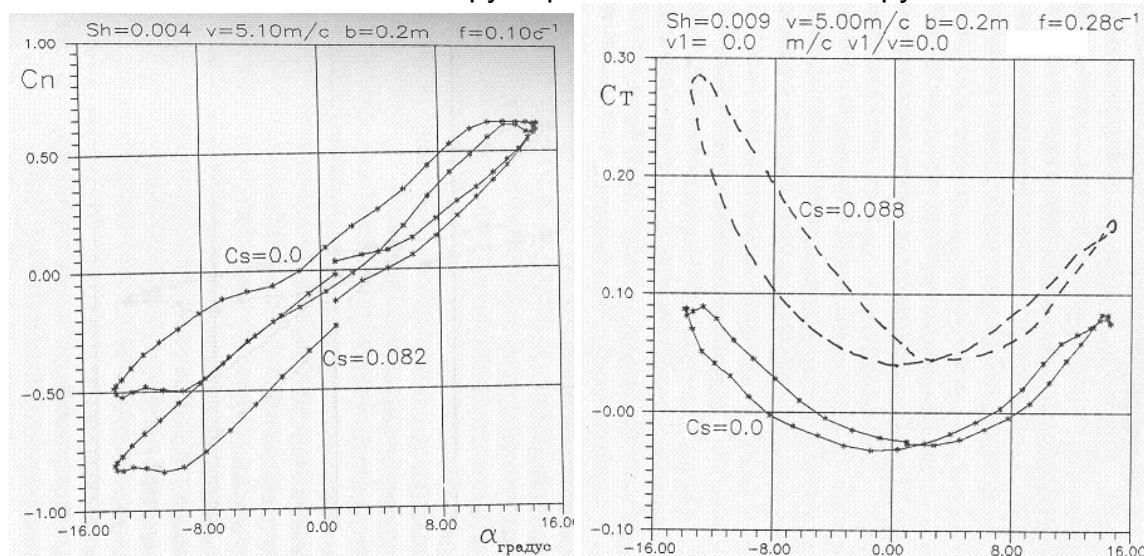


Рис. 12. Вариант 2 – струя в начале крыла. Малые числа Струхала. При стационарном режиме и угле атаки -14.5° коэффициент нормального давления равен -0.5 , -0.86 и -1.08 при импульсе 0 , 0.082 и 0.15 , коэффициент тянущей силы равен 0.09 и 0.29 при импульсе 0 и 0.086 соответственно.

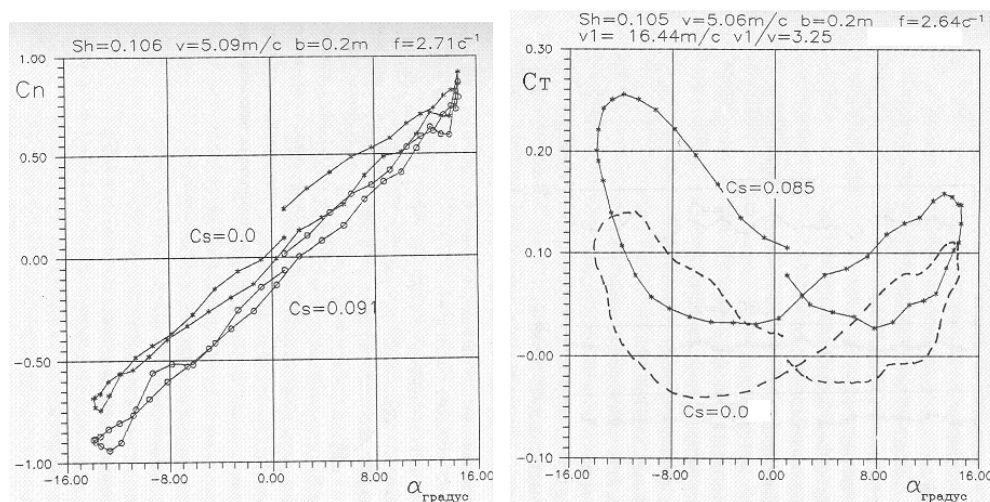


Рис. 13. Вариант 2. Большие числа Струхала. Струя на теневой стороне профиля заметно увеличивает подъемную и тянущую силу крыла.

В изученном диапазоне изменения числа Струхала $0 < Sh < 0.113$ и относительного импульса струи $0 < C_s < 0.155$ влияние струи заметно проявляется только в тех случаях, когда она находится на теневой стороне профиля. В этом случае в обоих конструктивных вариантах – при расположении струи в начале или в конце профиля подача струи увеличивает подъемную и тянущую силы профиля, особенно на больших (докритических) углах атаки прямо пропорционально импульсу струи. При максимальном испытанном угле атаки 14.5° при относительном импульсе струи 0.085 - 0.088 увеличение подъемной силы составляло 60% , а увеличение тянущей силы – около 200% от значений этих величин без вдува струи. Влияние критерия Струхала на этот результат оказалось незначительным. Таким образом, практически, мощность турбины за счет струи может быть увеличена почти в 3 раза., а подъемная сила лопасти более, чем в 1.5 раза.

Действие струи в целом аналогично действию обычной механизации крыла. Как известно, закрылки могут увеличить коэффициент подъемной силы $(C_L)_{\max}$ до 2.4 и более. Подобная схема (рис.14) с поворачивающимся крылом или закрылком, управляемым тягой из центра, эксцентричного оси ротора, была предложена в США (Pinson Energy Co.), в Англии (университет Exeter), в Японии (Iwanaka) и реализована на практике в опытных ортогональных ветроустановках, показавших максимальную фактическую эффективность $C_p = 0.50$.

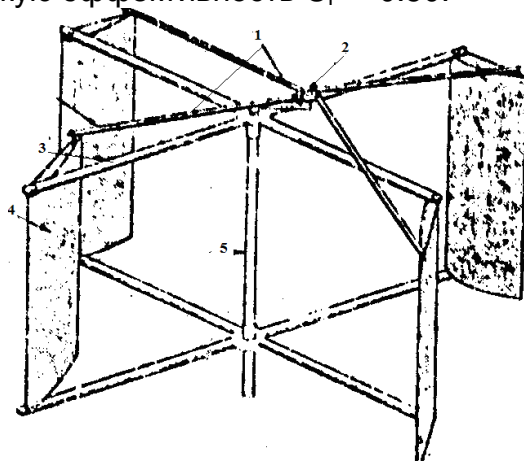


Рис. 14. Управление поворотом лопастей в агрегате Iwanata (1978 г). 1 – управляющие тяги, 2 – ось шарнира управления, 3 – траверсы ротора, 4 – рабочие лопасти, 5 – вал агрегата.

Струйная система управления циркуляцией на крыле в данном случае должна быть более легкой и более долговечной, чем система обычной механизации крыла.

Изменение суммарной силы, действующей на двухлопастной ротор с управляемой циркуляцией по схеме рис.7 или с поворотным крылом по схеме рис.14, схематично показано на рис.15.

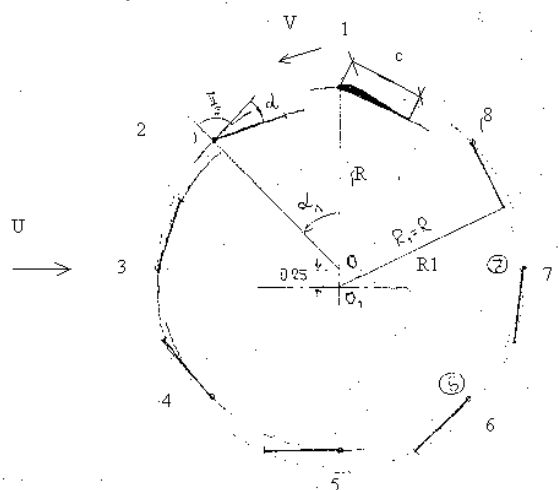


Рис.15. Пример механического управления положением максимальной подъемной силы в неподвижном воздухе. О - центр трассы носка лопасти, О₁ – центр трассы хвоста лопасти, 1 – 8 – положения лопасти на трассе. Во всех точках часть подъемной силы направлена вверх

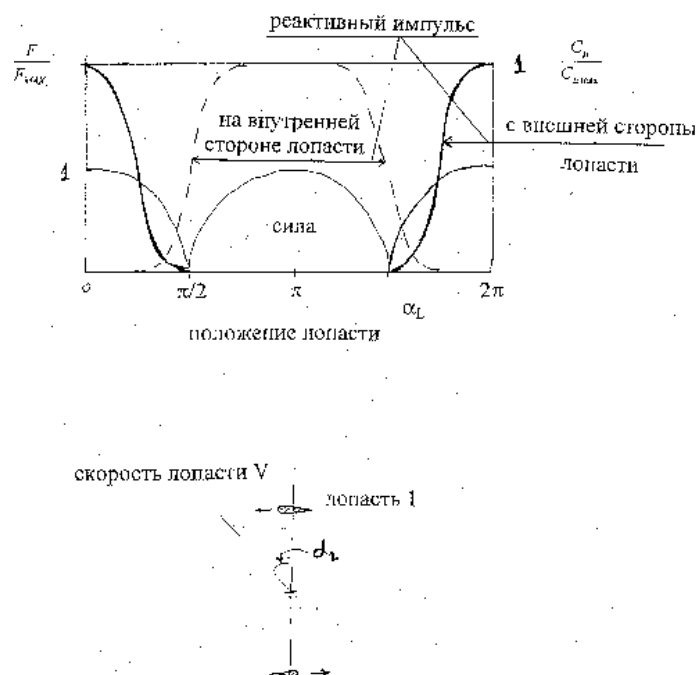


Рис. 16. Подъемная сила, действующая на ортогональную турбину

Значение силы, действующей на ротор, осредненное за 1 оборот, немного больше

$$F = 1/6 C_{Lmax} \rho \{ (V+U)^2 + (V-U)^2 \} \Omega_b \quad (6)$$

Здесь $U = 0.8U_0 = 28$ м/сек - скорость ветра внутри ротора при расчетном ветре на подходе, равном 35 м/сек. Осредненная подъемная сила, действующая на ротор на высоте 6 км может иметь величину

$$F = C_{Lmax} 0.75 \{ (50+28)^2 + (50-28)^2 \} 6660 \text{ N} / 6 = 5467860 C_{Lmax} = C_{Lmax} 547 \text{ (ton)} \quad (7)$$

На земле в отсутствие ветра подъемная сила может достигать

$$F_0 = 1/6 C_{Lmax} 1.23 \{ 50^2 + 50^2 \} 6660 \text{ N} = C_{Lmax} 657 \text{ (ton)} \quad (8)$$

Оценим общий вес конструкций высотной электростанции, который должны поднимать и удерживать в парящем состоянии ее роторы. В реальном линейном генераторе, испытанном на полигоне под г. Киевом, при скорости якоря относительно индуктора 35 м/сек удельная масса была 11.1 кг/кВт. Если принять диаметр линейного (дугowego) генератора в рассматриваемой станции равным 28 м, что соответствует такой же линейной скорости пересечения электромагнитных полей, то общая масса генераторов одного комплекса не превысит $50 \times 11.1 = 555$ тонн. Дюралевые крылья современных самолетов с вылетом консоли до 24м имеют массу в расчете на единицу площади крыла от 29 до 35 кг/м². Пластиковые лопасти ортогональных ветроагрегатов, осуществленных и испытанных автором, имели массу до 12 кг/м². Таким образом, масса лопастей предлагаемой ветростанции ожидается в диапазоне от 80 до 230 тонн. Траверсы, опорные узлы и соединительные конструкции в целом не должны иметь массу более 50% от массы лопастей. В целом, масса ветровой электростанции мощностью 50 МВт ожидается в пределах 900 тонн. Очевидно, возможная подъемная сила турбин по (64) или (65)

при реально достижимых значениях $C_{Lmax} > 2$, значительно превышает вес генератора и всей строительной конструкции ветрового комплекса.

Продольная сила, действующая на станцию в номинальной позиции определяется соотношением

$$F_x = C_x \rho U_0^2 A/2 \quad (9)$$

Где C_x – коэффициент лобового сопротивления системы. Для соотношения скоростей лопастей и ветра в расчетном режиме равно $50/35 = 1.43$ и затенении $\sigma = 0.45$ этот коэффициент не больше 0.5 и продольная сила составляет

$$F_x = 344 \text{ т.} \quad (10)$$

Соединительный кабель-трос проектируется так, чтобы он имел небольшую избыточную плавучесть. Это достигается устройством его полым с оболочкой из легкого, прочного материала, например, кевлара и наполнением водородом или гелием. Избыточной подъемной силы, действующей на трос в точке контакта со станцией, должно быть достаточно для того, чтобы маневрировать ветроустановкой в любых ситуациях и при подъеме ее с земли. Векторная сумма этой избыточной подъемной силы и силы сопротивления при фиксированной длине троса определит пространственное положение станции. На практике управление циркуляцией должно осуществляться автоматически с ориентировкой ВВЭУ по радиомаякам на земле и гироскопическими системами на ВВЭУ. В случае аварийного обрыва троса вращение роторов и плавное опускание систем в заданный район осуществляется за счет энергоаккумуляторов, расположенных на ВВЭУ, и работы генераторов ВВЭУ в режиме двигателей. В таком же режиме, только при использовании электропитания от сети, осуществляется и подъем ветроустановки. Кабель-трос состоит из отсеков, наполненных гелием или водородом и соединенных между собой шлюзами. Плотность гелия при нормальном давлении и температуре 0°C составляет 0.178 кг/м^3 . Принимая избыточное давление внутри отсеков 0.5 ати, получим располагаемую подъемную силу кабель-троса: в нижних участках около 1 кг на кубический метр объема отсеков, а на высоте 6-8 км около 0.4 кг на кубический метр. Исходя из этих показателей и учитывая реальные силы, действующие на удерживающую систему со стороны ВВЭУ, рассчитаны размеры кабель-троса. Кабель – трос диаметром 6 м, изготовленный из кевлара, армированного углепластиком, с расчетной прочностью 5250 кг/см^2 и плотностью 1.6 г/см^3 может иметь подъемную силу 18.7 кг на погонный метр на высоте 6 км. Минимальная конструктивная толщина кевлара, формирующего оболочку кабель-троса, в соответствии с действующими предложениями промышленности принимается 0.25 мм. Этой толщине соответствует площадь сечения кевлара 47.1 см^2 и погонная масса 7.54 кг/м . При фиксированной избыточной подъемной силе, действующей со стороны ветроустановки на трос, и силе сопротивления по (54) усилие в тросе определяется его длиной. В таблице показаны значения необходимых длин троса и сечения кевлара при различных избыточных подъемных силах. Расположение станции принимается на высоте 6 км.

Избыточная подъемная сила F_v , т	200	300	400	500
Общая сила, действующая на трос, т	398	456	528	607
Площадь сечения кевлара, см^2	76	87	100	116
Масса кевлара на 1 пог.м кабеля, кг	12.1	13.9	16.0	18.5
Длина кабеля, км	11.6	8.94	7.79	7.2
Общая масса кевлара, т	140.4	124.3	124.6	133.2

Общая масса кевлара получается минимальной, если избыточная подъемная сила равна 300 тонн, а длина кабеля-троса 8.94 км.

На поверхности кабель-троса должны быть уложены шинопроводы для вывода мощности от генераторов. При генераторном напряжении 10 кВ и допустимой плотности тока 4 А/мм^2 масса шинопроводов составит около 3.4 кг на погонный метр. Суммарная погонная масса основных элементов кабель-троса (17 кг/м) не превосходит его грузоподъемности. Таким образом, избыточное подъемное усилие не должно быть больше 300 тонн, а длина кабель-троса получается не менее 8.94 км. Масса кевлара при такой длине троса составит около 124 тонн. Масса меди шинопроводов составит около 30 тонн. Из приведенных оценок следует, что кабель-трос можно делать и без обеспечения плавучести, просто с воздушным наполнением – избыточной подъемной силы роторов достаточно для компенсации веса кабель-троса. Стоимость кабель-троса для ВВЭУ мощностью 50 МВт по ценам США ориентировочно составит 15 миллионов долларов, по ценам России – в 2 – 2.5 раза меньше. Стоимость поднимаемого оборудования ВВЭУ определяется из расчета 15 долларов за кг, что при величине массы 900 тонн дает оценку в 13.5 миллионов долларов США. Удельные капиталовложения составят для США примерно 570 дол/кВт, для России – 370 дол/кВт.

Если увеличить мощность ВВЭУ до 100 МВт, то за счет применения более эффективного контрроторного генератора масса электростанции увеличится всего до 1300 тонн (13 кг/кВт) и удельные затраты на единицу мощности снижаются. Ожидается, что в серийном исполнении установки указанной мощности в России будут иметь удельные капиталовложения не выше 300 долларов США/кВт. Первый опытный образец мощностью 50 МВт обойдется примерно в 60 миллионов долларов (по 1.2 тыс. долл. США/кВт), включая необходимые обширные метеорологические наблюдения, проектные и научно-исследовательские работы, изготовление приспособлений для производства оборудования, а также затраты на проведение строительно-монтажных и пуско-наладочных работ. Учитывая хорошие экономические и экологические перспективы предлагаемого источника электроэнергии, названную стоимость первого образца не следует считать чрезмерной.

Осуществить полный комплекс работ со сдачей изделия "под ключ" с одновременной подготовкой серийного производства последующих машин можно было бы за 2,5 - 3 года. В последующем высотные ветроустановки могут быть созданы мощностью 100-150 МВт стоимостью по 30-45 млн. долларов с годовой выработкой для района Москвы 500-700 ГВт-час, что обеспечит себестоимость энергии в пределах 0.3 - 0.5 цента/кВтчас. Главное достоинство этого возобновляемого источника это то, что он находится там, где велика потребность в энергии.

6. Производство, хранение и транспортирование водорода

Высокая стоимость дополнительных линий электропередач, а также некоторая неопределенность на оптовом рынке электроэнергии (ФОРЭНе) заставляет задумываться о возможностях аккумулирования и перераспределения во времени и пространстве энергии ГЭС, а в будущем и других электростанций, использующих возобновляемые источники энергии. Универсальным энергоносителем, способным выполнить эту функцию, является водород. Его широкое использование в энергетике может изменить принципы подхода к выбору площадок и режимов работы новых крупных гидроэлектростанций, а так же раскрыть новые перспективы ветровым и приливным электростанциям. Качественные изменения возможны и в режимах действующих энергосистем.

Водород в газообразном или жидком состоянии (при температуре -253°C) может быть использован в качестве топлива для автомобилей современной (традиционной) конструкции, в качестве топливной добавки, замещающей 90 % расхода дизельного топлива на дизельных агрегатах, в качестве топлива на

традиционных электростанциях, работающих на газе, а также практически без изменения оборудования во всех других случаях применения в качестве топлива пропан-бутановых или метановых жидкостных или газовых смесей. Плотность водорода при нормальном давлении составляет примерно 90 грамм на куб.м. Критическое давление для жидкого водорода, препятствующее возникновению двухфазного течения, – около 12.8 ати, критическая температура -240°C (33.35°K). Водород является криогенным, то есть глубоко переохлажденным жидким топливом. Плотность жидкого водорода 70.8 кг/м^3 в 14.3 раза меньше плотности воды. Жидкий водород очень текуч. Его динамическая вязкость при 20°K составляет 0.0138 от динамической вязкости воды. Водород имеет самое высокое энергосодержание на единицу веса из всех известных видов топлива – 120.7 кДж/г . Одного грамма водорода достаточно, чтобы довести до кипения 375 г воды комнатной температуры. При соединении водорода с кислородом воздуха или чистым кислородом (в вакууме) выделяется 33.7 кВтчас энергии на кг водорода. При сгорании метана (природный газ) выделяется всего 13.8 кВтчас на кг топлива. Удельный расход топлива авиационных ГТД, работающих на водороде, в 3 раза меньше по сравнению с ГТД, работающими на углеводородном топливе (авиационном керосине). Автомобиль, снабженный системой газового питания, при заправке такой же массы водорода проедет в 2.8 раза большее расстояние, чем при заправке бутаном, пропаном или метаном. В машинах нового поколения возможно более эффективное использование водорода – путем прямого получения электрического тока при окислении водорода кислородом воздуха в присутствии катализатора. При этом получается постоянный ток, который может быть использован для индивидуального привода колес движущегося средства. Эти же элементы можно использовать и как нагреватели, теплоотдача которых легко регулируется одним краном – подачей водорода. Эффективность такого преобразования энергии достигает 88%. Получаемый в результате электролиза водород имеет относительно меньшее содержание дейтерия, поэтому при его использовании в тепловыделяющих элементах получаемая вода является дистиллированной.