

ISSN 1811-1858

ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛ



С. ТҰРАЙҒЫРОВ АТЫНДАҒЫ
ПАВЛОДАР ЖЕМЕЛЕТТІК
УНИВЕРСИТЕТІ

ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ СЕРИЯ



2' 2015

ПМУ ХАБАРШЫСЫ
ВЕСТНИК ПГУ

Научный журнал Павлодарского государственного университета
имени С. Торайгырова

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на учет средства массовой информации
№ 14310-Ж

выдано Министерством культуры, информации и общественного согласия
Республики Казахстан
17 апреля 2014 года



Кислов А.П., к.т.н., доцент (главный редактор);
Леньков Ю.А., к.т.н., доцент (зам. гл. редактора);
Акаев А.М., (отв. секретарь);

Редакционная коллегия:

Алиферов А.И., д.т.н., профессор (Россия);
Боровиков Ю.С., к.т.н., профессор (Россия);
Новожилов А.Н., д.т.н., профессор;
Горюнов В.Н., д.т.н., профессор (Россия);
Говорун В.Ф., д.т.н., профессор;
Захаров И.В., д.т.н., профессор;
Клецель М.Я., д.т.н., профессор;
Никифоров А.С., д.т.н., профессор;
Тастенов А.Д., к.т.н., доцент;
Хацевский В.Ф., д.т.н., профессор;
Нургожина Б. В. (тех. редактор).



За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели.
Мнение авторов публикаций не всегда совпадает с мнением редакции.
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов.
Рукописи и дискеты не возвращаются.
При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник ПГУ» обязательна.

МАЗМҰНЫ

Алимгазин А. Ш., Алимгазина С. Г., Петин Ю. М., Кислов А. П., Амренова Д. Т.	
Астана қаласының ТЭЦ-2-де қосымша жылу энергиясын шығаруға арналған дәстүрлі емес энергия көздерін пайдаланумен жаңа заманғы жылу сорғысын пайдалану.....	6
Алимгазин А. Ш., Алимгазина С. Г., Кислов А. П., Рахмалина С. Г.	
Қазақстан Республикасында энергия үнемдеуші және энерготіімді жылу сарғын технологияларын ендірудің мәселелері мен болашағы жайлы.....	15
Алимгазин А. Ш., Алимгазина С. Г., Петин Ю. М., Кислов А. П., Амренова Д. Т.	
Жаңа заманауи жылу сорғыларын пайдаланумен төменөлеуетті жылу қолдықтарын пайдаланудың технологияларын өзірлеу.....	21
Аринов Е., Сартаев К. З., Байжұманов М. Қ., Кәріпбаев С. Ж.	
Электростатикалық гироскоп роторының нутациялық тербелісінің демпфирлеу механизмі.....	27
Аринов Е., Сартаев К. З., Байжұманов М. Қ., Кәріпбаев С. Ж.	
Электростатикалық гироскоптың инерция айнымалы сәттегі серпімді роторының жанаспаған ілгіштегі қозғалысы.....	38
Кайдар А. Б., Шапкенов Б. К., Кислов А. П., Марковский В. П.	
Энергия көрсеткіштері күшейтілген жаңа жел доңғалақтары.....	46
Кайдар А. Б., Шапкенов Б. К., Кислов А. П., Марковский В. П.	
Қазақстанда жел-электр станцияларын салудың болашағы.....	53
Клецель М. Я., Нефтисов А. В.	
Басқарушы орамды геркондардың қуатының реле бағыты.....	61
Клецель М. Я., Бергузинов А. Н.	
Жабық үшфазалы токөткізгіштерде геркондарды бекітуге арналған құрылғы.....	69
Лукутин Б., Сурков М., Сарсикеев Е., Мұстафина Р., Мұстафина Д.	
Электр жабдықтарының желдік-дизельдік автономды кешенінің желдік электр станцияларының энергетикалық сипаттамаларын үлгілеу.....	75
Мусагажинов М. Ж.	
Электр секундомерді автоматты тексеру жүйесі.....	84
Авторларға арналған ережелері.....	89

СОДЕРЖАНИЕ

Алимгазин А. Ш., Алимгазина С. Г., Петин Ю. М., Кислов А. П., Амренова Д. Т. Применение тепловых насосов нового поколения с использованием нетрадиционных источников энергии для выработки дополнительной тепловой энергии на ТЭЦ-2 г. Астаны.....	6
Алимгазин А. Ш., Алимгазина С. Г., Кислов А. П., Рахмалина С. Г. О перспективах и проблемах внедрения в Республике Казахстан энергосберегающих и энергоэффективных теплонасосных технологий	15
Алимгазин А. Ш., Алимгазина С. Г., Петин Ю. М., Кислов А. П., Амренова Д. Т. Разработка технологий утилизации низкопотенциального тепла с использованием тепловых насосов нового поколения	21
Аринов Е., Сартаев К. З., Байжуманов М. К., Карипбаев С. Ж. Механизм демпфирования нутационных колебаний ротора электростатического гироскопа	27
Аринов Е., Сартаев К. З., Байжуманов М. К., Карипбаев С. Ж. Движение упругого ротора электростатического гироскопа с переменным моментом инерции в неконтактном подвесе	38
Кайдар А. Б., Шапкенов Б. К., Кислов А. П., Марковский В. П. Новые ветроколеса с улучшенными энергетическими показателями	46
Кайдар А. Б., Шапкенов Б. К., Кислов А. П., Марковский В. П. Перспективы строительства ветроэлектростанций на территории Казахстана	53
Клецель М. Я., Нефтисов А. В. Реле направления мощности на герконах с управляющей обмоткой	61
Клецель М. Я., Бергузинов А. Н. Конструкция для крепления герконов в закрытых трехфазных токопроводах	69
Лукутин Б. В., Сарсикеев Е. Ж., Сурков М. А., Мустафина Р. М., Мустафина Д. Б. Моделирование энергетических характеристик ветровых электростанций автономного ветродизельного комплекса электроснабжения	75
Мусагажинов М. Ж. Система автоматической поверки электросекундомера	84
Правила для авторов	89

CONTENT

Alimgazin A. Sh., Alimgazina S. G., Petin Yu. M., Kislov A. P., Amrenova D. T.	
The use of the new generation thermal pumps with nonconventional energy sources for producing extra thermal energy at TPP-2 of Astana	6
Alimgazin A. Sh., Alimgazina S. G., Kislov A. P., Rakhmalina S. G.	
On the prospects and challenges of implementation of energy saving and energy efficient thermal pump technologies in the Republic of Kazakhstan	15
Alimgazin A. Sh., Alimgazina S. G., Petin Yu. M., Kislov A. P., Amrenova D. T.	
Development of technologies for low potential heat utilization using new generation thermal pumps	21
Arinov E., Sartayev of K. Z., Bayzhumanov of M. K., Karipbayev S. Zh.	
Mechanism of damping the nutation fluctuations of the rotor electrostatic gyroscope	27
Arinov E., Sartayev of K. Z., Bayzhumanov of M. K., Karipbayev S. Zh.	
Movement of an elastic rotor of an electrostatic gyroscope with the variable moment of inertia in non-contact subweight	38
Kaidar A. B., Shapkenov B. K., Kislov A. P., Markovsky V. P.	
New windwheels with improved energy indicators	46
Kaidar A. B., Shapkenov B. K., Kislov A. P., Markovsky V. P.	
Prospects of wind power plant construction in Kazakhstan	53
Kletsel M. Ya., Neftissov A.	
Directional power relay on the reed switch with the control winding	61
Kletsel M. Ya., Berguzinov A. N.	
Construction for fixing magnetically operated sealed switches in closed three-phase electrical pathways	69
Lukutin B., Surkov M., Sarsikeyev E., Mustafina R., Mustafina D.	
Simulation of the energy characteristics of autonomous wind-diesel complex power supply's wind power	75
Musagajinov M.	
Automatic checking of electric stopwatches	84
Rules for authors	89

**А. Ш. Алимгазин¹, С. Г. Алимгазина¹, Ю. М. Петин²,
А. П. Кислов³, Д. Т. Амренова³**

¹НИИ «Энергосбережение и энергоэффективные технологии». Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева. г. Астана; ²ЗАО «Энергия». Россия. г. Новосибирск; ³Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова. г. Павлодар

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕТРАДИЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ НА ТЭЦ-2 Г. АСТАНЫ

В данной работе предлагаются к применению тепловые насосы нового поколения, использующие нетрадиционные источники энергии для выработки дополнительной тепловой энергии.

Ключевые слова: теплоэнергетика, нетрадиционные источники энергии, тепловой насос, конденсатор, трубина, теплоснабжение.

Одним из перспективных направлений эффективного использования теплонасосных технологий в Республике Казахстан является направление, связанное с утилизацией низкотемпературных тепловых отходов технологических процессов промышленных предприятий (сбросные воды предприятий, вода из системы оборотного водоснабжения и т.п.) с целью снижения вредных выбросов в атмосферу и одновременным получением теплоты более высоких параметров.

В Республике Казахстан действует 37 ТЭЦ, несколько крупных ГРЭС, на которых в существующих системах оборотного водоснабжения сбрасывают с охлаждающей водой 45-55 % энергии топлива. Иногда решающим фактором в выборе площадки для строительства ТЭС оказывается наличие естественных водоемов, способных без особого ущерба воспринять значительный объем бросовой теплоты (например, Аксусская (Ермаковская) ГРЭС, Усть-Каменогорская ТЭЦ, Согринская ТЭЦ и др.), тем самым осуществляя тепловое загрязнение этих водоемов.

Также промышленные предприятия (металлургия, нефтехимия, машиностроение и др.) потребляют в градирнях огромное количество воды для охлаждения машин и рабочих тел в различных технологических процессах. Эти «тепловые реки» имеют круглый год температуру 20-40°C.

практически не позволяющую использовать теплоту непосредственно, и охлаждаются в градирнях, прудах-охладителях, реках, отдавая в атмосферу вместе с теплотой часть воды.

На протяжении ряда лет казахстанскими и российскими учеными (ЗАО «Энергия», г. Новосибирск) проводятся совместные работы по разработке схем и технологий применения тепловых насосов (ТН) с использованием сбросной теплоты систем оборотного водоснабжения промышленных предприятий для повышения эффективности работы теплоэнергетического оборудования этих предприятий (ТЭЦ, металлургических комбинатов, нефтеперерабатывающих заводов и т.д.) [1-9].

Применение тепловых насосов на ТЭЦ, как показывают проведенные исследования, весьма перспективно именно при высоких значениях коэффициентов преобразования энергии $j > 6$ [7, 8].

При мировых тенденциях экономии топливных ресурсов, сбросное тепло в градирнях (прудах-охладителях, реках) необходимо полезно использовать [3, 6, 7-11].

Уже существует определенный зарубежный опыт в этом направлении (КНР, Россия и др.), который продемонстрировал, что применение ТН на ТЭЦ выгодно не только технологически (улучшается вакуум в конденсаторе и повышается выработка электроэнергии), но и экономически (реальная экономия топлива или повышение тепловой мощности ТЭЦ без дополнительных расходов на топливо и излишних капитальных затрат) [6, 7, 10].

Как из этого следует, применение градирен является расточительной и непродуктивной тратой сырьевых ресурсов, поскольку имеется возможность при помощи ТНУ утилизировать тепло, сбрасываемое градирнями, и выработать горячую воду с требуемыми параметрами. Энергоэффективность применения ТН зависит от количества утилизированной теплоты и ее доли в потреблении высокопотенциальной тепловой энергии.

В настоящее время только на ТЭС РАО «ЕЭС России» системой охлаждения технической воды (СОТВ) сбрасывается в окружающую среду не менее 140-150 млн Гкал, что эквивалентно 24-26 млн. т.у.т. непроизводительного расхода топлива. Только в системе АО «Мосэнерго» выбросы в СОТВ на ТЭЦ Москвы составляют 45...50 млн. Гкал в год, что равносильно потере 7.2...8 млн. т условного топлива в год. Суммарная величина сбросного тепла на городских и прилегающих к Москве ТЭЦ в период с ноября по март отопительного сезона составляет 1600-2000 Гкал/ч. Технически возможна утилизация до 45 % низкопотенциальной теплоты (около 10 % от количества отпускаемой теплоты).

Как известно, экономия (замещение) органического топлива с помощью ТН происходит за счет полезного вовлечения выбросов низкопотенциальной теплоты на тепловых электростанциях. Это достигается двумя способами:

– прямым использованием охлаждающей технической воды ТЭЦ в качестве источника низкопотенциальной теплоты (ИНТ) для тепловых насосов (вместо реконструкции градирен);

– использованием в качестве ИНТ для тепловых насосов обратной сетевой воды, возвращаемой на ТЭЦ, температура которой снижается до 20...25 °С.

Прямое использование тепла технической воды, охлаждающей конденсаторы ТЭЦ в качестве источника низкопотенциальной теплоты (ИНТ) для ТН нового поколения (в обход градирни) дает возможность вернуть большую часть этой сбросной теплоты в тепловую схему станции (около 50-60 %).

При этом:

– на производство этой теплоты не надо затрачивать дополнительное тепло топлива;

– улучшается экологическая ситуация;

– за счет понижения температуры циркуляционной воды в конденсаторе турбин существенно улучшится вакуум и повысится электрическая выработка с турбин;

– сократятся потери циркуляционной воды и затраты на ее перекачку

Один из *первых проектов по применению ТН на ТЭЦ в России* был реализован в 1999-2000 г.г. на ТЭЦ-28 ОАО «Мосэнерго» [10] в условиях ее реальной эксплуатации в широком диапазоне изменения определяющих параметров. При разработке тепловой и технологической схемы ТНУ на ТЭЦ-28 принималось во внимание, что наибольший интерес представляет использование в качестве низкотемпературного источника теплоты для ТНУ сбросной теплоты циркуляционной воды после конденсатора турбины (в градирню) и ее передача в теплосеть. В процессе испытаний в условиях реальной эксплуатации ТНУ на ТЭЦ ОАО «Мосэнерго» подтверждена возможность передачи сбросной теплоты циркуляционной воды конденсатора турбины ($T_{\text{ЦВ}} = 25 - 30^{\circ}\text{C}$) в обратную тепломагистраль теплосети с достаточно высоким коэффициентом преобразования ($K_{\text{ТНУ}} = 4,5 - 6$).

Приведем данные по *некоторым объектам* в КНР, которая далеко продвинулась по применению ТН на ТЭЦ:

а) *электростанция Шенту, расположенная в городе Шузу* (северная провинция Шаньси, КНР), оснащена 4 энергоблоками мощностью по 500 МВт каждый. Проведена модернизация каждой из 4х турбин энергоблоков с целью организации дополнительного отбора пара на теплофикацию через тепловые насосы. Ключевым элементом теплофикационной системы является тепловой насос, который извлекает низкопотенциальное тепло от охлаждающей воды после конденсатора и передает его в контур нагрева горячей воды (см. Рис. 1, 2).



Рисунок 1, 2 – Общий вид электростанции Шенту и установленной ТНУ

В результате проведенных работ (2011 -2014 г.г.) значительно повышена эффективность самой станции, и существенно улучшена экологическая обстановка в городе и регионе в целом.

Подсчитано, что на каждый 1 МВт отпускаемой со станции тепловой энергии, примерно 0,3 МВт берется от охлаждающей воды после конденсатора.

б) другой пример реализации проекта с ТНУ:

– на муниципальной ТЭЦ города Янгжин (Китай) в 2010 году было установлено шесть ТНУ Шуанлян (Shuangliang) с производительностью 30 МВт каждый. Они утилизируют тепловую энергию градирен (температура 30–40°C), и вырабатывают горячую воду с параметрами 70–90°C для дополнительного теплоснабжения целого района города, утилизируя тепло, ранее сбрасываемое градирнями (см. рис. 3).

Внедрение ТНУ в этом проекте *позволило ежегодно:*

- дополнительно продавать тепловую энергию на сумму более 5 млн долларов (а тарифы на тепловую энергию в этом городе ниже, чем в России);
- сэкономить 500 000 тонн воды (она не испаряется в градирнях);
- сэкономить 49 300 тонн угля;
- уменьшить выбросы CO_2 на 98 600 тонн;
- уменьшить выбросы окиси азота на 730 тонн.



Рисунок 3 – Теплонасосное оборудование ТЭЦ г. Янгжин

Подобные проекты реализованы на ряде других объектов: районной ТЭЦ г. Янгванг, ТЭЦ г. Шеньян.

Приведенные примеры доказывают, что применение ТНУ на предприятиях топливно-энергетического комплекса Республики Казахстан позволит в полной мере использовать широчайшие, никем не реализованные возможности увеличения энергоэффективности как при производстве, так и в использовании энергии.

Однако, все известные в мире типы ТН, работающие на традиционном теплонасосном цикле Ренкина [1, 4, 6, 11], обеспечивают подогрев теплоносителя до 65°C, в то время как предлагаемые ТН нового поколения, работающие на более эффективном, с термодинамической точки зрения, треугольном цикле Лоренца, дают возможность подогрева воды в системе до 80-85°C, с более высоким коэффициентом преобразования ($\varphi > 4$) и другими показателями. Эффективность такого цикла Лоренца значительно превосходит эффективность традиционного обратного теплонасосного цикла Ренкина, по которому в настоящее время работают все парокompрессионные тепловые насосы в мире [5, 7, 8].

Однако, применение ТНУ в Республике Казахстан, в ряде северных регионов России, имеет свои *отличительные моменты*, которые, во-первых, связаны с более длительным отопительным периодом (до 215-230 дней в году), во-вторых, с более суровыми климатическими условиями (до минус 45°C). Поэтому тепловые насосы для суровых климатических условий как Казахстана, так и России, должны также отличаться от зарубежных и конструктивно опять же по причине *требуемых высоких температур для отопления* [5, 7, 8].

По данной разработке в 2013 г. подана заявка на инновационный патент Республики Казахстан (авторы Алимгазин А. Ш., Петин Ю. М., Алимгазина С. Г., Бахтияров А. Е.) и получен патент РФ на изобретение «Способ горячего водоснабжения и способ отопления с его использованием» [8].

Важнейшей предпосылкой для применения ТН нового поколения являются огромные выбросы низкопотенциальной теплоты (НПТ), прежде всего системой охлаждения технической воды на ТЭЦ, увеличивающиеся в период снижения тепловой нагрузки в неотапительный период.

По согласованию с АО «Астана – Энергия» в настоящее время проводятся исследования по разработке технико-экономического обоснования (ТЭО) проекта по использованию с помощью ТН сбросной теплоты циркуляционной воды ТЭЦ-2 (г. Астана), поступающей для охлаждения на градирни с температурой до 35°С (объем охлаждаемой воды до 35 000 м³/час), что позволит существенно уменьшить тепловое загрязнение атмосферы с последующим использованием снятой теплоты для нужд отопления различных объектов [6, 7].

Предлагается применение тепловых насосов (ТН) нового поколения в технологической схеме ТЭЦ с использованием в качестве источника низкопотенциальной теплоты (ИНТ) воды из конденсаторов турбин с температурой до +35°С, направляемой вместо градирен (прудов-охладителей, рек) на испарители ТН, что позволит:

- обеспечить получение в отопительный период до 15 % дополнительной электроэнергии;

- утилизировать низкопотенциальную теплоту (НПТ) системы охлаждения технической воды (СОТВ) для подогрева подпиточной, химочищенной воды, поступающей на восполнение потерь сетевой воды;

- получить экономию (замещение) органического топлива с помощью ТН, что, в конечном итоге, происходит за счет полезного вовлечения выбросов НПТ на ТЭЦ.

В рамках реализации Меморандума о совместной работе между ЕНУ им. Л. Н. Гумилева и ЗАО «Энергия» (г. Новосибирск), в 2-4 кварталах 2014 года продолжены дальнейшие исследования по перспективам применения ТН нового поколения, работающего по схеме более эффективного, по сравнению с обратным циклом Ренкина, цикла Лоренца, с целью получения теплоты высоких параметров на станции путем охлаждения циркуляционной воды АО «ТЭЦ-2» г. Астаны.

Согласно Протокола совместного совещания с руководством АО «Астана – Энергия» (14.08.2013 года) продолжены расчетно-теоретические работы по возможности применения теплонасосных технологий нового поколения с использованием в качестве низкотемпературного источника теплоты циркуляционной воды ТЭЦ-2 (г. Астана).

ПТО АО «ТЭЦ-2 г. Астана» предоставлена вся необходимая информация: производственные показатели работы станции, включающие в себя параметры теплоносителя, данные по суточной и ежемесячной выработке пара, электроэнергии, баланс теплоносителей по ТЭЦ-2 и т.д.

По результатам проведенных исследований в 2-4 кварталах 2014 года выполнены расчетные обоснования по многоступенчатой теплонасосной станции (ТНС) для системы горячего водоснабжения (ГВС) на объекте АО «ТЭЦ-2» г. Астаны, состоящей из 5 пароконденсионных тепловых насосов ПКТН-3000 с переменными температурами конденсации и постоянными температурами кипения. Суммарная теплопроизводительность 5 ПКТН-3000 составила 17,545 Гкал/час.

На реальном промышленном объекте впервые предлагается использовать для утилизации сбросного тепла градирен станции принципиально новые тепловые насосы (ТН) нового поколения.

Приведенный расчет пятиступенчатого теплового насоса является уникальным, так как термодинамический цикл, по которому работает этот пятиступенчатый ПКТН-3000 (№1-№5) есть ни что иное, как *смоделированный треугольный цикл Лоренца*.

Результаты расчета пятиступенчатого ПКТН-3000 подтверждают это утверждение. В частности, полученное при расчетах пятиступенчатого ПКТН-3000 (№1-№5) значение коэффициента преобразования ($\phi=8.3$) является весьма высоким, что позволяет достигнуть экономической эффективности, превосходящей эффективность теплоснабжения от ТЭЦ, работающей в теплофикационном режиме.

Для подтверждения значительного превосходства ПКТН-3000 (№1-№5), работающего по циклу, максимально приближенному к *треугольному циклу Лоренца* по сравнению с работой ПКТН-3000, работающей по обратному теплонасосному циклу Ренкина, в работе также проведен сравнительный расчет одноступенчатого ПКТН с тепловой мощностью, равной суммарной мощности 5 ПКТН-3000.

Произведен расчет определения стоимости полученного теплонасосного тепла. Получено, что *стоимость полученного теплонасосного тепла* будет в 1.833 раза ниже *стоимости тепла от ТЭЦ*.

Проведено исследование энергетической, экономической и экологической эффективности применения ТН нового поколения с использованием теплоты циркуляционных вод конденсаторов турбин действующей АО «ТЭЦ-2» г. Астаны.

Таким образом, проведенные исследования подтвердили, что применение ТН нового поколения в схеме ТЭЦ с использованием в качестве источника низкопотенциальной теплоты (ИНТ) воды из конденсаторов турбин с температурой до $+35^{\circ}\text{C}$, направляемой вместо градирен на испарители ТН, позволит обеспечить подачу в схему ТЭЦ воды с температурой до 85°C и выше, обеспечить достаточно высокую эффективность (средний коэффициент преобразования энергии $\phi=8.3$).

Полученные результаты используются при разработке технико-экономического обоснования проекта внедрения ТН нового поколения на крупнейшей действующей ТЭЦ-2 г. Астаны и проведении запланированных опытно-промышленных испытаниях ТНС (2015 – 2017 годы).

Внедрение теплонасосных технологий нового поколения на действующих и запроектированных к строительству ТЭЦ, АЭС Республики Казахстан позволит обеспечить прирост теплогенерирующих мощностей, не увеличивая при этом потребления первичного топлива (угля, мазута), снижая выбросы в окружающую среду.

Особо следует отметить, что за счет внедрения ТН могут быть также реализованы колоссальные ресурсы повышения энергоэффективности, имеющиеся на нефтеперерабатывающих и нефтехимических производствах, машиностроительных, металлургических заводах, на предприятиях стройиндустрии, сельском хозяйстве и др., т. е. именно на тех типах производств, которые в настоящее время лидируют в промышленных секторах страны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Петин, Ю. М.** Опыт десятилетия производства тепловых насосов в ЗАО «Энергия» // Энергетическая политика. – 2001. – Вып.3. – С. 28-33.

2 **Петин, Ю. М., Алимгазин, А. Ш., Севидов, Г. П.** Внедрение эффективных энергосберегающих технологий с применением теплонасосных установок путем утилизации низкопотенциальной теплоты технологических процессов на предприятиях Республики Казахстан //Материалы Международной научно-практической конференции «Техника и технологии для защиты окружающей среды». – Усть-Каменогорск : ВКГТУ, 2005. – С. 189-191.

3 **Бурдуков, А. П., Петин, Ю. М.** Тепловые насосы для России: технология использования геотермального и сбросного тепла предприятиями // Оборудование. Разработки. Технологии. – 2007. – № 7(07). – С. 27-32.

4 **Алимгазин, А. Ш.** Новые энергосберегающие теплонасосные системы теплоснабжения различных объектов в Республике Казахстан //Вестник Национальной Академии Наук Республики Казахстан. – 2009. – №4. – С. 22-25.

5 **Алимгазин, А. Ш., Петин, Ю. М., Кислов, А. П.** Пути повышения энергетической эффективности теплонасосных технологий в Республике Казахстан // Вестник ПГУ им. С. Торайгырова, серия «Энергетика». – 2010. – № 2. – С. 25-39.

6 **Алимгазин, А. Ш., Алимгазина (Бахтиярова) С. Г.** Разработка технологий и внедрение теплонасосных систем теплоснабжения жилых, общественных и производственных зданий в Республике Казахстан с

использованием нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. – Астана : Изд-во «Арт-принт», 2010. – 171 с.

7 Алимгазин, А. Ш. Разработка схем и технологий использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии для теплоснабжения изолированных объектов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / АУЭиС. – Алматы, 2010. – С. 44.

8 Патент РФ на изобретение №2454608. Способ горячего водоснабжения и способ отопления с его использованием. – Гос.реестр изобретений Российской Федерации./ Петин Ю. М., Шаманаев С. Н., Опарин Е. В., Голодников Б. С.; зарегистрировано 27.06.2012 г.

9 Алимгазин, А. Ш., Алимгазина, С. Г. Теплонасосные технологии для теплоснабжения различных объектов. Опыт Республики Казахстан. – АВОК. – Энергосбережение. – №8. – 2013. – С. 68-73.

10 Деянин, Д. Н., Пищиков, С. И., Соколов, Ю. Н. Разработка и испытание на ТЭЦ-28 ОАО «Мосэнерго» лабораторного стенда по апробации схем использования тепловых насосных установок в энергетике // Новости теплоснабжения. – 2000. – №1.

11 Рей, Д., Макмайкл, Д. Тепловые насосы /пер. с англ. – М. : Энергоиздат, 1982. – 224 с.

Материал поступил в редакцию 31.03.15.

*А. Ш. Алимгазин¹, С. Г. Алимгазина¹, Ю. М. Петин², А. П. Кислов³,
Д. Т. Амренова³*

Астана қаласының ТЭЦ-2-де қосымша жылу энергиясын шығаруға арналған дәстүрлі емес энергия көздерін пайдаланумен жаңа заманғы жылу сорғысын пайдалану

¹Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті. Астана қ.;

²«Энергия» ЖАҚ. Ресей, Новосибирск қ.;

³С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті. Павлодар қ.;

Материал 31.03.15 баспаға түсті.

*A. Sh. Alimgazin¹, S. G. Alimgazina¹, Yu. M. Petin², A. P. Kislov³,
D. T. Amrenova³*

The use of the new generation thermal pumps with nonconventional energy sources for producing extra thermal energy at TPP-2 of Astana

¹L. N. Gumilyov Eurasian National University. Astana;

²“Energia” CC, Russia, Novosibirsk;

³S. Toraihyrov Pavlodar State University. Pavlodar;

Material received on 31.03.15.

Мақалада қосымша жылу энергиясын шығаруға арналған дәстүрлі емес энергия көздерін пайдаланатын жаңа заманауи жылу сарғыларын қолдану ұсынылған.

The present research proposes introduction of the new generation thermal pumps utilizing nonconventional energy sources for producing extra thermal energy.

УДК 621.484/486

**А. Ш. Алимгазин¹, С. Г. Алимгазина¹, А. П. Кислов²,
С. Г. Рахмалина²**

¹Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана;

²Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар

О ПЕРСПЕКТИВАХ И ПРОБЛЕМАХ ВНЕДРЕНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕПЛОАСОСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Авторы предлагают к рассмотрению вопрос о перспективах и проблемах внедрения энергосберегающих и энергоэффективных теплонасосных технологий в Республике Казахстан.

Ключевые слова: энергосбережение, теплонасосные технологии, инфраструктура, технологический процесс.

Масштабная программа развития страны, представленная Н. Назарбаевым в новой экономической политике Казахстана «Нұрлы Жол», требует решения актуальных проблем развития индустриальной и энергетической инфраструктуры, модернизации ЖКХ и сетей тепло- и водоснабжения. В связи с этим возникает необходимость активного внедрения новейших инновационных технологий, разработанных отечественными учеными, инженерами и специалистами.

К их числу уверенно можно отнести энергосберегающие теплонасосные технологии с использованием нетрадиционных и возобновляемых источников энергии (НВИЭ), которые являются прорывными технологиями XXI века, нашедшими широкое применение в развитых странах мира.

Источниками низкопотенциальной теплоты (с температурой плюс 5⁰С-45⁰С) могут быть грунтовая вода, подземные грунты, вода оборотных циклов ТЭС, промышленных установок, сточные воды очистных сооружений и др.

Несмотря на то, что тепловые насосы (ТН) во многих развитых странах мира давно признаны как *эффективный инструмент энергосбережения и активно используются*, так, например, в мире работает порядка 90 млн. ТН, ежегодно выпускаются около 3 млн. машин в США, Японии, КНР, Германии, Швеции и др. странах, их применение в Республике Казахстан в этой области находится на уровне 70-годов XX века.

Ведь, по данным Мирового Энергетического Агентства (МЭА), к 2020 году за счет применения геотермальных теплонасосных технологий в развитых странах мира будет обеспечиваться около 75 % отопления. К этому рубежу подошли уже Швеция (более 70 %), близки США, Япония, КНР и др. (около 40-50 % и выше), а доля Казахстана составляет примерно 0,01 %!

Проведенный анализ научных исследований по применению тепловых насосов за рубежом и в странах СНГ показал:

- энергосберегающий и, главное, экономический эффект от внедрения ТН может оказаться колоссальным;

- внедрение ТН во всех странах рассматривается как одно из перспективных направлений энергосберегающей политики, в реализации которой участвуют государства и крупные фирмы;

- широкое применение ТН за рубежом в немалой степени объясняется тем обстоятельством, что они дают возможность экономии дефицитного дорогостоящего жидкого топлива.

В Республике Казахстан, как и в других странах СНГ, внедрение ТН не получило достаточно широкого распространения по целому ряду причин (относительно низкая стоимость органического топлива до середины 90-х годов XX века, ориентация на централизованное теплоснабжение, отсутствие необходимого оборудования, квалифицированных специалистов).

В настоящее время в Республике Казахстан применение теплонасосных технологий практически находится на начальной стадии, практически отсутствуют заводы по производству ТН в промышленном масштабе, сервисные центры по их обслуживанию. В стране, по оценкам специалистов, всего работает всего порядка 450-500 ТН различной мощности (от 4 кВт до 3 МВт) в промышленном секторе, на объектах бюджетной сферы, малого и среднего бизнеса.

В Республике Казахстан большую потребность во внедрении теплонасосных технологий имеют объекты бюджетной сферы, ЖКХ, административные здания и сооружения, затраты на теплоснабжение которых соизмеримы со стоимостью ТН. Государственные организации и учреждения

являются наиболее приоритетным рынком, так как социально значимые объекты финансируются за счет бюджетных средств (школы, детские сады, больницы и т.д.).

Также одним из перспективных направлений эффективного использования ТН является направление, связанное с *утилизацией низкотемпературных тепловых отходов технологических процессов промышленных предприятий* (сбросные воды предприятий, вода из системы оборотного водоснабжения и т.п.) с целью снижения вредных выбросов в атмосферу и одновременным получением теплоты более высоких параметров.

Важнейшей предпосылкой для применения ТН являются огромные выбросы низкопотенциальной теплоты, прежде всего системой охлаждения технической воды на тепловых электростанциях, увеличивающиеся в период снижения тепловой нагрузки в неотапительный период.

В Республике Казахстан действует 37 ТЭЦ, на которых в существующих системах оборотного водоснабжения сбрасывают с охлаждающей водой 45-55 % энергии топлива. Также промышленные предприятия (металлургия, нефтехимия, машиностроение и др.) потребляют в градирнях огромное количество воды (десятки тысяч м³/час) для охлаждения машин и рабочих тел в различных технологических процессах.

Таким образом, широкомасштабное применение в Республике Казахстан теплонасосных технологий позволит вернуть в системы теплоснабжения городов значительные объемы безвозвратно теряемого тепла без дополнительного сжигания традиционных видов топлива, что в масштабах всей страны позволит получить существенный экономический эффект, при этом уменьшая тепловое загрязнение окружающей среды.

В качестве примера расчета экономической эффективности от возможного применения ТН для бюджетных объектов приведены данные по экономическому эффекту от применения ТН на объектах Департамента образования акимата ВКО (2006 г.). В результате проведенных исследований установлено, что на балансе Департамента образования ВКО имеется 804 учреждения:

- в 310 школах теплоснабжение осуществляется от собственных угольных котельных, суммарные затраты на теплоснабжение в которых составляют (цены 2006 г.) 3 720,08 млн. тенге;

- свыше 300 школ переданы на баланс других организаций, суммарные затраты на теплоснабжение в которых составляют (цены 2006 г.) 3 049,45 млн. тенге.

Из проведенных расчетов следует, что при переводе 310 школ с собственными угольными котельными на теплонасосное теплоснабжение, суммарные затраты составят 3 383,525 млн. тенге, т.е. фактически капитальные затраты на внедрение ТН в 310 школах области примерно окупятся в течение

1 года, и далее в последующие годы в бюджет области должен получить ежегодную экономию 3 720,0 млн. тенге. И если определить примерный годовой эффект по всем областям страны, далее учесть аналогичные затраты по другим департаментам и административных зданиям Министерства образования и науки РК, то получится очень значительная сумма в масштабах одного Министерства!

Таким образом, можно смело утверждать (а практический многолетний опыт этот факт подтверждает!), что внедрение теплонасосных технологий с использованием НВИЭ для повышения энергоэффективности теплоснабжения бюджетных объектов в масштабе все страны дает значительный экономический эффект. 2- 4 кратное уменьшение затрат на эксплуатацию по сравнению с традиционными котельными на твердом и жидком видах топлив.

Возникает естественный вопрос: а почему столь эффективные энергосберегающие и экологически чистые технологии не находят широкого применения в нашей стране, тем более, что в перспективе проведения в 2017 году в Республике Казахстан Международной выставки ЕХРО-2017 все новейшие и перспективные разработки в области энергетики и энергосбережения должны активно внедряться во всех сферах и отраслях нашей экономики?

По мнению ведущих отечественных и российских специалистов, одной их основных причин слабого применения ТН в Республике Казахстан является *практически полное отсутствие* в Постановлениях Правительства, основных Программных документах по энергосбережению, применению ВИЭ заключений, выводов о *необходимости применения теплонасосных технологий* в нашей стране для повышения энергоэффективности работы систем теплоснабжения различных объектов и т.д.

Для широкого развития теплонасосных технологий в стране необходимо разработка целевой государственной программы внедрения ТН в Республике Казахстан наряду с другими видами НВИЭ (энергия солнца, ветра, биоэнергетика и др.), чтобы это было отражено в Программных документах (Постановлениях Правительства, областных и региональных акиматов, отраслевых Министерств, нацкомпаний и т.д.) с *обязательным указанием объемов и источников финансирования, сроков реализации проектов* и др.

Необходимо обязать отраслевые Министерства (Министерство энергетики, Министерство инвестиций и развития и др.), крупные промышленные компании, предприятия МСБ, ЖКХ, акиматы включить проекты с ТН в соответствующие Программы энергосбережения.

В Программе развития ТНУ в РК должны быть отражены вопросы организации промышленного производства ТН, подготовки квалифицированных кадров на базе Региональных специализированных центров, открытие специальности (или специализации по существующей

специальности «Теплоэнергетика») по теплонасосным технологиям в ведущих Университетах страны, например, ЕНУ им. Л. Н. Гумилева.

Отсутствие государственной Программы в области развития и внедрения теплонасосных технологий в Республике Казахстан, как показывает наш практический 15 летний опыт работы, существенно тормозит развитие этих технологий.

Можно констатировать, что в последние годы Казахстане наблюдается рост количества небольших фирм и отдельных бизнесменов, которые, не обладая достаточными знаниями и опытом применения ТН, начинают завозить и устанавливать ТН зарубежного производства на объектах малого бизнеса, но не могут обеспечить грамотное обслуживание установленных машин, что приводит к частому их выходу из строя и т.д., росту рекламаций и претензий у заказчиков, недоверию к этому виду уникального отопительного оборудования.

В Республике Казахстан, благодаря усилиям и действиям группы специалистов в этой области, в первую очередь, д.т.н., проф. Алимгазина А. Ш. (НИИ «Энергосбережение и энергоэффективные технологии» ЕНУ им. Л. Н. Гумилева), разработаны научно-практические основы применения теплонасосных технологий с использованием НВИЭ, подготовлены и утверждены в Агентстве по Делах строительства (2009-2010 г.) нормативные документы по ТН. В настоящее время в НИИ «Э и ЭТ», одном из основных центров страны по проведению исследований в области применения теплонасосных технологий, активно разрабатываются проекты по внедрению этих технологий на объектах бюджетной сферы, ЖКХ, ряде промышленных предприятий.

Разработанная в последние годы совместно с ведущими российскими специалистами технология применения ТНУ нового поколения с использованием в качестве источника низкопотенциальной теплоты воды из конденсаторов турбин планируется внедрять в ряде крупных городов страны.

Также можно отметить, что, согласно Программы энергосбережения АО «НК «Казахстан Темир Жоль» планируется совместно с Европейским банком реконструкции и развития применение ТН на 14 объектах компании (2015-2016 годы) суммарной тепловой мощностью 1,421 МВт.

В настоящее время проводятся переговоры с руководством АО «НК «Астана ЭКСПО-2017» по применению теплонасосных технологий с для теплоснабжения строящихся объектов ЕХРО-2017, демонстрации достижений отечественных ученых в этой области, в частности, по применению тепловых насосов нового поколения, не имеющих аналогов в мире и существенно повышающих эффективность ТН в сложных климатических условиях Казахстана.

Применение ТНУ перспективно практически в любых климатических регионах Республики Казахстан в комбинированных схемах в сочетании с другими технологиями использования ВИЭ (солнечные, ветровые) в централизованных и локальных системах тепло-и холодоснабжения.

В целом, тепловые насосы позволяют одновременно решать такие проблемы, как энергосбережение, уменьшение вредных выбросов в окружающую среду, экономия энергетических ресурсов и улучшение условий работы теплоэнергетических производств.

Материал поступил в редакцию 31.03.15.

А. Ш. Алимгазин¹, С. Г. Алимгазина¹, А. П. Кислов², С. Г. Рахмалина²

Қазақстан Республикасында энергия үнемдеуші және энерготімді жылу сарғын технологияларын ендірудің мәселелері мен болашағы жайлы

¹Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ.:

²С. Торайғыров атындағы

Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.:

Материал 31.03.15 баспаға түсті.

A. Sh. Alimgazin¹, S. G. Alimgazina¹, A. P. Kislov², S. G. Rakhmalina²

On the prospects and challenges of implementation of energy saving and energy efficient thermal pump technologies in the Republic of Kazakhstan

¹L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana:

²S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar;

Material received on 31.03.15.

Авторлар Қазақстан Республикасында энергияүнемдеуші және энерготімді жылу сарғыларын ендірудің мәселелері мен болашағы жайлы мәселелерді қарастыруды ұсынады.

The authors suggest the review of the prospects and challenges of implementation of energy saving and energy efficient thermal pump technologies in the Republic of Kazakhstan.

УДК 621.311.22, 621.484/486

**А. Ш. Алимгазин¹, С. Г. Алимгазина¹, Ю. М. Пётин²,
А. П. Кислов³, Д. Т. Амренова³**

¹Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана;

²ЗАО «Энергия», г. Новосибирск, Россия; ³Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ УТИЛИЗАЦИИ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

В статье анализируется разработка технологий утилизации низкопотенциального тепла с использованием тепловых насосов нового поколения.

Ключевые слова: низкопотенциальное тепло, теплоэнергетика, тепловой насос, технологии утилизации, обратный цикл Ренкина, цикл Лоренца.

Рассмотрены способы и технологии утилизации низкопотенциального тепла с температурой $+3^{\circ}\text{C} \div +45^{\circ}\text{C}$, которые непосредственно в теплоснабжении использованы быть не могут. Источниками тепловой энергии для тепловых насосов (ТН) в Казахстане могут быть:

- естественные природные источники: геотермальная энергия, тепло естественных и искусственных водоемов, тепло грунта и воздуха;
- теплота оборотной воды всех устройств;
- теплота вентиляционных выбросов и другие.

Широкое применение для таких источников первичной тепловой энергии нашли парокомпрессионные ТН, работа которых осуществляется по «обратному» циклу Ренкина [1-8]. Максимально низкая температура наружного воздуха, при которой ТН с обратным циклом Ренкина может работать в системе отопления длительно и с положительной экономической эффективностью, всего -3°C . Допускается кратковременное (не более 15% от рабочего ресурса) использование ТН при температуре наружного воздуха до -7°C . При переходе к «бивалентной» системе (при которой в систему снабжения с ТН включается другой источник тепловой энергии, способный нагревать воду до требуемого уровня температур по климатическим условиям: котельная, ТЭЦ, электрический нагрев и другие) система с ТН может использоваться вплоть до температур наружного воздуха на уровне

-16°C. Такие температуры наружного воздуха характерны, в основном, для южной части Казахстана. Однако, в «бивалентной» системе требуется, чтобы доля тепла, производимого ТН была не менее 75÷80 %.

Из анализа данных [1 - 8] следует, что максимальная температура воды, получаемая в ТН, работающих по циклу Ренкина, находится в пределах 52-58°C. При переходе к более высоким температурам получаемой воды процесс становится экономически не эффективным.

Для снабжения горячей водой требуется вода с температурой на уровне 65°C. Для отопительных систем стран с более холодными зимами (северные, центральные, восточные регионы Казахстана и России) требуется вода с температурой до 100°C.

Экономическая эффективность использования ТН существенно зависит от числа часов работы, в связи с этим они в большинстве случаев применяются для снабжения горячей водой (около 70 %), что приводит к сроку окупаемости технологии на уровне 2-4 года. Эффективность применения ТН для отопления оказалась заметно меньшей, поэтому они нашли меньшее применение (около 30 %). Это также связано с тем, что в странах, в которых они нашли широкое применение (Западная Европа, США, Япония и другие), продолжительность отопительного периода относительно мала (на уровне 3000 часов) при с более «мягких» зимах (температура наружного воздуха, как правило, не превышает – 10°C) [1-3]. При более низких температурах наружного воздуха использование ТН с обратным циклом Ренкина в системах с автономным отоплением становится экономически неприемлемым [4-8].

В регионах с континентальным и резко континентальным климатом, количество тепла, используемого на отопление, в несколько раз превосходит количества тепла, расходуемого на снабжение горячей водой. Это означает, что для «жестких» климатических условий должны разрабатываться ТН других типов.

Устройствами, которые предлагается использовать для утилизации этого тепла, являются принципиально новые ТН. Предлагается парокompрессионный ТН, принцип работы которого точно такой же, как и у всех 40÷45 млн. парокompрессионных ТН в мире, но его работа осуществляется не по традиционному теплонасосному обратному циклу Ренкина, а по принципиально новому треугольному циклу Лоренца, применение которого пока еще нигде в мире практически не осуществлялось [9-12].

Исследования показали, что более высокий уровень температур (нагреваемой воды) может быть достигнут в ТН, работающем по треугольному циклу Лоренца [9-12]. В этом цикле температуры кипения и конденсации не постоянны, как в обратном цикле Ренкина, а переменны. Реализовать такой рабочий цикл по треугольному циклу Лоренца можно при условии, что:

– температура конденсации и кипения рабочего тела строго соответствует изменяющейся температуре источника и нагреваемой воды при фиксированной степени сжатия паров рабочего тела

– разность температур между греющим и нагреваемым агентами (температурный напор) минимальна.

Многие термодинамические исследования показали, что реализация «истинного» треугольного цикла Лоренца практически не представляется возможным [9, 10]. Однако расчеты показали, что путем замены одиночного ТН пароконденсационного цикла Ренкина на многоступенчатую систему, состоящей из нескольких агрегатов этого же цикла, можно приблизить его показатели к показателям треугольного цикла Лоренца [10, 11, 12].

На рисунке 1 представлена T–S-диаграмма системы горячего водоснабжения (ГВС) с ТН, работающей по циклу Ренкина, максимально приближенному к треугольному циклу Лоренца при трехступенчатом нагреве в сравнении с традиционным одноступенчатым циклом [11, 12].

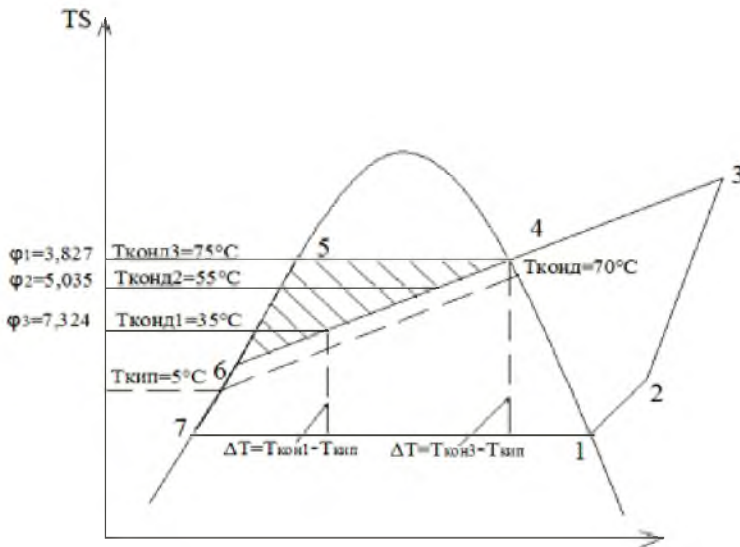


Рисунок 1 – T–S диаграмма системы ГВС при трехступенчатом нагреве в сравнении с традиционным одноступенчатым циклом Ренкина (степень приближения к циклу Лоренца)

1-2-3-4-5-6-7-1 – одноступенчатый традиционный цикл

1-2-3-4-6-7-1 – треугольный цикл Лоренца

6-4-5-6 – экономический эффект

Начальную температуру воды, подаваемой на нагрев, можно выбирать в пределах от 0°C до +15°C, т.к. именно такая начальная температура максимально близка к температуре кипения рабочего тела ТН первой ступени, что является необходимым условием для режима с полезным использованием практически всего тепла перерабатываемого ТН.

При соблюдении указанных режимов в системе снабжения теплом с применением тепловых насосов в целом будет организован цикл, приближенный к циклу Лоренца 1-2-3-4-6-7-1 (рис.1). Расчеты показали, что в этом случае заметно расширяется температурная область, в которой сохраняется экономическая применимость тепловых насосов (заштрихованная область).

Расчетно-экономические показатели цикла Ренкина в системе снабжения горячей водой, реализующей трехступенчатый способ, значительно превосходят показатели системы с одним ТН: при одинаковой температуре нагретой воды на выходе и равной производительности уменьшается удельный расход электроэнергии $Ne_{удел.сред.}$, снижается себестоимость получаемого тепла $C_{тепл.сред.}$ и сокращается срок окупаемости $B_{окуп.}$ и, увеличивается величина коэффициента преобразования φ .

При этом, каждый из ТН трехступенчатой системы работает при своих температурах кипения и конденсации и в результате достигается как бы переменность температур конденсации и кипения. Это, как уже отмечалось, обеспечивает более высокую, по сравнению с одиночным ТН, температуру нагреваемой воды на выходе из системы, при приемлемых затратах. Очевидно, что максимальный эффект будет достигнут при наличии в системе бесконечно большого количества ТН, работающих по циклу Ренкина. Однако это неизбежно приведет к почти бесконечному росту затрат на создание такого аппарата.

Термодинамические и экономические расчеты показали [11, 12], что, при температуре источника тепла от +6°C до +20°C экономически приемлемой может оказаться система, состоящая из от 3 до 6 ступеней.

Повышение температуры исходной воды способствует уменьшению числа ступеней. Эти результаты получены при рассмотрении эффективности применения многоступенчатого агрегата в системе снабжения горячей водой. В системе отопления показатели этих же агрегатов будут ниже примерно на 10 % [11, 12].

Срок окупаемости многоступенчатого (от 3 до 6 ступеней) теплового насоса, работающего по циклу, приближенному к треугольному циклу Лоренца, даже при установке аппаратов относительно более дорогих конструкций (примерно в два раза дороже относительно традиционного аппарата), почти в 2 -3 раза меньше, чем в одиночном парокompрессионном ТН с обратным циклом Ренкина.

Переход на многоступенчатую конструкцию ТН, в связи с получением воды с более высокой температурой, допускает их использование для автономной системы снабжения тепловой энергией (снабжение горячей водой и отопление) жилых и производственных зданий в регионах с «жесткими» климатическими условиями, приближаясь по надежности работ к снабжению от ТЭЦ и котельных даже при экстремально низких температурах. Это означает, что многоступенчатые агрегаты могут быть применены практически на всей территории Казахстана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Хайнрих, Г.** и др. Теплонасосные установки для отопления и горячего водоснабжения /пер. с нем. Н. Л. Кораблевой, Е. Ш. Фельдмана; под ред. Б. К. Явнеля. – М. : Стройиздат. 1985. – 351 с.
- 2 **Рей, Д., Макмайкл, Д.** Тепловые насосы /пер. с англ. – М. : Энергоиздат. 1982. – 224 с.
- 3 Обзор рынка тепловых насосов в Швеции, Финляндии //АВОК. – 2002. – №1. – С. 40-41.
- 4 **Янтовский, Е. И., Пустовалов, Ю. В.** Парокомпрессионные теплонасосные установки. – М. : Энергоиздат. 1982. – 144 с.
- 5 **Везиришвили, О. Ш., Меладзе, Н. В.** Энергосберегающие теплонасосные системы тепло- и хладоснабжения. – М. : Изд-во МЭИ. 1994. – С. 147-155; 160 с.
- 6 **Петин, Ю. М.** Опыт десятилетия производства тепловых насосов в ЗАО «Энергия» // Энергетическая политика. – 2001. – Вып.3. – С. 28-33.
- 7 **Алимгазин, А. Ш., Алимгазина (Бахтиярова) С. Г.** Разработка технологий и внедрение теплонасосных систем теплоснабжения жилых, общественных и производственных зданий в Республике Казахстан с использованием нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. – Астана : Изд-во “Арт-принт”. 2010. – 171 с.
- 8 **Алимгазин, А. Ш., Алимгазина, С. Г.** Теплонасосные технологии для теплоснабжения различных объектов. Опыт Республики Казахстан. – АВОК.- Энергосбережение. – №8. – 2013. – С. 68-73.
- 9 **Мартьяновский, В. С.** Анализ действительных термодинамических циклов. – М. : Энергия. 1972.
- 10 **Алимгазин, А. Ш., Петин, Ю. М., Кислов, А. П.** Пути повышения энергетической эффективности теплонасосных технологий в Республике Казахстан // Вестник ПГУ им. С. Торайгырова. серия «Энергетика». – 2010. – № 2. – С. 25-39.
- 11 **Alimgazin, A. S., Petin, Y. M., Bakhtiyarova, S. G.** Application of energy-containing heat pump technology in heating facilities in different climatic

regions in the Republic of Kazakhstan //Scientific World. – Czech Republic : Prague. 2010. – № 10. – P. 45-44.

12 Алимгазин, А. Ш. Разработка схем и технологий использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии для теплоснабжения изолированных объектов: автореф. дис. ...д-ра техн. наук / АУЭиС. –Алматы, 2010. – С. 44.

Материал поступил в редакцию 31.03.15.

A. Sh. Alimgazin¹, S. G. Alimgazina¹, Yu. M. Petin², A. P. Kislov³, D. T. Amrenova³

Жаңа заманауи жылу сорғыларын пайдаланумен төмен әлеуетті жылу қалдықтарын пайдаланудың технологияларын әзірлеу

¹Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ.;

²«Энергия» ЖАҚ, Ресей, Новосибирск қ.;

³С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.;

A. Sh. Alimgazin¹, S. G. Alimgazina¹, Yu. M. Petin², A. P. Kislov³, D. T. Amrenova³

Development of technologies for low potential heat utilization using new generation thermal pumps

¹L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana;

²“Energia” CC, Russia, Novosibirsk;

³S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar;

Material received on 31.03.15.

Мақалада жаңа заманауи жылу сорғыларын пайдалана отырып төмен әлеуетті жылу қалдықтарын пайдаланудың технологияларын әзірлеу зерттелген.

The article gives analysis to the development of technologies for low potential heat utilization using new generation thermal pumps.

УДК 622.02+532.5

**Е. Аринов¹, К. З. Сартаев², М. К. Байжуманов³,
С. Ж. Карипбаев³**

¹Жезказганский университет имени О. А. Байконурова, г. Жезказган;

²Екибастузский инженерно-технический институт имени К. Сатпаева,

г. Екибастуз; ³АО Академия гражданской авиации, г. Алматы

МЕХАНИЗМ ДЕМПФИРОВАНИЯ НУТАЦИОННЫХ КОЛЕБАНИЙ РОТОРА ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА

Исследовано движение динамически симметричного упругого сплошного ротора электростатического гироскопа в неконтактном подвесе, изготовленного из материалов с более высокой плотностью.

Проведена количественная оценка переходного процесса ротора неконтактного шарового гироскопа, приводящего к стационарному вращению вокруг оси наибольшего момента инерции.

Исследовано движение вязкоупругого ротора в случае двойного вращения. Построена силовая функция и оценены возмущающие моменты для асферизованного ротора ЭСГ.

Получено решение уравнений прецессионного движения шарового гироскопа и проведена количественная сравнительная оценка ухода.

Ключевые слова: Шаровой ротор, электростатический гироскоп, летательный аппарат, неконтактный подвес, уход, углы Эйлера, инерционная сила, деформация, Функция Бесселя, коэффициент внутреннего трения.

Если считать ротор электростатического гироскопа в неконтактном подвесе считать абсолютно твердым, то при отсутствии внешних сил он будет совершать регулярную прецессию Эйлера – Пуансо. Выпишем динамические уравнения Эйлера, описывающие движение ротора электростатического гироскопа относительно центра масс, в трехграннике x :

$$\frac{dL}{dt} + \omega \cdot L = 0 \quad (1)$$

Здесь

L – Вектор кинетического момента ротора относительно центра масс;

ω – вектор угловой скорости трехгранника x .

В случае, когда эллипсоид инерции является эллипсоидом вращения вокруг оси Ox_3 , вследствие чего $I_1 = I_2$ будет больше I_1 и I_2 , если эллипсоид является сжатым, и будет меньше этих величин, если он вытянутый.

Проекция уравнения (1) на ось Ox_3 равна $I_3 \frac{d\omega_3}{dt} = 0$, следовательно, $\omega_3 = b$ – проекция вектора угловой скорости на ось x_3 в начальный момент времени.

Для определения положения ротора относительно неподвижных осей ξ_1, ξ_2, ξ_3 достаточно будет знать три угла Эйлера ϑ, φ, ψ в функции времени, проекции $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ вектора мгновенной угловой скорости вращения ротора на подвижные оси Ox_1, Ox_2, Ox_3 определяются кинематическими уравнениями Эйлера:

$$\omega_1 = \dot{\varphi} \sin \vartheta \sin \varphi + \dot{\vartheta} \cos \varphi ;$$

$$\omega_2 = \dot{\varphi} \sin \vartheta \cos \varphi - \dot{\vartheta} \sin \varphi ;$$

$$\omega_3 = \dot{\varphi} \cos \vartheta + \dot{\psi} ;$$

Для вычисления трех углов Эйлера как функций времени, предположим, что в качестве оси выбрано неизменное направление η_3 кинетического момента L , известное из начальных условий.

Проекции вектора L на подвижные оси равны:

$$I_1 \omega_1 = L \sin \vartheta \sin \varphi$$

$$I_2 \omega_2 = L \sin \vartheta \cos \varphi \quad (2)$$

$$I_3 \omega_3 = L \cos \vartheta$$

Из последнего уравнения (2) видно, что угол ϑ должен оставаться постоянным $\vartheta = \vartheta_0$, при этом $\cos \vartheta = bI_3/L$. Учитывая выражения для проекции вектора мгновенной угловой скорости вращения ротора на подвижные оси Ox_1, Ox_2, Ox_3 и для осе симметричного ротора ($I_1 = I_2$) имеем

$$\frac{d\psi}{dt} = \frac{L}{I_1} ; \quad \frac{d\varphi}{dt} = \frac{(I_2 - I_1)}{I_1} \frac{L}{I_3} \cos \vartheta$$

Следовательно, ψ и φ изменяются пропорционально времени:

$$\psi = \frac{L}{I_1} t; \quad \varphi = \frac{\pi}{2} - \vartheta t \quad (3)$$

где

$$\vartheta = b \frac{(I_3 - I_1)}{I_1}, \quad b = \frac{L}{I_3} \cos \vartheta$$

Мгновенная угловая скорость вращения $\overline{\omega}$ есть геометрическая сумма трех угловых скоростей $\dot{\vartheta}$, $\dot{\varphi}$, $\dot{\psi}$, направленных соответственно вдоль OI , $O\eta_3$, Ox_3

В рассматриваемом случае $\dot{\vartheta}$ равно нулю, $\dot{\varphi}$ и $\dot{\psi}$ постоянны. Геометрическое место мгновенных осей вращения ω в роторе гироскопа есть круговой конус с осью Ox_3 .

Геометрическое место мгновенных осей в пространстве есть круговой конус с осью $O\eta_3$. Движение ротора гироскопа получается как результат равномерного качения одного конуса по другому.

При отсутствии внешних сил кинетический момент L имеет фиксированное направление и постоянную величину

$$L = [(I_1 a)^2 + (I_3 b)^2]^{1/2} \quad (4)$$

здесь $a = \frac{L}{I_1} \sin \vartheta$ – проекция вектора угловой скорости $\overline{\omega}$ на ось Ox_1 в начальный момент времени.

Учитывая (2) и (3), получим для проекций угловой скорости на подвижные оси Ox_1 , Ox_2 , Ox_3 следующие уравнения

$$\omega_1 = a \cos \vartheta t; \quad \omega_2 = a \sin \vartheta t; \quad \omega_3 = b; \quad (5)$$

Движение (3) - (5) примем в качестве порождающего решения задачи, а влияние упругости ротора в соответствии с идеями метода возмущения будем рассматривать как малое возмущение эйлерова движения.

Плотность силы инерции \mathbf{F} определяется по формуле

$$\mathbf{F} = -\rho [\omega \cdot \mathbf{R}(\omega \cdot \mathbf{r}) + \mathbf{R}\omega \cdot \mathbf{r} + w_0 + \mathbf{u}' + 2\omega \cdot \dot{\mathbf{u}}]$$

Здесь первые три слагаемых – переносное ускорение, четвертое слагаемое – относительное ускорение, последнее – кориолисово ускорение.

Будем пренебрегать в выражении для силы \mathbf{F} малыми членами $\dot{\mathbf{u}}$ и $2\omega \cdot \dot{\mathbf{u}}$, это означает, что пренебрегаем собственными колебаниями упругого тела, так как предполагаем что частота собственных колебаний намного больше угловой скорости вращения. Так как рассматривается

свободное движение тела, то абсолютное ускорение центра инерции деформируемого тела равно нулю, следовательно, переносное ускорение центра масс тоже будет равно нулю.

Тогда

$$F = -\rho R \{ [\dot{\omega} \cdot r] + \dot{\omega}(\omega \cdot r) - \omega^2 r \} \quad (6)$$

Проектируя вектор (1.6) на подвижные оси Ox_1 , Ox_2 , Ox_3 с учетом (1.5), имеем

$$F_1 = -\rho R [-(b^2 + a^2 (\sin vt)^2)x_1 + 0.5a^2 x_2 \sin 2vt + a(b + v)x_3 \cos vt]$$

$$F_2 = -\rho R [0.5a^2 x_1 \sin 2vt - (b^2 + a^2 \cos vt)x_2 + a(v + b)x_3 \sin vt]$$

$$F_3 = -\rho R [a(v - b)x_1 \cos vt + a(v - b)x_2 \sin vt - a^2 x_3]$$

Здесь координаты x_i являются безразмерными, отнесенными к радиусу ротора R .

В трехграннике x_1, x_2, x_3 введем сферическую систему координат r, α, β ($0 \leq r < R$, $0 \leq \alpha \leq \pi$, $0 \leq \beta \leq 2\pi$.) с полярной осью x_1 . Матрица C направляющих косинусов между системой координат x_1, x_2, x_3 и единичными векторами e_α, e_β сферической системе координат имеет вид

$$C = \begin{vmatrix} \sin \alpha \cos \beta & \sin \alpha \sin \beta & \cos \alpha \\ \cos \alpha \cos \beta & \cos \alpha \sin \beta & -\sin \alpha \\ -\sin \beta & \cos \beta & 0 \end{vmatrix} \quad (7)$$

Принимая во внимания (7), перепроектируем (6) на оси сферической системы координат r, α, β в результате получим

$$F_r = -\rho r R \left[-\left(b^2 + a^2/2 \right) + \left(b^2 - a^2/2 \right) (\beta) (\cos \alpha)^2 + a b \sin 2\alpha \cos (\theta t - \beta) + 0.5 a^2 (\sin \alpha)^2 \cos (2\theta t - 2\beta) \right];$$

$$F_\alpha = -\rho r R \left[-\left(b^2 - a^2/2 \right) \sin \alpha \cos \alpha + a(\theta = b) \cos 2\alpha \cos (\theta t - \beta) + 0.5 a^2 \sin \alpha \cos \alpha \cos (2\theta t - 2\beta) \right] \quad (8)$$

$$F_\beta = -\rho r R \left[-a(b + \theta) \cos \alpha \sin (\theta t - \beta) + 0.5 a^2 \sin \alpha \sin (2\theta t - 2\beta) \right]$$

Для реальных конструкций неконтактных гироскопов отношение $(I_3 - I_1) / I_1$ не превосходит 0.1, поэтому слагаемые с множителем v в (8) оказываются малыми [2]. Если пренебречь в (8) членами с множителем v , то непосредственным вычислением можно убедиться, что силы (8) потенциальны

$$F = -\text{grad}\pi, \pi = -\frac{R^2}{3} \rho \omega^2 r^2 [1 - P_2(\alpha)] \quad (9)$$

$$\alpha = [a^* \sin \alpha \cos(\beta - \theta t) + b^* \cos \alpha]$$

здесь $P_2(\alpha) = (3\alpha^2 - 1)/2$ полином Лежандра. $a^* = a/\omega$ $b^* = b/\omega$.

Так как период свободных упругих колебаний ротора оказывается много меньше периода обращения ротора вокруг центра масс, то вектор перемещений его точек $u(u_r, u_\alpha, u_\beta)$, вызванных наличием инерционных сил (8), можно найти как решение квазистационарной задачи пространственной теории упругости [1]

$$\frac{2(1-\mu)}{(1-2\mu)} \text{grad div } u - \text{rot rot } u - \frac{R^2}{G} \text{grad}\pi = 0 \quad (10)$$

$$\sigma_{ij} n_j |_{r=R} = 0 \quad (11)$$

где μ – коэффициент Пуассона, G – модуль сдвига, $n(n_1, n_2, n_3)$ – нормаль к поверхности ротора, σ_{ij} – компоненты тензора напряжений. При решении (10), (11) будем пренебрегать изменением плотности в экваториальной плоскости ротора и ограничимся нахождением перемещений для однородного шара.

Введем систему координат z_1, z_2, z_3 , начало которой совпадает с центром масс ротора, а вектор $\overline{\omega}$ угловой скорости ротора направлен по оси z_3 . В трехграннике z_1 введем сферические координаты α, β с полярной осью z_3 . Тогда задача (10), (11) сводится к определению вектора перемещений u_r, u_α, u_β который имеет место при вращении тела вокруг «неподвижной» оси z_3 . Воспользовавшись известными результатами из [1], получим

$$u_r = \frac{\rho \omega^2 R^3}{3G(7+5\mu)} [(1+\mu)r^3 - (3+2\mu)R^2 r] P_2(\alpha) \quad (12)$$

$$u_\alpha = \frac{\rho \omega^2 R^3}{6G(7+5\mu)} [(2+\mu)r^3 - (3+2\mu)R^2 r] \frac{\partial P_2(\alpha)}{\partial \alpha}$$

$$u_\beta = \frac{\rho \omega^2 R^3}{6G(7+5\mu)} [(2+\mu)r^3 - (3+2\mu)R^2 r] \frac{1}{\sin \alpha} \frac{\partial P_2(\alpha)}{\partial \beta} \quad (13)$$

Воспользовавшись (9) для полинома Лежандра $P_2(\alpha)$, входящего в (13), будем иметь

$$P_2(\alpha) = \frac{1}{2} \left\{ \frac{3}{\omega^2} \left[\frac{a^2}{2} + \left(b^2 - \frac{a^2}{2} \right) (\cos \alpha)^2 + ab \sin 2\alpha \cos(\beta - \theta t) + \frac{a^2}{2} (\sin \alpha)^2 \cos(2\theta t - 2\beta) \right] - 1 \right\} \quad (14)$$

Заметим, что в формулах (14) опущены постоянные во времени слагаемые, описывающие центральносимметричную деформацию ротора. Эти слагаемые не влияют на его периодические деформации и, следовательно, являются для нас в дальнейшем несущественными.

Дифференцируя формулу (13) по времени, находим компоненты относительной скорости точек ротора гироскопа

$$\begin{aligned}\dot{u}_r &= \frac{P}{G} \nu D(r) [ab \sin 2\alpha \sin(\nu t - \beta) + a^2 (\sin \alpha)^2 \sin(2\nu t - 2\beta)] \\ \dot{u}_z &= \frac{P}{G} \nu C(r) [ab \cos 2\alpha \sin(\nu t - \beta) + \frac{a^2}{2} \sin 2\alpha \sin(2\nu t - 2\beta)] \\ \dot{u}_\beta &= \frac{P}{G} \nu C(r) [ab \cos \alpha \cos(\nu t - \beta) + a^2 \sin \alpha \cos(2\nu t - 2\beta)]\end{aligned}\quad (15)$$

где

$$\begin{aligned}D(r) &= \frac{R^3}{2(7 + 5\mu)} [(1 + \mu)r^3 - (3 + 2\mu)r]; \\ C(r) &= \frac{R^3}{2(7 + 5\mu)} [(2 + \mu)r^3 - (3 + 2\mu)r];\end{aligned}$$

Таким образом, ротор гироскопа при угле нутации $\theta \neq 0$, $\theta \neq \pi/2$ испытывает циклическую нагрузку, которая приводит к рассеянию энергии. Для оценки потерь энергии предположим, что внутреннее трение в материале подчиняется гипотезе Кельвина - Фойгта, и введем диссипативную функцию Рэлея.

Диссипативная функция, описывающая внутреннее трение, должна обращаться в нуль, если в теле отсутствует внутреннее движение, в частности, если тело совершает только поступательное или вращательное движение как целое, т. е. она должна зависеть не от самой скорости, а от ее градиента [1]

$$\Phi = \frac{1}{2} \int [\lambda^* \dot{\varepsilon}^2 + G^* (\dot{\varepsilon}_{rr}^2 + \dot{\varepsilon}_{\alpha\alpha}^2 + \dot{\varepsilon}_{\beta\beta}^2) + 2G^* (\dot{\varepsilon}_{r\alpha}^2 + \dot{\varepsilon}_{r\beta}^2 + \dot{\varepsilon}_{z\beta}^2)] dv \quad (16)$$

Здесь λ^* , G^* - коэффициенты вязкого трения в материале ротора $\dot{\varepsilon} = \dot{\varepsilon}_{rr} + \dot{\varepsilon}_{\alpha\alpha} + \dot{\varepsilon}_{\beta\beta}$, $\dot{\varepsilon}_{rr}$, ..., $\dot{\varepsilon}_{\alpha\beta}$ - скорости деформации, интегрирование в (16) ведется по всему объему ротора. (Коэффициенты, λ^* , G^* в дальнейшем считаются малыми в том смысле, что время затухания 2^* собственных упругих колебаний ротора много больше периода упругих колебаний ротора T_0 . В тоже время для корректности проводимых в дальнейшем построений будет считать, что T много меньше характерного времени движения ротора относительно центра масс.)

Для оценки коэффициентов вязкого трения G^* и λ^* , входящих в (16), предположим, что тензоры коэффициентов упругости и коэффициентов вязкости подобны. При таком предположении

$$\lambda^* = \frac{2\mu}{1-2\mu} G^* \quad (17)$$

Рассмотрим центрально симметричные собственные колебания шара при наличии внутреннего трения. В этом случае функция радиального перемещения $u = u(r,t)$ удовлетворяет уравнению Ламе [1]

$$\frac{2}{R^2} \frac{1-\mu}{1-2\mu} \mathcal{L}[Gu + G^*u] - \rho \ddot{u} = 0 \quad (18)$$

$$\mathcal{L} = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial}{\partial r} - \frac{2}{r^2} \quad (19)$$

граничному условию

$$\sigma_r |_{r=R} = 0 \quad (20)$$

Решение уравнения (18) после разделения переменных имеет вид

$$u(r,t) = \left(\frac{R}{kr}\right)^{\frac{1}{2}} J_{\frac{3}{2}}\left(\frac{kr}{R}\right) \exp(i\chi t) \quad (21)$$

$$k^2 = \frac{R^2(1-2\mu)}{2(1-\mu)} \frac{\rho}{(G+G^*\chi)} \quad (22)$$

Здесь $J_{\frac{3}{2}}(z) = \left(\frac{2}{\pi z}\right)^{1/2} \left(\frac{\sin z}{z} - \cos z\right)$ – Функция Бесселя с половинным индексом.

Выражая напряжение σ_r через перемещение $u(r,t)$ из граничного условия (20) получаем трансцендентное уравнение для определения параметра k

$$\operatorname{tg} k = \frac{\kappa}{1-\delta k^2}; \quad \delta = \frac{(1-\mu)}{2(1-2\mu)} \quad (23)$$

Первый положительный корень уравнения (23) лежит в интервале $\frac{\pi}{2} < k_1 < \pi$. В частности, при $\mu = 0.3\delta = 0.875$, $k_1 \approx 2.67$. Будем считать значение k_1 известным и из уравнения (23) найдем

$$\chi = \chi_1 + \frac{\chi_1^2 G^*}{2G}; \quad \chi_1^2 = \kappa_1^2 \left(\frac{2G(1-\mu)}{\rho R^2(1-2\mu)}\right), \quad (24)$$

где χ – первая собственная частота упругих колебаний ротора. При выводе формулы (24) было учтено, что $G^* \ll G/\chi$

Если обозначить через η логарифмический декремент затухания колебаний ротора, то согласно (24), имеем

$$\eta = \frac{\pi G^*}{G} \chi_1$$

Поэтому в качестве оценки коэффициента вязкого трения можно использовать соотношение

$$G^* = \frac{\eta R}{\pi \kappa_1} \left(\frac{\rho G (1 - 2\mu)}{2(1 - \mu)} \right)^{1/2} \quad (25)$$

Кинетическая энергия динамически симметричного твердого тела, движущегося относительно неподвижной точки, определяется выражением

$$T = \frac{L^2}{2} \left(\frac{\sin^2 \theta}{I_1} + \frac{\cos^2 \theta}{I_3} \right) \quad (26)$$

Поэтому, имея в виду, что момент внешних сил относительно центра масс ротора гироскопа равен нулю ($L = \text{const}$) и дифференцируя формулу (26), получим уравнение для угла нутации ν

$$\dot{\theta} = \frac{2I_1 I_3 \dot{\nu}}{(I_3 - I_1) L^2 \sin 2\theta}$$

Известно, что скорость убывания механической энергии системы равняется удвоенной диссипативной функции Φ , поэтому приходим к следующему дифференциальному уравнению для угла нутации гироскопа

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} = \frac{4\pi(I_3 - I_1)G^* \rho^2 R^7 L^4 f(\mu)}{15I_3^3 I_1^3 G^2} \sin \theta \cos \theta \left(\frac{I_3^2 \sin^2 \theta}{I_1^2} + \cos^2 \theta \right) \quad (27)$$

$$f(\mu) = \frac{4}{G^*} F(\mu) = \frac{707\mu^2 + 2016\mu + 1437}{105(7 + 5\mu)^2} \quad (28)$$

Если ввести безразмерное время по формуле

$$t = \tau t: \tau = \frac{15I_1^3 I_3^3 G^2}{4\pi(I_3 - I_1)G^* \rho^2 R^7 L^4 f(\mu)} \quad (29)$$

и обозначить через $s = I_3^2/I_1^2$, $z = \operatorname{tg}^2 \nu$ то полученное уравнение можно преобразовать к виду

$$\frac{(1+z)dz}{2z(1+sz)} = -dt$$

Следовательно, вековая эволюция угла нутации будет определяться уравнением

$$\operatorname{tg}^{2s} \vartheta (1 + 3\operatorname{tg}^2 \vartheta^0)^{s-1} = \operatorname{tg}^{2s} \vartheta^0 (1 + s \operatorname{tg}^2 \vartheta)^{s-1} \exp(-2st) \quad (30)$$

Здесь ν^0 начальное значение угла между осью симметрии ротора x_3 и осью η_3 . На рис. 2.3 представлена графическая зависимость угла нутаций от времени.

Определение угла нутации позволяет определить скорость совмещения оси динамической симметрии с вектором кинетического момента, то есть скорость демпфирования, и сделать заключение о времени, необходимом для подготовки прибора к работе.

Для ротора со сплюснутым эллипсоидом инерции $I_3 > I_1$ угол нутации ϑ убывает с течением времени. Таким образом, при движении ротора вокруг центра масс динамическая ось симметрии ротора x_3 стремится совпасть с осью η_3 , по которой направлен вектор кинетического момента. Формула (25) позволяет оценивать движение оси симметрии ротора во время его раскрутки. Подстановка параметра G^* , определяющего внутреннее трение, в постоянную времени приводит к следующему окончательному результату

$$\tau = \frac{15I_1^3 I_3^3 G^{3/2} R_1}{4\eta(I_3 - I_1) \rho^2 R^6 L^4 f(\mu)} \left(\frac{2(1-\mu)}{1-2\mu} \right)^{1/2} \quad (31)$$

Конечно, аналогичный механизм демпфирования нутационных колебаний существует и для гироскопа с неконтактным подвесом, ротор которого представляет собой тонкую сферическую оболочку.

Числовой пример 1. Рассмотрим электростатический гироскоп со сплошным бериллиевым ротором. Радиус ротора $R = 0.5$ см, механические характеристики: плотность $\rho = 1850$ кг/м³, модуль сдвига $G = 1.15 \cdot 10^{11}$ Па, коэффициент Пуассона $\mu = 0.3$, угловая скорость $\omega = 1.88 \cdot 10^4$ сек⁻¹, $I_1 = 0.9 \cdot I_3$, $I_3 = 0.968 \cdot 10^{-8}$ кг м². Кинетический момент $L = 1.824 \cdot 10^{-4}$ кг м²/с, логарифмический декремент затухания $\eta = 0.02$. В этом случае из (1.83) для постоянной времени получаем $\tau = 250$ часов.

Числовой пример 2. Теперь рассмотрим электростатический гироскоп со сплошным алюминиевым ротором. Плотность $\rho = 2720$ кг/м³, модуль сдвига $G = 2.65 \cdot 10^{10}$ Па, коэффициент Пуассона $\mu = 0.32$, остальные механические

характеристики оставим такими же как и выше. Тогда из (1.39) находим $\tau=20$ часов.

Как видно из этих числовых, для поддержания «двойного вращения» ротора, в течение достаточно продолжительного времени, необходимо прикладывать к нему силовые моменты, что само по себе вызывает дополнительные погрешности прибора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Лурье, А. И.** Пространственные задачи теории упругости. – М. : Гостехиздат, 1955. – 491 с.

2 **Мартыненко, Ю. Г.** Движение твердого тела в электрических и магнитных полях. – М. : Наука, 1988. – 368 с.

3 **Карипбаев, С. Ж.** Уходы неконтактного гироскопа, вызываемые тепловыми деформациями ротора. // В кн.: Современные проблемы механики и технологии машиностроения. Всероссийская конференция: Тезисы докладов и сообщений. – М. : ВИНТИ РАН, 1992. – С. 5.

4 **Карипбаев, С. Ж., Ландау, Б. Б., Мартыненко, Ю. Г., Подалков, В. В.** Зависимость угловой скорости электростатического гироскопа от температуры окружающей среды // Изв. АН РАН. МТТ. – 1993. № 3. – С. 42-49.

Материал поступил в редакцию 17.04.15.

Е. Аринов¹, К. З. Сартаяев², М. Қ. Байжұманов³, С. Ж. Қарипбаев³

Электростатикалық гироскоп роторының нутациялық тербелісінің демпфирлеу механизмі

¹Ө. А. Байқоңыров атындағы Жезқазған университеті;

²Қ. Сәтбаев атындағы Екібастұз

инженерлік-техникалық институты Екібастұз қ.;

³«Азаматтық Авиация Академиясы» АҚ, Алматы қ.

Материал 17.04.15 баспаға түсті.

E. Arinov¹, K. Z. Sartayev², M. K. Bayzhumanov³, S. Zh. Karipbayev³

Mechanism of damping the nutation fluctuations of the rotor electrostatic gyroscope

¹O. A. Baykonurov Zhezkazgan University, Zhezkazgan;

²Ekibastuz Technical Institute

named after K. Satpayev, Ekibastuz;

³JS “Civil Aviation Academy”. Almaty.

Material received on 17.04.15.

Жоғарғы тығыздықтағы материалдан жасалынған жанаспаған ілгіштегі электростатикалық гироскоптың динамикалық симметриялы серпімді роторының қозғалысы зерттелді.

Ең үлкен инерция сәті өсі маңайында тұрақты айналдыруға келтіретін жанаспаған шарлы гироскоп роторының ауыспалы үдерісінің сандық есептеулері жүргізілген.

Қос айналудағы тұтқырсерпімді ротордың қозғалысы зерттелді. Күштік функциялары құрылып, электростатикалық гироскоптың сферасы бұзылған роторының ұйытқу сәттері есептелінеді.

Шарлы гироскоптың прецессиялық қозғалысы теңдеуінің шешімі алынады, ауытқудың салыстырмалы сандық мәндері жүргізіледі.

Movement of dynamically symmetric elastic continuous rotor of an electrostatic gyroscope in non contact sub weight, made of materials with higher density, is investigated.

The quantitative assessment of a rotor transfer of non-contact spherical gyroscope, leading to stationary rotation around an axis of the quickest moment of inertia, is carried out.

Movement of a viscous elastic rotor in case of double rotation is investigated. Power function is constructed and the revolting moments for an asferized rotor of ESR are estimated.

The solution of the equations of precession movement of a spherical gyroscope is received and the quantitative comparative assessment of extension is carried out.

**Е. Аринов¹, К. З. Сартаев², М. К. Байжуманов³,
С. Ж. Карипбаев³**

¹Жезказганский университет имени О. А. Байконурова, г. Жезказган;

²Екибастузский инженерно-технический институт имени К. Сатпаева, г. Екибастуз; ³АО Академия гражданской авиации, г. Алматы

ДВИЖЕНИЕ УПРУГОГО РОТОРА ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА С ПЕРЕМЕННЫМ МОМЕНТОМ ИНЕРЦИИ В НЕКОНТАКТНОМ ПОДВЕСЕ

На стабильность угловой скорости влияет изменение размеров ротора, происходящее при изменении температуры окружающей среды. Возникновение градиентов температуры внутри ротора приведет в неодинаковому расширению материала ротора электростатического гироскопа (ЭСГ) и будет сопровождаться изменением его напряженно-деформированного состояния, что в свою очередь приведет к изменению внешней поверхности ротора. Нестабильность частоты вращения ротора приводит к нестабильности кинетического момента и появлению ошибки гироскопа. Получено выражение для угловой скорости ротора ЭСГ с переменным моментом инерции. Теоретические расчеты угловой скорости как функции температуры окружающей среды сравнивались с данными эксперимента, которые получены при работе реального ЭСГ.

Ключевые слова: Электростатический гироскоп, гироскоп в вакууме, ротор гироскопа, термоупругие деформации, функции веса, угловой скорости ротора.

Широкое развитие и применение гироскопических систем и приборов ориентации и навигации летательных аппаратов судов, подводных лодок и других подвижных объектов обязано свойству их автономности, которое заключается в том, что приборы и системы, основанные на применении гироскопов, в отличие от радиолокационных и оптических систем ориентации и навигации, определяют положение подвижных объектов без каких-либо физических связей с Землей, не защищенных от внешних искусственных воздействий, создающих помехи в работе этих систем или приводящих к полному нарушению их работоспособности [1].

В бесплатформенных (бескарданных) системах ориентации чувствительными элементами являются гироскопические датчики первичной информации, измеряющие углы или угловые скорости поворота ЛА и линейные ускорения (акселерометры). Эти датчики устанавливаются непосредственно на борту летательного аппарата (ЛА) и работают совместно с цифровой вычислительной машиной, непрерывно производя расчет углов курса, крена и тангажа или иных параметров, определяющих ориентацию ЛА относительно базовой системы координат [1, 2].

Основным достоинством неконтактного подвеса ротора является практически полное отсутствие сил трения при его вращении. Это открывает принципиальную возможность повышения точности гироскопических приборов. Существенным преимуществом ЭСГ является возможность его использования при неограниченных углах поворота летательного аппарата вокруг центра тяжести без каких либо дополнительных устройств типа карданова подвеса. В этом случае корпус гироскопа устанавливается на движущемся объекте, совершающем произвольное движение.

ЭСГ имеет ряд преимуществ по сравнению с другими датчиками ИНС: высокая точность (до 10^{-10} I/c), длительная безотказная работа на выбеге ротора (до нескольких лет), малое энергопотребление (до нескольких ватт), небольшие габариты и масса. ЭСГ мало подвержен износу, вследствие чего надежность прибора в основном определяется надежностью и сроком службы электронных элементов.

Использование ЭСГ на космических аппаратах привлекательно по той причине, что в условиях космоса легче поддерживать необходимую степень вакуума в гироскопе, решать задачу поддержания ротора во взвешенном состоянии, снизить энергопотребление системы. Вместе с тем, использование, как в области теории, так и в области высоких технологий.

При вращении ротора электростатического гироскопа в вакууме основным фактором, определяющим стабильность его угловой скорости, является радиальный небаланс ротора. Если поверхность ротора - идеальная сфера с началом в центре масс ротора, то поддерживающие силы, действующие по нормали к металлической поверхности ротора, образуют сходящуюся систему сил и приводятся к равнодействующей, приложенной в центре масс. Следовательно, вектор кинетического момента гироскопа будет неограниченно долго сохранять свое направление в инерциальном пространстве.

Однако в реальных приборах наружная форма ротора всегда отличается от сферической. Причинами возникновения несферичности ротора являются:

- погрешности изготовления ротора;
- центробежные силы, возникающие при его вращении;
- термоупругие деформации, появляющиеся при изменении температуры.

Технологические проблемы обработки поверхности ротора с точностью до 0,1 мкм оказываются весьма сложными. В силу того, что первая гармоника формы ротора описывает его дебаланс, то далее термин несферичность ротора будет рассматриваться в обобщенном смысле и включать в себя ЭСГ в условиях космического пространства требует решения комплекса новых задач и понятие несбалансированности ротора специального оборудования [2].

При наличии несферичности поверхности ротора возможно появление уходов из-за несферичности электродов, смещений центра масс ротора в подвесе, возникающих при перегрузках и вибрациях основания и при отсутствии нулевого электрода, заполняющим междуэлектродное пространство подвеса и т.д. [2].

Взаимодействие поступательных и вращательных движений несбалансированного ротора в электростатическом подвесе может приводить как к торможению, так и к разгону ротора, т.е. электростатический подвес выполняет роль своеобразного двигателя, регулирующего угловую скорость вращения гироскопа [2]. Нестабильность частоты вращения ротора приводит к нестабильности кинетического момента и появлению ошибки гироскопа.

Дифференциальное уравнение вращательного движения ротора электростатического гироскопа имеет вид [2]

$$\frac{dH}{dt} = \rho_0^2 \operatorname{Im} W(1 \Omega) \quad (1)$$

где H – кинетический момент ротора;

ρ_0 – радиальный дебаланс ротора;

$\omega(\Omega)$ – передаточная функция следящей системы подвеса, которая является дробно-рациональной функцией угловой скорости вращения ротора Ω .

Линеаризуя уравнение вблизи стационарной угловой скорости Ω_0^2 , получим

$$\frac{dH}{dt} = -k_0(\Omega - \Omega_0) \quad (2)$$

где k_0 – постоянный коэффициент, пропорциональный производной по Ω от мнимой части передаточной функции и квадрату радиального дебаланса ротора, зависимостью которого от температуры в данной работе будем пренебрегать.

Угловая скорость вращения ротора пропорциональна его кинетическому моменту

$$\Omega = H/J(t) \quad (3)$$

где $J(t)$ – момент инерции ротора, который при изменении температуры будет явной функцией времени. Согласно [4] и [5] при малых k_0 и μ , ротор является

однородным шаром переменного радиуса, поэтому функцию $J(t)$ найдем по формуле момента инерции однородного шара массой m и радиуса $R + U(t)$ [3]

$$J(t) = \frac{2}{5} m [R + U(t)]^2 \cong \frac{2}{5} m [R^2 + 2RU(t)] \quad (4)$$

Здесь $u(t) = \int N(t - \xi) F(\xi) d\xi$ – перемещение точек поверхности ротора, $N(t)$ – функция веса.

Принимая во внимание (4), перепишем уравнение (2) в форме

$$\tau_2 \frac{dH}{dt} = -f(t) H + H_0 \quad (5)$$

где $f(t) = 1 - 2u(t)/R$, $\tau_2 = 2m R^2 / (5 K_0)$ – постоянная времени эквивалентного двигателя, заменяющего подвес;

H_0 – стационарные значения кинетического момента гироскопа.

Решение уравнения (5) имеет вид

$$H(t) = H(0) * \exp\left[-\int_0^t f(\tau) d\tau / \tau_2\right] + H_0 * \int_0^t \exp\left[-\int_0^\xi f(\xi) d\xi / \tau_2\right] d\xi \quad (6)$$

Одно из возможных упрощений формулы (6) связано с допущением о том, что в начальный момент времени значение кинетического момента ротора совпадает с его стационарным значением: $H(0) = H_0$.

Кроме того, пользуясь малостью деформаций ротора при изменении температуры, разложим подинтегральные выражения в (6) в ряды по малому параметру $2u(t)/R$ и удержим в этих рядах только линейные члены [2]. Тогда для кинетического момента гироскопа получится приближенная формула:

$$H(t) = H_0 + 2 H_0 * \int_0^t \exp[(\xi - t) / \tau_2] u(\xi) / R / \tau_2 d\xi \quad (7)$$

Разделив выражения для вектора кинетического момента на переменный момент инерции ротора (4), получим окончательное выражение для угловой скорости ротора электростатического гироскопа

$$\Omega(t) = \Omega_0 \left[1 + \int_0^t N_1(t - \xi) F(\xi) d\xi \right] \quad (8),$$

где

$$N_1(t) = \frac{2\alpha_1}{\tau_1 - \tau_2} \left[\frac{\tau_2}{\tau_1} \exp(-t/\tau_1) - \exp(-t/\tau_2) \right] \quad (9)$$

Найденное выражение для функции веса $N_1(t)$ не содержит особенности при $\tau_2 = \tau_1$. При указанном значении постоянной времени «электростатического двигателя» выражение $\left[\frac{\tau_2 \exp(-t/\tau_1) - \exp(-t/\tau_2)}{\tau_1} \right] (\tau_1 - \tau_2)$ следует заменить на ограниченное при всех моментах времени t выражение $-(t - \tau_1) \exp(-t/\tau_1) / \tau_1^2$. Формулы (8), (9) дают решение поставленной задачи о зависимости угловой скорости гироскопа от температуры окружающей среды.

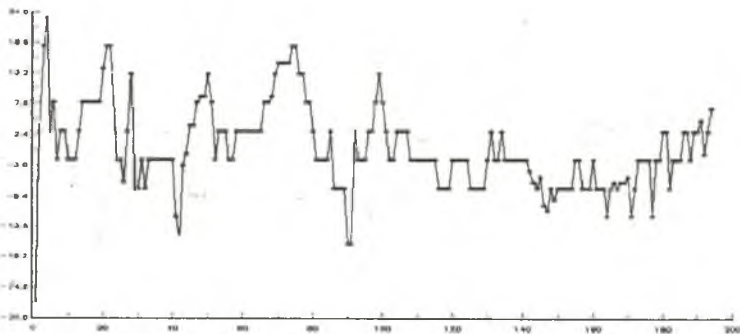
Числовые оценки. При работе реального электростатического гироскопа были проведены замеры угловой скорости вращения ротора и температуры кожуха ротора, которую можно принять в качестве температуры окружающей среды. Измерение проводилось в течение 194 часов с интервалом $\Delta t = 1$ час. Отклонение температуры окружающей среды от среднего значения в 23°C не превышало 2.5° , а отклонение угловой скорости вращения ротора находилось в пределах 0.3 об/сек. от номинального значения 3000 об/сек.

При обработке экспериментальных данных вначале проводилось их «центрирование», т.е. подсчитывалось среднее значение элементов массива, а затем от каждого элемента массива вычиталось его среднее значение. Экспериментальные зависимости температуры и угловой скорости ротора от времени приведены на рисунке 1.

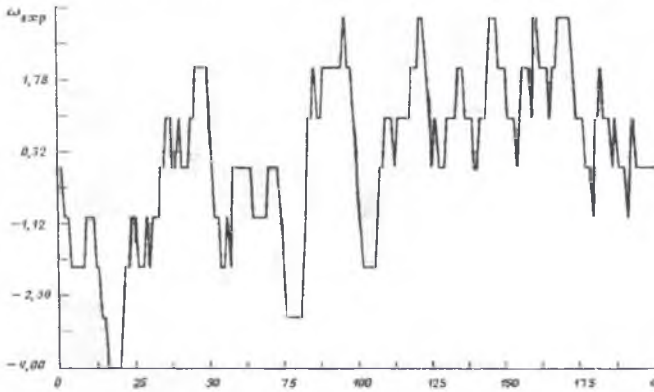
Теоретические расчеты угловой скорости как функции температуры окружающей среды проводились по рекуррентным формулам

$$\begin{aligned} \omega(n) &= 2\Omega_0 \alpha \tau_2 / (\tau_1 - \tau_2) [\omega_1(n) - \omega_2(n)] \\ \omega_1(n) &= F(n) + [\omega_1(n-1) - F(n)] \exp(-\Delta t / \tau_1), \quad \omega_1(0) = 0, \quad (i=1,2). \end{aligned} \quad (10)$$

Здесь $\omega(t) = \Omega(t)$ при $t = n \cdot \Delta t$, т.е. $\omega(n)$ - суть значения флуктуации угловой скорости на n -ом шаге измерения ($n=1, 2, \dots, 194$), $F(n)$ - флуктуация.



а)



б)

Рисунок 1 – Экспериментальные зависимости температуры (а) и угловой скорости ротора от времени (б)

При выводе формул (10) функция $F(\zeta)$ в (8) на интервале времени $\Delta t \Delta t$ принималась постоянной. На рисунке 2 приведена зависимость изменения угловой скорости вращения ротора, полученная по формулам (10) при $\alpha t = 12 \cdot 10^{-6}$ град-1, $\tau_1 = 0.45$ и $\tau_2 = 5.4$ часа.

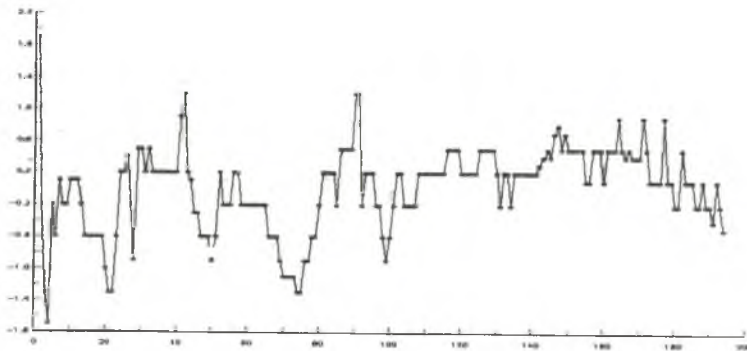


Рисунок 2 – Зависимость изменения угловой скорости вращения ротора от времени

Из сравнения кривых, приведенных на рисунках 1 и 2 видно, что амплитудные значения изменения угловой скорости вращения ротора, полученные теоретическим путем, меньше, чем экспериментальные, примерно в 2 раза. Из этого можно сделать вывод, что кроме рассмотренного

выше механизма, обусловленного температурными деформациями ротора, на стабильность угловой скорости влияют и другие факторы. Так например, при изменении температуры среды может происходить изменение номинальных значений элементов (емкостей, резисторов и т.д.) следящей системы подвеса, что приводит к изменению стационарной угловой скорости Ω_0 вращения ротора в (2).

Результаты расчетов, выполненных с помощью рекуррентной формулы (10), показывают, что при уменьшении постоянной времени τ_2 эквивалентного двигателя флуктуации угловой скорости уменьшаются. Для постоянной времени τ_1 , определяющей скорость теплообмена ротора с окружающей средой, оказалось, что ее уменьшение приводит к увеличению флуктуаций угловой скорости, т.е. уменьшение степени черноты поверхности увеличивает стабильность угловой скорости гироскопа. Максимальное значение флуктуации угловой скорости можно найти предельным переходом при $\tau_2 \rightarrow \infty$ и $\tau_1 \rightarrow 0$, что совпадает с оценками, получаемыми из теоремы о сохранении момента количество движения ротора гироскопа, температура которого равна температуре окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Пельпор, Д. С.** Гироскопические системы ориентации и стабилизации. Справочное пособие. – М. : Машиностроение, 1982. – 165 с.
- 2 **Мартыненко, Ю. Г.** Движение твердого тела в электрических и магнитных полях. – М. : Наука, 1988. – 368 с.
- 3 **Ландау, Л. Д., Лифшиц, Е. М.** Теоретическая физика. Т.7. Теория упругости. – М. : Наука, 1965. – 203 с.
- 4 **Байжуманов, М. М., Карипбаев, С. Ж., Сартаев, К. З.** Математическая модель распределения температуры в роторе электростатического гироскопа // Материалы 11 международной научно – технической конференции, АВИА 2013. Космические агентства Украины. Национальный авиационный университет. ДП «Антонов». – Киев, 20-23 мая 2013 г. – С. 20.29-20.32.
- 5 **Байжуманов, М. М., Карипбаев, С. Ж., Сартаев, К. З.** Задача о напряженно-деформированном состоянии ротора электростатического гироскопа // Материалы Международной научно-практической конференции «Интеллектуальные информационные и коммуникационные технологии – средство осуществления третьей индустриальной революции в свете Стратегии «Казахстан-2050». – Астана, 6-8 июня 2013.

Материал поступил в редакцию 17.04.15.

Е. Аринов¹, К. З. Сартаяев², М. Қ. Байжұманов³, С. Ж. Кәріпбаев³

Электростатикалық гироскоптың инерция сәттегі айнымалы серпінді роторының жанаспаған ілгіштегі қозғалысы

¹Ө. А. Байқоңыров атындағы Жезқазған университеті;

²Қ. Сәтбаев атындағы Екібастұз инженерлік-техникалық институты Екібастұз қ.;

³«Азаматтық Авиация Академиясы» АҚ, Алматы қ.

Материал 17.04.15 баспаға түсті.

E. Arinov¹, K. Z. Sartayev², M. K. Bayzhumanov³, S. Zh. Karipbayev³

Movement of an elastic rotor of an electrostatic gyroscope with the variable moment of inertia in non-contact subweight

¹O.A. Baykonurov Zhezkazgan University, Zhezkazgan;

²Ekibastuz Technical Institute named after K. Satpayev, Ekibastuz;

³JS “Civil Aviation Academy”, Almaty.

Material received on 17.04.15

Бұрыштық жылдамдықтың тұрақтылығына қоршаған ортаның температурасы өзгерген кезде болатын ротордың өлшемінің өзгеруі әсер етеді. Ротор ішіндегі температура градиенттерінің туындауы электростатикалық гироскоп роторы материалының әркелкі ұлғаюына алып келеді және оның кернеулік-деформациялық күйінің өзгеруімен жалғасып, ротордың сыртқы бетінің өзгеруіне алып келеді. Ротордың айналу жиілігінің тұрақсыздығы кинетикалық сәттің тұрақсыздығын тудырып, гироскоп қателігінің пайда болуына алып келеді. Электростатикалық гироскоптың айнымалы инерция сәті роторының бұрыштық жылдамдығының формуласы алынған. Қоршаған ортаның температурасынан тәуелді функция түріндегі бұрыштық жылдамдықтың теориялық есептеулері шынайы электростатикалық гироскопта жұмыс істеу кезінде алынған сараптаманың мәліметтерімен салыстырылды.

Stability of angular speed is influenced by change of the rotor, sizes occurring at ambient temperature change. Emergence of temperature gradients in a rotor will lead to unequal expansion of a material in an electrostatic rotor (ESR) and will be accompanied by change of its intense and deformation state that in turn will lead to change of an external surface of a rotor. Instability of frequency moving rotor will result in instability of

the cinematic moment and emergence of a gyroscope error. Expression for the angular speed of an ESR rotor with the variable moment of inertia is received. Theoretical calculations of angular speed as functions of ambient temperature were compared to experiment data which were obtained during the work of real ESR.

УДК 621.311

**А. Б. Кайдар¹, Б. К. Шапкенов²,
А. П. Кислов³, В. П. Марковский⁴**

¹м.т.н.; ²к.т.н., профессор кафедры «Электроэнергетика»; ³к.т.н., профессор, декан энергетического факультета; ⁴к.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Электроэнергетика». Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, Павлодар

НОВЫЕ ВЕТРОКОЛЕСА С УЛУЧШЕННЫМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ

Рассмотрены ветроколеса, обладающие патентной новизной, улучшенными энергетическими характеристиками. Приведены зависимости мощности на выходе генератора в функции скорости ветра, полученные в результате моделирования.

Ключевые слова: ветроэнергетика, ветропотенциал, ветроэлектростанция, возобновляемые источники энергии.

Анализ технической литературы показал, что как это ни парадоксально, но чем меньше лопастей в ветроколесе, тем выше его КПД. Это проверено как теоретическими исследованиями, так и продувками в аэродинамической трубе, хотя разница между 1, 2, 3 лопастями незначительна [1, 2].

Вертикально-осевые ветроустановки имеют право на жизнь, но наукой и опытом давно доказана их очень низкая эффективность по сравнению с горизонтально-осевыми. Это показали исследования, проведенные в Алматинском институте энергетики и связи, пример тому, широко разрекламированная [3] виндоторная установка В.М. Низовкина и А.В. Болотова.

ВЭУ с горизонтальной осью, начинающие работать на малых скоростях ветра – до 3 м/с, малоэффективны. Например, для ВЭУ с диаметром винта 5 м выдаваемая мощность при скорости ветра 2 м/с будет менее 30 Вт минус половина этой мощности уйдет на всякие потери, а оставшиеся 15 Вт – это ноль для аккумуляторов, рассчитанных на 5 или 50 кВт.

Основной проблемой ветрогенераторов является то, что они работают в узком диапазоне скоростных характеристик ветрового потока, а именно, с 4-6 м/с до 11-14 м/с. При скорости ветра ниже 3 м/с у ветрогенератора или не вращаются колеса, или, если вращаются, то ветрогенератор не может развить паспортную мощность.

При скоростях ветра свыше 14 м/с необходимо ограничивать во избежание повреждений скорость вращения лопастей ветрогенератора балластными сопротивлениями или механическими способами вроде изменения угла атаки лопасти или жесткой фиксации лопасти и т.п.

Анализ технической литературы и патентная проработка показала, что в направлении совершенствования ветроколес имеется масса разработок, но большинство из них решая конкретную задачу, тем не менее обладают рядом характеристик, не позволяющих эффективно применять их для климатических условий Павлодара с ветрами изменяющихся от штормового до штормового.

В связи с этим была поставлена задача, разработать ветроколесо с повышенным коэффициентом использования кинетической энергии ветра в широком диапазоне скоростей ветра. Решение задачи было достигнуто в конструкции ветроколеса (рис. 1) с автоматически изменяющейся геометрией лопастей [4].

Техническим результатом явилось более эффективное использование энергии ветра, возможность выработки механической энергии при низких, средних и высоких скоростях ветра и надежность работы конструкции ветроколеса.

Ветроколесо (рис. 1) работает следующим образом. Ветровой поток поступает на криволинейные лопасти 9 и на конус 4. На поверхности конуса 4 происходит увеличение скорости потока ветра, поступающего на криволинейные лопасти 9. Силы основного потока ветра и потока ветра, направляемого конусом 4, действуют равномерно по всей длине криволинейных лопастей 9. Возникающие силы создают вращающий момент на оси 3, приводя ее во вращение. При высоких скоростях потока ветра под воздействием центробежной силы грузы 11 радиально перемешаются по прямым стержням 2 от оси 3 к периферии, тем самым через тросы 14 и блоки 13 перемещая криволинейные лопасти 9 к оси вращения 3. В результате происходит уменьшение суммарной площади поверхностей криволинейных лопастей 9, воспринимающих ветровой поток, и снижается скорость вращения ветроколеса, что позволяет предотвратить поломку конструкции от воздействия потока ветра с высокой скоростью. При снижении скорости потока ветра лопасти 9 под воздействием сил упругости пружин 10, двигаясь по стержням 1, возвращаются в первоначальное положение, соответствующее положению, когда ветроколесо не вращается.

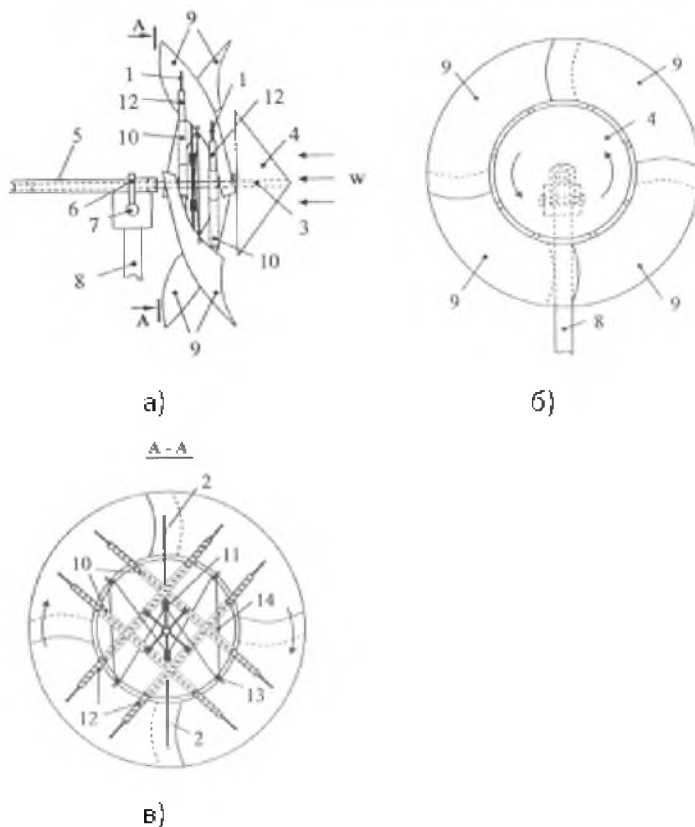


Рисунок 1 – Ветроколесо. а) вид сбоку (Инновационный патент РК № 26105 автора). б) вид спереди со стороны обтекателя. в) сечение А-А ветроколеса

Предлагаемое ветроколесо (рис. 1) с автоматически изменяющейся геометрией лопастей позволяет использовать максимум энергии потока ветра. при снижении скорости ветра лопасти удлиняются, выдвигаясь из под конуса за счет центробежных сил уравнивающих грузиков, при повышении скорости ветра длина лопастей уменьшается за счет уменьшения центробежных сил.

Устройство изменения геометрии лопастей повышает коэффициент использования энергии ветра, а получаемая кинетическая энергия вращающейся оси может сниматься как при высоких так и при низких скоростях ветра.

В ходе дальнейшего совершенствования ветроколеса было предложено отдельное вращение ротора и статора генератора, что позволило увеличить момент трогания, выход на паспортную мощность генератора при скоростях 3 – 3,5 м/с.

На конструкцию [5] (рис. 2) была подана заявка (15.01.2015 г.) на изобретение.

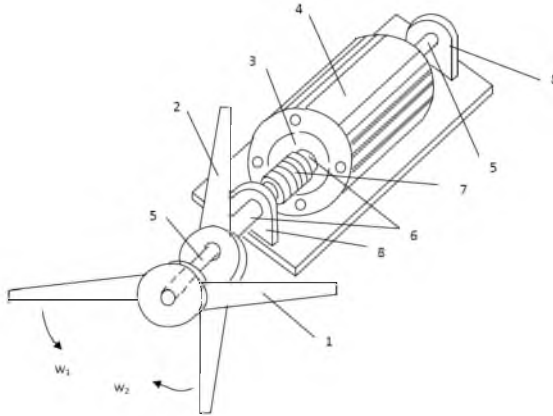


Рисунок 2 – Ветрогенератор со встречно вращающимися колесами

Ветрогенератор содержит два встречно вращающихся ветроколеса 1 и 2, одно из которых крепится к ротору 3, а второе – к статору 4 генератора, причем вал ротора 5 находится внутри полого вала статора 6. На внешнем валу располагают токосъемные кольца 7. Внешний вал крепится к телу гондолы через подшипниковые опоры. Тело гондолы выполняется поворотным, ориентирующимся по ветру с помощью хвостового оперения, лопасти имеют форму воздушного винта.

Ветрогенератор работает следующим образом. Ветровой поток поступает на ветроколеса 1 и 2.

Если конструктивно ветроколеса выполнены идентично, то угловые скорости ветроколес равны и направлены встречно

$$w_1 = \square w_2 \quad (1)$$

а результирующая или относительная угловая скорость определяется, как

$$w_{\text{рез}} = 2w_1 = 2w_2 \quad (2)$$

Если угол атаки лопастей ветроколеса 1 и 2 отличаются, или различаются какие-то другие параметры: длина лопасти, парусность, форма передней и задней кромки и т.д., то угловые скорости ветроколес направлены встречно, но не равны и

$$w_1 \neq w_2,$$

а результирующая или относительная угловая скорость определяется, как

$$w_{\text{рез}} = |w_1| + |w_2|. \quad (3)$$

Ветроколесо 1 вращает ротор 3 ветрогенератора против часовой стрелки, а ветроколесо 2 – статор 4 генератора по часовой стрелке. Вал ротора 5 находится внутри полого вала статора 6. На внешнем валу располагают токосъемные кольца 7, с которых генерируемая электроэнергия направляется к потребителю или для накопления через выпрямитель к аккумуляторам. Внешний вал крепится к телу гондолы через подшипниковые опоры 8. Тело гондолы выполняется поворотным, ориентирующимся по ветру с помощью хвостового оперения, лопасти имеют форму воздушного винта.

Удвоение результирующей скорости позволяет сократить парусность ветроколес, уменьшить длину лопасти, а это позволит сократить массогабаритные показатели, во-первых, во-вторых, увеличит надежность. Кроме этого, ветрогенератор будет выходить на паспортную мощность генерации (рис. 3) при более низких скоростях ветра (известно, что увеличение скорости ветра в два раза приводит к 8 – 10 кратному увеличению его удельной мощности). Ветрогенератор не требует синхронизации скоростей ротора и отличается предельной простотой как в изготовлении, так и в обслуживании.

Результаты исследования по программному пакету MATLAB математической модели ветрогенератора, расчеты и построенная показали, что для надежной работы синхронного генератора с паспортной мощностью 100 кВА и обеспечения электроснабжения нагрузок достаточно поддерживать площадь ветроколес до 25 м². Это обеспечит при скорости ветра 7 м/с до 100 кВА, причем у ветроколес с изменяющейся геометрией колес остается существенный резерв 70 кВА по мощности [5].

Резерв мощности позволяет добавить еще одну лопасть со встречным вращением лопастей, чтобы при более низкой скорости, например, 5,5 м/с, получить полезную мощность на клеммах генератора в пределах 100 – 170 кВА.

Модель синхронного ветрогенератора с постоянными магнитами была реализована в MATLAB. Характеристики (рис. 3) были получены в Simulink для того, чтобы проверить его крутящий момент и скорость ветра.

Генератор был смоделирован в DQ синхронной вращающейся системе с учетом различных упрощений. Кроме того, концепция максимального отслеживания Power Point была представлена в условиях регулировки скорости ротора генератора в зависимости от мгновенной скорости ветра.

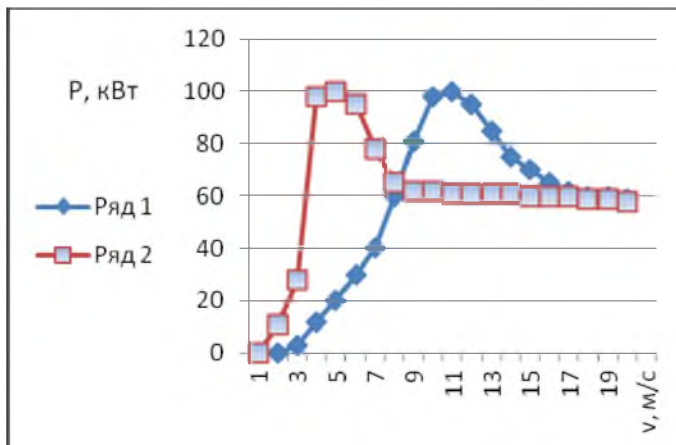


Рисунок 3 – Мощность P (кВт) в функции скорости ветра v (м/с):
 ряд 1 – мощность с двумя встречно-вращающимися ветроколесами,
 ряд 2 с одним заторможенным ветроколесом

Вывод

Техническим результатом применения рассмотренных ветроколес будет более эффективное использование энергии ветра, возможность выработки механической энергии при низких, средних и высоких скоростях ветра и надежность работы конструкции ветроколеса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Положение дел по использованию возобновляемых источников энергии в Центральной Азии. Перспективы их использования и потребности в подготовке кадров. Обзор. Друзь Н., Борисова Н., Асанкулова А., Раджабов И., Захидов Р. Таджиев У. © ЮНЕСКО, 2010, 140 с.

2 **M. Chinchilla, S. Arnaltes and I. C. Burgos.** “Control of Permanent Magnet Generators Applied to Variable-Speed Wind-Energy Systems Connected to the Grid”. – IEEE Transactions on Energy Conversion. – vol. 21, no. 1. – 2006.

3 <http://vse.kz/topic/297433-moshnost-postroennih-v-2009-godu-vetrjanih-alektros/page-16>.

4 Инновационный патент РК № 26105 на изобретение «Ветроколесо», авторы Дробинский А. В., Шапкенов Б. К., Кайдар А. Б. 14.09.12, бюл. № 9.

5 **Кайдар, А. Б.** Автореферат магистерской диссертации. Разработка эффективной локальной системы электроснабжения с помощью фотопреобразовательных систем и ветрогенератора. – Павлодар, 2015. – 17 с.

Материал поступил в редакцию 19.06.15.

А. Б. Кайдар, Б. К. Шапкенов, А. П. Кислов, В. П. Марковский

Энергия көрсеткіштері күшейтілген жаңа жел доңғалақтары

С. Торайғыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 19.06.15 баспаға түсті.

A. B. Kaidar, B. K. Shapkenov, A. P. Kislov, V. P. Markovsky

New windwheels with improved energy indicators

S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.
Material received on 19.06.15

Патенттік жаңалығымен және жаңарған электр сипаттамалары бар, жел доңғалақтары қарастырылды. Генератордың шығысындағы функция жылдамдығы қуатпен байланысты модельдеу нәтижесі көрсетілген.

The propellers have patent novelty, their power characteristics are improved. The relation of generator's power on their outputs in function of wind speed, gained in the result of simulation, is found.

УДК 621.311

**А. Б. Кайдар¹, Б. К. Шапкенов²,
А. П. Кислов³, В. П. Марковский⁴**

¹м.т.н.; ²к.т.н., профессор кафедры «Электроэнергетика»; ³к.т.н., профессор, декан энергетического факультета; ⁴к.т.н., профессор, зав. кафедрой «Электроэнергетики», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар

ПЕРСПЕКТИВЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ТЕРРИТОРИИ КАЗАХСТАНА

Эта статья предназначена для привлечения внимания к вопросам ветроэнергетики. Рассмотрен ветропотенциал на территории Казахстана, впервые предложены ранее не рассмотренные потенциально перспективные ветроплощадки на отвалах открытых горных разработок, территории НЯЦ РК, и канала им. К. Сатпаева. Впервые приведены экспериментальные и математические зависимости скорости ветра в функции от высоты.

Ключевые слова: ветроэнергетика, ветропотенциал, ветроэлектростанция, возобновляемые источники энергии.

На ветровой режим, его направление и мощность влияют такие факторы как рельефные условия территории. В зависимости от этих условий территорию Казахстана можно разделить на следующие зоны:

– Северная часть республики – занимает Западно-Сибирская низменность, к югу от которой территория повышается и представляет собой плоскую равнину с крупными реками и озерными котловинами.

– Западная часть, где находится Прикаспийская низменность, которая постепенно понижается к югу в сторону Каспия, опускается до 28 м ниже уровня моря. К югу от нее простирается невысокое плато Устюрт (200 – 300 м) и горы Каратау и Актау с высотами до 555 м на полуострове Мангышлак.

– Центральную часть республики занимает Казахский мелкосопочник со средними высотами около 500 м (на водоразделах имеются высоты 1000 – 1500 м). Большая часть мелкосопочника имеет волнисто-холмистый рельеф. В западной части мелкосопочника горные массивы встречаются редко, имеется ряд котловин, преобладает равнина с мелкосопочным рельефом.

– Южная часть территории Казахстана - расположены огромные пространства песков.

– На востоке и юго-востоке республики расположены горные системы Алтая, Саур-Тарбагатая, Джунгарии и Тянь-Шаня.

Режим ветра в Казахстане носит преимущественно материковый характер. Несмотря на значительную физико-географическую неоднородность, территория республики может быть разделена на районы с относительно устойчивым режимом ветра [1].

Для эффективного использования ветроэнергетических установок в республике пригодны огромные по площади и различные по географическому положению районы. Только от использования 0,1 % ветроэнергетических ресурсов этих территорий можно получить 30 % электроэнергии от общей потребности Республики Казахстан. При этом значительно сократятся вредные выбросы в атмосферу: двуокиси серы на 350 – 400 тыс. т., окислов азота 320 – 350 тыс. т., углекислого газа на 6500 – 7200 тыс. т.; взвешенных веществ на 3800 – 4000 тыс. т. в год [1].

В целом Казахстан обладает энергией ветра, оцениваемой 1820 млрд. кВт·ч в год, в том числе: по западу республики до 500 млрд. кВт·ч, по северному и центральному регионам до 400 и по югу республики до 600 млрд. кВт·ч в год [1-6].

Территория Республики Казахстан характеризуется относительно богатым ветроэнергетическим потенциалом (рис. 1). Он в сотни раз превышает современное электропотребление [1]. Расчеты показали, что на высоте 10 м от поверхности Земли энергия, заключенная в 1м² сечение воздушного потока, составляет около 4000 кВт·ч/м², полученные расчетные зависимости среднегодовых скоростей ветра на территории Павлодара показывают существенные (10,5 и 24,5 %) превышение ветрового потенциала ветроколеса для 20 и 40 м соответственно (рис. 2).

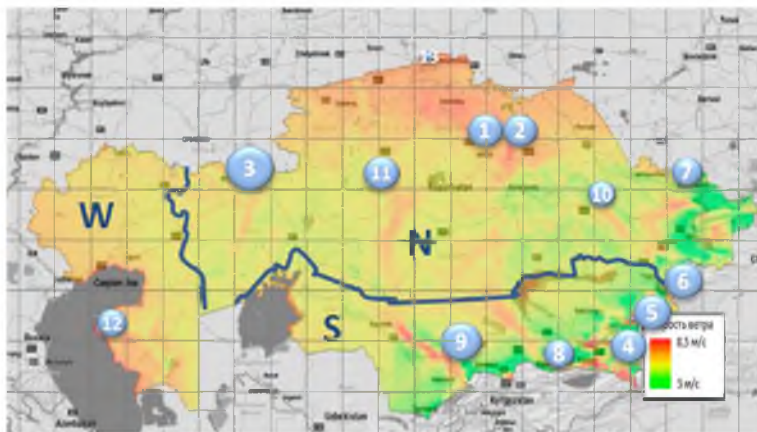


Рисунок 1 – Перспективные площадки строительства ВЭС

Математическая зависимость для верхней кривой скорости ветра от высоты мачты определяется следующим образом.

Известно, что параболическая зависимость определяется выражением $v=ax^2+bx+c$.

Поэтому для трех точек верхней кривой (рис. 2) с координатами:

$$H_1=9 \text{ м}; v_1=5,5 \text{ м/с},$$

$$H_2=23 \text{ м}; v_2=6,2 \text{ м/с},$$

$$H_3=37 \text{ м}; v_3=7,3 \text{ м/с}$$

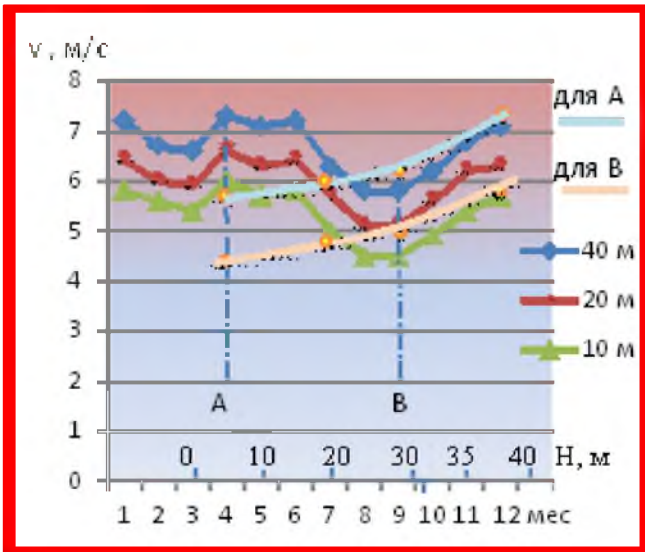


Рисунок 2 – Экспериментальная (синяя, красная, зеленая) и расчетные зависимости (голубая и розовая) скорости ветра в Павлодаре по времени года и по высоте соответственно для точки максимального А и минимального В экстремума

при $H > 7,5$ м уравнение в данном случае выглядит, как

$$v=aH^2+bH+c$$

с постоянными $a=0,001$; $b=0,018$; $c=5,257$.

Постоянные a , b , c в вышеприведенного квадратного уравнения получены из решения уравнений трех точек:

$$5,5=81a+9b+c;$$

$$6,2=529a+23b+c;$$

$$7,3=1369a+37b+c.$$

Уравнение верхней (голубой) кривой (рис. 2) выглядит как:

$$v=0,001H^2+0,018H+5,257.$$

Проверим. При $H=17,5$ м $v=5,87825$ м/с. Равенство соблюдается.

Аналогично для нижней (розовой) кривой (рис 2).

Для нижнего отрезка параболической зависимости.

$$H_1=9 \text{ м}; v_1=4,4 \text{ м/с};$$

$$H_2=23 \text{ м}; v_2=5,1 \text{ м/с};$$

$$H_3=37 \text{ м}; v_3=5,9 \text{ м/с}.$$

При $H > 7,5$ м $v=aH^2+bH+c$ $a=0,0003$; $b=0,04$; $c=4$

$$4,4=81a+9b+c;$$

$$5,1=529a+23b+c;$$

$$5,9=1369a+37b+c.$$

Уравнение нижней (розовой) кривой (рис. 2) выглядит как:

$$v=0,0003H^2+0,04H+4$$

Проверка. При $H=30$ м; $v=5,47$ м/с.

Согласно полученным уравнениям или рис. 2 можно определять скорость ветра v на высоте H для территории Павлодарской области.

Наиболее значительными являются ветроэнергетические ресурсы района Джунгарских Ворот (17000 кВт·ч/м²). Из других перспективных районов можно отметить Ерментау – 3700 кВт·ч/м² (Акмолинская область). Форт-Шевченко 4300 кВт·ч/м² (Побережье Каспийского моря). Курдай – 4000 кВт·ч/м² (Жамбылская область) и некоторые другие.

В настоящее время существует около 15 мест (табл. 1), определённых как возможные места для расположения ветропарка (ВП), некоторые из них находятся в продвинутой стадии.

Средняя мощность на местах составляет около 60 МВт, хотя большинство из них составляет от 20 до 50 МВт.

Начало эксплуатации предполагалось в 2014 году, но большинство из них будет готово к 2016 году.

Средняя стоимость была определена в 300 млн. тенге за МВт в соответствии с международной средней стоимостью.

Самым перспективным районом Республики Казахстан по использованию ветроэнергии является район Джунгарских Ворот, который представляет собой межгорную долину длиной 20 км и шириной 10-15 км. Продолжительность отдельных бурь составляет 60 – 110 часов, достигая в

отдельных случаях 270 – 320 часов и чаще наблюдаются в холодные периоды года. В данном районе могут быть размещены около 11000 ВЭУ мощностью 100 – 250 кВт (при диаметре ветроколеса 25 м). Выработка одной такой установки ориентировочно составляет 600 тыс. кВт·ч.

Анализ распространения энергии в течение года, показывает, что значительная доля энергии приходится на зимнее время года, когда потребность народного хозяйства в энергии возрастает.

В целом, по состоянию на сегодняшний день в Казахстане уже идет строительство нескольких электростанций на базе возобновляемых источников энергии. Так, в Жамбылской области строятся ВЭС с суммарной установленной мощностью 188 МВт. К настоящему моменту уже реализовано 50 процентов в данной сфере. В течение этого года запланировано строительство и начало эксплуатации Кордайской ВЭС-21 мощностью 4 МВт с последующим расширением до 21 МВт до конца 2015 года. Также ведется предварительная работа по реализации других проектов. Это строительство Жанатасской ВЭС (мощность 100 МВт), солнечной электростанции (мощность 24 МВт) и каскада Меркенских ГЭС мощностью 19,8 МВт.

Таблица 1 – Строящиеся и перспективные площадки для ВЭС

Наименование	Регион	Мощность, МВт	Год	Стоимость, млн. тенге
ВП вблизи Ерейментау	Акмолинская обл.	50	2014	17709
ВП вблизи Ерейментау	Акмолинская обл.	30-50	2017	30000
ВП в Бадамша Каргалы	Актобе	300	2015-2020	82320
ВП в коридоре Шелек	Алматы	51	2015	12881
ВП в Шелек	Алматы	60	2017	27000
ВП в Джунгарских воротах	Алматы	72	2018	15000
ВП в горном проходе в Улане	ВКО	24	2014	8084
ВП Кордай	Жамбыл	21	2016	5451
ВП Жанатасский Сарысу	Жамбыл	100	2016	28500
ВП в Караганде	Караганда	15	2016	10000
ВП вблизи г. Аркалык	Костанай	48		15000
ВП вблизи с Форт Шевченко	Мангистау	20	2015	5423
ВП Новоникольское Кызылжарский район	СКО	1,5	2015	185

В декабре 2011 г. в Жамбылской области была введена в эксплуатацию первая в Казахстане ветроэлектростанция – Кордайская ВЭС (первая очередь), мощность 1 500 кВт. В декабре 2014 г. был построен первый этап из 9 ветрогенераторов, который увеличил мощность до 9 МВт.

Также в Кордайском районе подходит к завершению строительство второй ВЭС мощностью 21 МВт.

В октябре 2013 г. состоялась закладка капсулы Ерейментауской ВЭС мощностью 50 МВт. Первая очередь ВЭС на мощность 50 МВт была построена в 2014 г., полная проектная мощность – 300 МВт.

В проекте строительство ВЭС: Жанатасская ВЭС мощностью до 400 МВт (Жамбылская область), Шокпарской ВЭС – мощность 200 МВт (Жамбылская область).

В Жамбылской области Казахстана начато строительство первой очереди ветровой электростанции на 100 МВт в городе Жанатас.

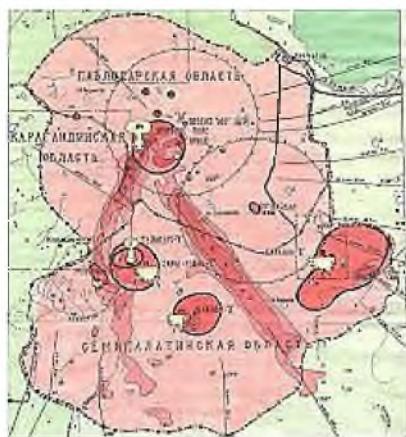
Начало формы

Конец формы

АО «Самрук-Энерго» приступила к реализации проекта «Строительство ветровой электростанции (ВЭС) мощностью от 60МВт до 300 МВт в Шелекском коридоре Енбекшиказахского района Алматинской области».



а)



б)



в)

Рисунок 3 - Потенциальные зоны размещения электростанций на ВИЭ:
а) Канал им. Сатпаева, б) Семипалатинский ядерный полигон и
в) внешние отвалы угольных разрезов Екибастуза

С развитием ветро- и солнечной энергетики есть смысл рассмотреть (рис. 3) неиспользуемые площади Усть-Каменогорской (Семипалатинской), Павлодарской, Восточно-Казахстанской и Карагандинской областей, подвергшихся загрязнению радиоактивными веществами вследствие испытаний ядерного оружия, территории внешних (пустых) отвалов Екибастузских карьеров, высота *отвалов* может изменяться от 8-15 (первый уступ) до 100-180 м при различных углах откоса, на насосных по руслу канала им. К. Сатпаева и др. В последнем случае возможна модернизация 6 МВт гидроагрегатов для перекачки воды непосредственно силой ветра, без промежуточного преобразования в электроэнергию, учитывая, что ось вращения у гидроагрегатов вертикальная. На протяженности 458 км установлено 22 насосных станций подъема, с помощью которых вода поднимается на 418 м. На насосных имеется в основном по 4 гидроагрегата. Вся Карагандинская и половина Павлодарской части канала находятся на возвышенностях и подвержены сильным ветрам, поэтому с ветровым потенциалом проблем не будет.

Выводы

Полученные расчетные зависимости среднегодовых скоростей ветра на территории Павлодара показывают существенное превышение ветрового потенциала на 10,5 % для высоты расположения 20 м ветроколеса и 24,5 % для высоты 40 м. Зависимости позволяют производить оценку эффективности применения ветроагрегатов и существенно облегчат проектирование ветроэлектростанций.

Строительство ВЭС в северо-восточном регионе целесообразно выполнять на неиспользуемых площадях Павлодарской, Восточно-

Казахстанской и Карагандинской областей, подвергшихся загрязнению радиоактивными веществами вследствие испытаний ядерного оружия, территории внешних (пустых) отвалов Екибастузских карьеров.

Перспективность комплексных энергетических комплексов для Казахстана очевидна. КЭС разной мощности необходимы на сельскохозяйственных фермах, отгонных пастбищах, в отдаленных поселках и экспедициях, кроме того, с помощью ветродвигателей, возможно, не только давать электроэнергию, но и поднимать и опреснять воду, обеспечивать защиту трубопроводов от коррозии, заряжать аккумуляторы, работать в мелиорации на полив и на осушение, обеспечивать аэрацию водоемов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Национальная Программа развития ветроэнергетики в Республике Казахстан до 2015 г. с перспективой до 2024 г. Проект Программы развития ООН и Правительства Казахстана «Казахстан – инициатива развития рынка ветроэнергетики». Алматы-Астана, 2007.

2 <http://www.windenergy.kz/Windatlas.html>.

3 Инсебаев, Т. А., Азербаяев, А. Д., Абдрахманова, А. Д., Рандюк, И. В., Шегенова, З. К. Павлодарская область: страницы истории (1938-2008). Часть 1. История области. – Павлодар : ПГУ им. С. Торайгырова, 2007. – 330 с.

4 Тлеуова, А. А., Тлеуов, А. Х., Оськина, А. С. Определение средних скоростей ветра Акмолинской области. // Вестник науки КазГАТУ. – Астана, 2006. – № 2(41). – 6 с.

5 Тлеуова, А. А., Аяпбергенов, К. М., Тлеуов, А. Х. Рекомендации по выбору места размещения автономных ветроэнергетических установок в агропромышленном комплексе. // Астана, КазАТУ. – 2008. – 81 с.

6 Тлеуова, А. А., Аяпбергенов, К. М., Тлеуов, А. Х. Рекомендации по использованию ветроэнергетических установок малой мощности. // Астана, КазАТУ. – 2008. – 17 с.

Материал поступил в редакцию 19.06.15.

А. Б. Кайдар, Б. К. Шапкенов, А. П. Кислов, В. П. Марковский

Қазақстанда жел – электр станцияларын салудың болашағы

С. Торайгыров атындағы

Павлодар мемлекеттік университеті. Павлодар қ.

Материал 19.06.15 баспаға түсті.

A. B. Kaidar, B. K. Shapkenov, A. P. Kislov, V. P. Markovsky

Prospects of wind power plant construction in Kazakhstan

Бұл мақала жел энергетикасына назар аудартуға арналған. Қазақстан аумағының жел әлеуетті қарастырылған, алғаш рет қарастырылған әлеуетті келешегі бар ашық тау-кен, ҚР ҰЯО аймағы мен Қ. Сәтпаев каналының жел-аймақтары ұсынылған. Алғаш рет биіктің функциясынан тәуелді жел жылдамдығының математикалық және эксперименталды жылдамдығы келтірілген.

This article is intended to draw attention to the issues of wind power. Considered the wind potential in Kazakhstan, first proposed previously not considered potentially promising wind platforms on open cast mining, dumps the territory of the Republic of Kazakhstan National Nuclear Center, and Canal of Kanysh Satpayev. For the first time are shown the experimental and mathematical relationships of wind speed as a function of height.

УДК 621.318.563

М. Я. Клецель¹, А. В. Нефтисов²

¹д.т.н., профессор. Энергетический институт. Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск;

²докторант PhD. Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар

РЕЛЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТИ НА ГЕРКОНАХ С УПРАВЛЯЮЩЕЙ ОБМОТКОЙ

Предложено реле, содержащее два геркона с обмотками управления и катушкой индуктивности, усилитель, фазоповоротную схему, два диода и микроконтроллер. Показано, как с помощью герконов находить переходы синусоид тока и напряжения через ноль для определения направления мощности. Дана оценка быстродействия и чувствительности.

Ключевые слова: Релейная защита, трансформатор тока, магнитное поле, реле направления мощности, геркон, управляющая обмотка.

Значение релейной защиты (РЗ) в электроэнергетике сложно недооценить, так как своевременное отключение при возникновении аварийной ситуации и быстрое восстановление энергоснабжения без ее

функционирования невозможно. Основными элементами РЗ являются реле, от точности и быстродействия которых зависят масштабы повреждений электрооборудования при возникновении аварийных ситуаций. Традиционно устройства РЗ получают информацию о токах с помощью трансформаторов тока ТТ, которые в переходных режимах могут иметь большие погрешности, кроме того они металлоемки, например стоимость ТТ для сетей 6-35 кВ близка к стоимости устройств защиты, так как они выполняются из высококачественных меди и стали [1]. Поэтому одним из перспективных направлений развития РЗ является создание устройств, не использующих ТТ для получения информации [2, 3].

Для создания устройств РЗ не требующих для получения информации ТТ нами выбраны герконы, т.к. они имеют ряд преимуществ [4] перед другими магниточувствительными элементами.

Свойства герконов позволяют строить устройства для сравнения электрических величин по фазе, например [4]. Уже предложены реле тока, реле сопротивления [1] и реле направления мощности [5] на герконах. Однако последнее имеет следующие недостатки: для обеспечения полярности срабатывания герконов они постоянно находятся в сработанном состоянии под действием магнитного поля, созданного значительным постоянным током в обмотках подмагничивания, что уменьшает срок их службы и увеличивает возможность излишнего срабатывания при больших кратностях тока короткого замыкания, к тому же, устройство использует значительное число элементов, что уменьшает его надежность.

В данной работе предпринята попытка создать реле направления мощности на герконах [6], лишенное указанных недостатков. Структурная схема реле представлена на рисунке 1.

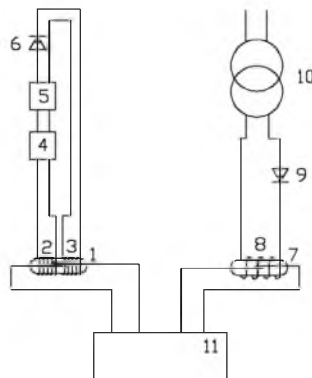


Рисунок 1 – Структурная схема реле направления мощности на герконах

Реле содержит геркон 1, который расположен под шиной электроустановки, на безопасном от нее расстоянии и жестко закреплен в катушке 2 индуктивности с обмоткой 3 управления так, чтобы ось геркона совпала с осью катушки 2, усилитель 4, фазоповоротную схему 5, диоды 6 и 9, геркон 7 с обмоткой управления 8 и микроконтроллер 11.

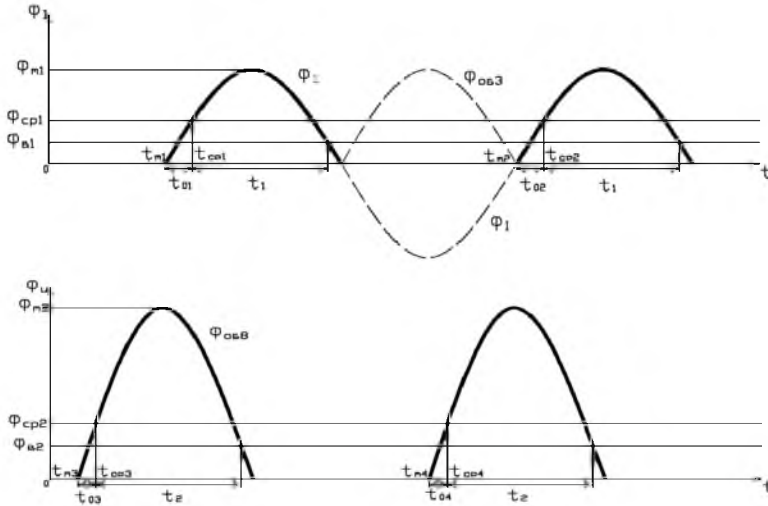


Рисунок 2 – Магнитные потоки, действующие на герконы

На рисунке 2 представлены суммарный магнитный поток $\Phi_{\Sigma} = \Phi_1 + \Phi_{об3}$, Φ_1 – создан переменным синусоидальным током I в шине электроустановки, вблизи которой установлен геркон 1, $\Phi_{об3}$ и $\Phi_{об8}$ – созданные током $I_{об3}$ в обмотке 3 управления, и током в обмотке 8, которые воздействуют на герконы 1 и 7, соответственно, $\Phi_{ср1}$, $\Phi_{ср2}$ и $\Phi_{в1}$, $\Phi_{в2}$ – магнитные потоки, при которых замыкаются и размыкаются контакты герконов 1 и 7, t_{01} и t_{02} – промежутки времени от моментов перехода через ноль из отрицательных в положительные полуволны синусоид магнитных потоков Φ_{Σ} и $\Phi_{об8}$ до моментов срабатываний герконов, $t_{ср1}$, $t_{ср2}$ и $t_{ср3}$, $t_{ср4}$ – моменты срабатывания герконов, t_{m1} , t_{m2} и t_{m3} , t_{m4} – моменты перехода Φ_{Σ} и $\Phi_{об8}$ через ноль из отрицательной в положительную полуволну.

Реле определяет сдвиг фаз между напряжением U и током I промышленной частоты, используя разность между моментами перехода из отрицательных в положительные полуволны их синусоид. Магнитные потоки Φ_1 и Φ_U им прямо пропорциональны. Поэтому определение сдвига между U и I равносильно определению сдвига между Φ_1 и Φ_U или Φ_{Σ} и $\Phi_{об8}$. Мы будем рассматривать последние, т.к. именно они воздействуют

на герконы и достигнув величин Φ_{cp1} и Φ_{cp2} создают магнитодвижущие силы срабатывания, которые определяются в лабораторных условиях и вводятся в микроконтроллер ещё до установки герконов вблизи шин электроустановки. После закрепления вблизи шин геркон 1 постоянно находится в работе и срабатывает только в положительную полуволну магнитного потока Φ_1 . Отрицательная полуволна компенсируется с помощью магнитного потока $\Phi_{об3}$ (рисунок 2.а). Магнитный поток Φ_1 наводит ЭДС

$$E = - \frac{d\Phi_{np}}{dt}$$

на выходе катушки 2 индуктивности. ЭДС подается на входы усилителя 4, где происходит ее увеличение. Оно должно быть таким, чтобы поток $\Phi_{об3}$ по амплитуде был равен Φ_1 . В фазоповоротной схеме 5 ЭДС сдвигается по фазе на 90 градусов так, чтобы $I_{об3}$ совпадал по фазе с током I в шине электроустановки. Полярность подключения обмотки 3 к выходам фазоповоротной схемы 5 через последовательно включенный диод 6 должна быть такой, чтобы индукция потока $\Phi_{об3}$ была направлена встречно индукции потока Φ_1 . Диод 6 пропускает только одну из полувольт ЭДС в обмотку 3. Следовательно, и ток $I_{об3}$ и поток $\Phi_{об3}$ появляются в ней только в эту полуволну. Для определения момента времени перехода синусоиды потока Φ_{Σ} из отрицательной в положительную полуволну через ноль необходимо знать момент t_{cp1} срабатывания геркона и амплитуду Φ_{m1} магнитного потока, созданного током в шине электроустановки. Микроконтроллер запоминает момент t_{cp1} , измеряет время t_1 от момента его срабатывания до момента возврата и рассчитывает амплитуду Φ_{m1} по методике, изложенной тут [7]. Время t_{01} от момента перехода через ноль синусоиды до момента срабатывания геркона 1 вычисляется по известной формуле 2:

$$\Phi_{cp1} = \Phi_m I \sin(\omega t_{01}) \quad (1)$$

$$t_{01} = \frac{\arcsin\left(\frac{\Phi_{cp1}}{\Phi_{m1}}\right)}{\omega} \quad (2)$$

Момент времени перехода через ноль синусоиды Φ_{Σ} из отрицательной в положительную полуволну

$$t_{m1} = t_{cp1} - t_{01} \quad (3)$$

Геркон 7 постоянно находится в работе, как и геркон 1. Минимальное напряжение, подаваемое на обмотку 8, при котором он срабатывает равно $0.05 U_n$. На него действует только положительная полуволна магнитного потока в обмотке 8, благодаря последовательно включенному диоду 9.

Ток в обмотке 8, создающий магнитный поток Φ_{068} , сдвинут по фазе на угол ψ относительно напряжения, подводимого от вторичной обмотки трансформатора 10 напряжения. Поэтому ψ должен учитываться при определении угла между U и I . Угол ψ называется углом внутреннего сдвига реле. Он зависит от индуктивного и активного сопротивления обмотки 8. Определение момента времени перехода через ноль синусоиды Φ_{068} из отрицательной в положительную полуволну осуществляется так же, как и для геркона 1. Запоминается в микроконтроллере t_{cp3} , измеряется время t_2 замкнутого состояния геркона 7, и по t_2 рассчитывается амплитуда Φ_{m2} по той же методике что и для геркона 1. Затем вычисляется время t_{03} от момента перехода через ноль синусоиды магнитного потока Φ_{068} до момента срабатывания геркона 7,

$$t_{03} = \frac{\arcsin\left(\frac{\Phi_{\varphi 2}}{\Phi_{m2}}\right)}{\omega} \quad (4)$$

Момент времени перехода через ноль синусоиды Φ_{068} из отрицательной в положительную полуволну

$$t_{m3} = t_{cp3} - t_{03} - \psi \cdot 0,01/180 \quad (5)$$

где 0,01 – длительность полуволны в секундах,

180 – в градусах.

Сдвиг фаз между Φ_{068} и Φ_{Σ} , который равен сдвигу между Φ_1 и Φ_U и равен углу между U и I , определяется по следующей формуле:

$$\varphi(\Phi_{068} \wedge \Phi_{\Sigma}) = \frac{-(t_{m3} - t_{m1})}{0,01} \cdot 180 \quad (6)$$

Для всех операций со временем используются часы микроконтроллера, на которых установлено реальное астрономическое время. Время считается с точностью не менее 1 мкс. В момент срабатывания геркона 1 запоминается время t_{cp1} на часах. Для определения t_{m1} из t_{cp1} вычитается рассчитанное время t_{01} . Например, геркон 1 сработал в $t_{cp1} = 13:05:01,000155$. Переводим это время в секунды по формуле:

$$t_{cp1} = (\text{ч} \cdot 60 + \text{мин}) \cdot 60 + \text{сек} = (13 \cdot 60 + 5) \cdot 60 + 1,000155 = 47101,000155 \text{ сек} \quad (7)$$

Затем по формуле 2 рассчитывается $t_{01} = 0,002$ с. Из t_{cp1} вычитается t_{01} , получается $t_{m1} = 47100,998155$ с. Геркон 7 сработал в $t_{cp3} = 13:05:00,996855$.

Это время переводится в секунды по формуле 7, и получается 47100,996855 с. Затем по формуле 4 рассчитывается $t_{03}=0,0015$ с. Из t_{cp3} вычитается t_{03} , получается $t_{m3} = 47100,995355$ с. Угол между напряжением и током находится по формуле 6. Откуда $\varphi = 50,4$ градусов.

Оценим быстродействие предложенного РНМ. Как видно из изложенного выше для определения сдвига фаз между напряжением и током необходимо провести 54 операции (математических вычислений и присвоений). Например, если использовать микроконтроллер с частотой 24 МГц, то для их реализации понадобится не более 5 мкс. Помимо расчетов необходимо время на измерения времени замкнутых состояний герконов. Самое длительное измерение будет при $\varphi(U \wedge I) \approx 180$, так как в данном случае его продолжительность может доходить до 0,02 сек. Так же необходимо учесть время срабатывания выходного реле, которое у быстродействующих реле составляет не более 0,01 сек. Поэтому быстродействие предложенного РНМ, учитывая работу всех его элементов, оценивается в 0,03 сек.

Чувствительность реле ограничивается магнитодвижущей силой F_{cp} , при которой срабатывают герконы, допустимым по технике безопасности расстоянием h между герконом I и токоведущей шиной, вблизи которой он установлен и точностью его установки, влиянием магнитных потоков (помех), созданных в нормальных режимах токами фаз своей и соседних электроустановок и токами в земле. Современные герконы имеют достаточно малые F_{cp} и обладают весьма высокой чувствительностью при общепринятом их применении с обмоткой управления. В данном случае геркон должен срабатывать под действием МДС F , созданной магнитным потоком от тока I в шине, причем в соответствии с [8] при совпадении продольной оси геркона с направлением напряженности поля

$$\frac{F}{l} = \frac{I}{2\pi h} \quad (8)$$

где l – длина катушки индуктивности, в которую помещается МК при определении F_{cp} в заводских условиях.

При отсутствии помех ток в шине, при которой срабатывает геркон $I_{cp} = \frac{F_{cp} \cdot 2\pi h}{l}$. Но при наличии помех для отстройки от их действия в ряде случаев нужно иметь (например [9]) $I > I_{cp}$, и тогда $F > F_{cp}$, т.е. чувствительность ограничивается не F_{cp} , а F . Такая зависимость чувствительности реле от внешних факторов, конечно, ограничивает его применение, но не для построения направленных максимальных токовых защит (МТЗ) на герконах. Дело в том, что герконы их пусковых органов должны отстраиваться, как и у не направленных МТЗ [9] на герконах от влияния тех же факторов.

В рассмотренном РНМ на герконах используется меньшее количество элементов, чем в известном [5]. Это позволяет надеяться, что оно будет надежнее.

Вывод: Предложенное реле направления мощности может быть использовано для построения направленных максимальных токовых защит без трансформаторов тока на герконах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Клепель, М. Я., Жуламанов, М. А. Реле сопротивления на герконах// Электротехника. – 2004. – №5.

2 Клепель, М. Я. Основы построения релейной защиты на герконах// Материалы IV Междунар. науч.-техн. конф. СИГРЭ «Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем». – Екатеринбург. 3-7 июня 2013. СП-10.

3 Любомир, А. Коджович, Мартин Т. Бишоп. Современная релейная защита с датчиками тока на базе катушки Роговского// Сборник докладов междунар. науч.-техн. конф. СИГРЭ «Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем». – Москва, 7-10 сентября 2009. – С. 39-48.

4 Клепель, М. Я., Майшев, П. Н. Особенности построения на герконах дифференциально-фазных защит трансформаторов // Электротехника. – 2007. – № 12.

5 Клепель, М. Я. Реле направления мощности / А.С. №1686580 СССР. / Бюл. изобр. – № 39-1991.

6 Клепель, М. Я., Нефтисов, А. В., Кабдуалиев, Н. М., Исабекова, Б. Б. Реле направления мощности на герконах// Инновационный патент РК №28736 бюл. № 7 15.07.2014.

7 Клепель, М. Я., Майшев, П. Н., Жантлесова, А. Б., Нефтисов А. В. Способ определения установившегося тока короткого замыкания с помощью замыкающих герконов / Энергетическое обследование как I этап реализации концепции энергосбережения: материалы Международной молодежной конференции/ТПУ. – Томск : Изд-во ООО «СПБ Графикс», 2012. – 280 с.

8 Клепель, М. Я., Мусин, В. В. О построении на герконах защит высоковольтных установок без трансформаторов тока // Электротехника. – 1987. – № 4. – С. 11-13.

9 Клепель, М. Я., Мусин, В. В. Выбор тока срабатывания максимальной токовой защиты без трансформаторов тока на герконах // Промышленная энергетика. – 1990. – № 4. – С. 32-36.

Материал поступил в редакцию 22.06.15.

М. Я. Клецель¹, А. В. Нефтисов²

Басқарушы орамды геркондардың қуатының реле бағыты

¹Ұлттық зерттеу ТПУ, Энергетика институты, Томбы қ., Ресей;

²С. Торайғыров атындағы

Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.

Материал 22.06.15 баспаға түсті.

M. Kletsel¹, A. Neftissov²

Directional power relay on the reed switch with the control winding

¹NR TPU, Institute of Power Engineering, Tomsk, Russia;

²S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.

Material received on 22.06.15.

Басқару орамалары бар екі герконда асыраған реле ұсынылған, және индуктивтілік орауышымен, күшейткіш, фазаайналмалы сұлбаны, екі диод және микроконтроллер. Көрсеткен, токтың синусоидаларының өткелдері геркондардың көмегімен кернеу нөл арқылы тапқан қуат бағытын анықтау. Тезәрекеттік және сезгіштікке баға берілген.

There is offered the relay that contains two reed switches with control windings and inductor, booster, phase shifting circuit, two diodes and a microcontroller. It is shown how to use the reed switch for finding sinusoid current and voltage transitions through zero to determine the direction of power. There is given the estimation of speed and sensitivity.

УДК 621.316.925.1

М. Я. Клецель¹, А. Н. Бергузинов²

¹д.т.н., профессор, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск; ²докторант PhD, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар

КОНСТРУКЦИЯ ДЛЯ КРЕПЛЕНИЯ ГЕРКОНОВ В ЗАКРЫТЫХ ТРЕХФАЗНЫХ ТОКОПРОВОДАХ

Предложена конструкция для крепления герконов вблизи токопроводящих шин, закрепленных в металлической трубе. Показано как можно изменять положение геркона относительно шин, используя детали, из которых состоит конструкция (салазки, рычаги, направляющие, диски с указателем и шкалой по окружности).

Ключевые слова: крепление, герконы, регулирование, токопровод.

Введение. Как неоднократно отмечалось на международных конференциях по большим энергетическим системам (СИГРЭ) [1, 2], одной из актуальных задач электроэнергетики является разработка релейной защиты (РЗ), не использующей трансформаторы тока (ТА). Для построения такой РЗ вместо ТА могут использоваться различные магнитоуправляемые элементы, например на датчиках Холла [3], магнитотранзисторах [4] и герконах [5, 6]. Выбор того или иного решения может быть осуществлен только после детальной проработки и опыта эксплуатации, но, независимо от того с помощью каких элементов будет осуществляться получение информации о токе, эти элементы должны крепиться в магнитном поле токов токопровода электроустановки. Для этого потребуются специальные конструкции. В настоящее время они разработаны только для открытых токопроводов [7, 8]. В данной работе предлагается конструкция для закрытых токопроводов. Основное требование для подобных конструкций – необходимость в расположении магнитоуправляемых элементов на безопасном расстоянии от токоведущих шин и выполнение на неметаллических элементах.

Конструкция (рис. 1, 2) [9] содержит первый геркон 1, закрепленный с помощью первых зажимов 2 на первом диске 3 с указателем 4 и шкалой 5 по окружности, второй 6, третий 7 и четвертый 8 диски с указателем 4 и шкалой 5 по окружности, второй 9, третий 10 и четвертый 11 герконы, закрепленные посредством вторых 12, третьих 13 и четвертых 14 зажимов, соответственно, к второму 6, третьему 7 и четвертому 8 дискам, четыре сплошные пластины 15 для крепления дисков, по двум сторонам которых перпендикулярно прикреплены пластины 16 с прорезью, четыре выдвижные платформы 17

со шкалой 18 на ней, первый стержень 19, прикрепленный распорками 20 к оболочке 21, второй 22, третий 23, четвертый 24 стержни и пятый стержень 25 с резьбой, регулировочную ручку 26, закрепленную на пятом стержне 25, восемь рычагов 27 с отверстиями 28 в середине и в первом конце рычага, восемь цилиндров, каждый из которых прикреплен перпендикулярно к второму концу соответствующего рычага и входит в прорези пластины 16, салазки 29, резиновые буферы 30 (фиг.5), первые 31 и вторые 32 направляющие, причем салазки 29 вставлены во вторые направляющие 32, а резиновые буферы 30 закреплены во вторых направляющих 32 на первом стержне 19, второй 22 и третий 23 стержни вставлены в отверстия первых концов рычагов 27 и в первые направляющие 31 каждой выдвигной платформы 17, на второй стержень 22 насажена гайка 33, с третьим стержнем 23 скреплен пятый стержень 25, который входит резьбой в гайку 33 на втором стержне 22 и задним концом подвижно закрепляется в третьем стержне 23, на второй 22 и третий 23 стержни насажены рычаги 27, в отверстия 28 которых в середине рычага входит четвертый стержень 24.

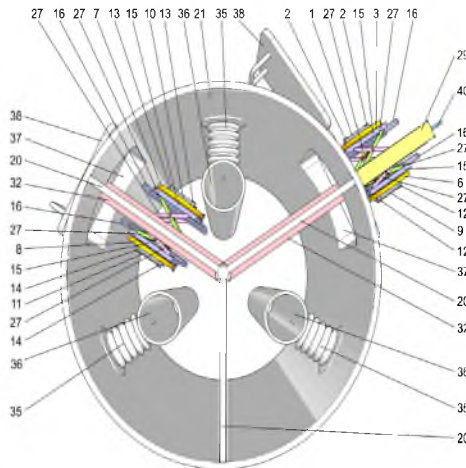


Рисунок 1 – Измерительный орган для токовых защит закрытых токопроводов (общий вид в изометрии)

Второй стержень 22 двигаясь по первым направляющим 31 приводит в движение шарнирно сопряженные с ним и стержнями 23 и 24 рычаги 27. Верхние концы рычагов 27 своими цилиндрами входят в прорези на пластине 16. При движении первого стержня 19 происходит изменение угла между рычагами 27 относительно стержня 24 и, соответственно, подъем, либо опускание пластины 15 с диском 3(6,7,8) и герконом 1(9,10,11). Во

время настройки высоты перемещения геркона определяем по шкале 18, нанесенной на выдвижной платформе 17 и указателю 34 на втором стержне 22, а угол поворота по шкале 5, нанесенной на диске 3(6,7,8) (фиг. 2). Все части устройства выполняются из диэлектрического материала.

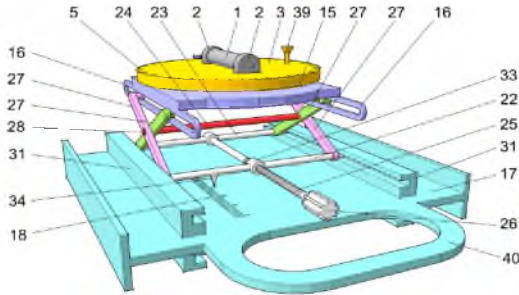


Рисунок 2 – Основной узел этого же измерительного органа в изометрии

В оболочке 21 токопровода на изоляторах 35 установлены токоведущие шины 36. Также в оболочке 21 токопровода имеются два люка 37, закрываемые крышками 38. В люке неподвижно установлены вторые направляющие 32, которые одним концом крепятся к первому стержню 19, а другим концом приварены к горловине люка 37. В направляющие 32 вставлены салазки 29, которые могут перемещаться вдоль этих направляющих. Движение салазок 29 ограничивается резиновыми буферами 30, установленными в направляющих 32 (фиг. 1, 5).

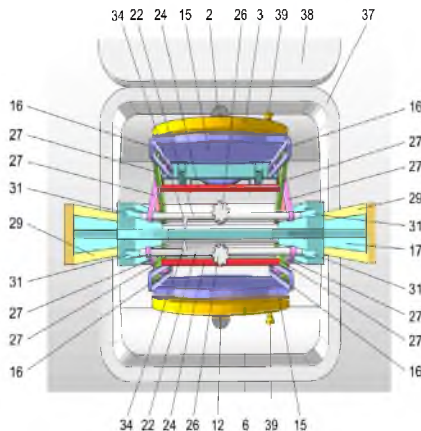


Рисунок 3 – Вид со стороны люка

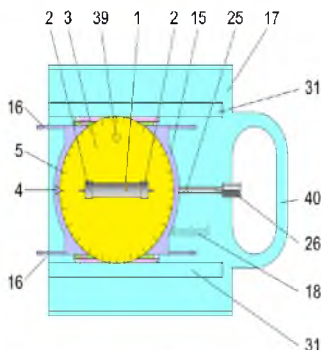


Рисунок 4 — Вид сверху

Геркон служит воспринимающим органом релейной защиты. Чтобы выставить уставку срабатывания токовой защиты необходимо перемещать геркон вверх или вниз и вращать на диске. Поднимать вверх и опускать вниз можно поворачивая регулировочную ручку 26 (фиг. 2, 3). Вращение диска 3 (6, 7, 8) осуществляется с помощью ручки 39 (фиг. 2, 3, 4). Все перемещения производятся вручную.

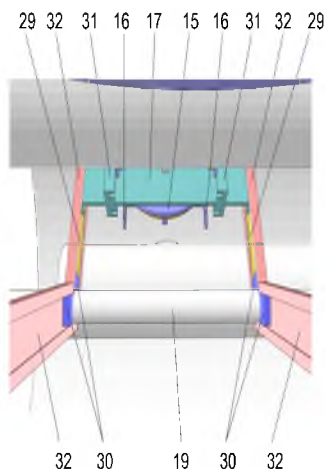


Рисунок 5 – Вид на первый стержень и вторые направляющие

В условиях эксплуатации, для того, чтобы осуществлять сказанное, необходимо открыть крышку 38 люка и выдвинуть платформу наружу с помощью ручки 40 (фиг. 1).

Экономический эффект заключается в экономии стали и меди за счет того, что измерительный орган выполняет функции трансформатора тока и реле без использования металлоемких и дорогостоящих трансформаторов тока.

Выводы. Предложенная конструкция позволяет закреплять герконы вблизи токоведущих шин закрытых трехфазных токопроводов и регулировать уставки релейной защиты, меняя их положение относительно шин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Клецель, М. Я.** Основы построения релейной защиты на герконах. Материалы 4-ой международной конференции «Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем» CIGRE. – Екатеринбург, 2013.

2 **Кожович, Л. А., Бишоп, М. Т.** Современная релейная защита на базе катушки Роговского. Современные направления развития релейной защиты и автоматики энергосистем. Сборник докладов конференции, CIGRE. – Москва, 2009.

3 **Меерович, Э. А.** Измерение токов линий высшего напряжения по их магнитным полям / Э. А. Меерович, Л. А. Назаров, Г. Х. Карабаев, Б. П. Кокуркин // Электричество, 1980. – № 7. – С. 32-40.

4 **Гречухин, В. Н.** Опыт разработки преобразователей тока в напряжение на магнитотранзисторах для устройств релейной защиты и измерения / В. Н. Гречухин, В. Н. Нуждин, В. В. Глускина, И. А. Новожилов, К. С. Дмитриев // Энергетик, 1997. – № 6. – С. 14-16.

5 **Клецель, М. Я., Жуламанов, М. А.** Реле сопротивления на герконах. – М. : Электротехника, 2004. – № 5. – С. 38-44.

6 **Жантлесова, А. Б., Клецель, М. Я., Майшев, П. Н., Нефтисов, А. В.** Идентификация установившегося тока короткого замыкания с помощью герконов. – М. : Электротехника, 2014. – № 4.

7 **Клецель, М. Я., Майшев, П. Н., Таронов, К. С.** Конструкции для регулирования уставок релейной защиты // Омский научный вестник, 2004. – № 4(29). – С. 110 -112.

8 **Клецель, М. Я., Токомбаев, М. Т., Жантлесова, А. Б.** Конструкции для настройки защит на герконах токопроводов напряжением 6÷35 кВ. Вестник РГРТУ. – Рязань, 2008. – № 2 (выпуск 24).

9 **Клецель, М. Я., Бергузинов, А. Н.** Измерительный орган для токовых защит закрытых токопроводов. Инновационный патент № 29879, опубл. 15.05.2015, бюл. № 5, Республика Казахстан, 2015.

Материал поступил в редакцию 22.06.15.

М. Я. Клецель¹, А. Н. Бергузинов²

Жабық үшфазалы токөткізгіштерде геркондарды бекітуге арналған құрылғы

¹Ұлттық зерттеу Томск политехникалық университеті;

²С. Торайғыров атындағы

Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.

Материал 22.06.15 баспаға түсті.

M. Ya. Kletsel¹, A. N. Berguzinov²

Construction for fixing magnetically operated sealed switches in closed three-phase electrical pathways

¹National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia.

²S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.

Material received on 22.06.15

Металл құбырында бекітілген токөткізгіш шинаға жақын геркондарды бекітуге арналған құрылғы ұсынылған. Конструкцияның құрамына кіретін бөлшектерді (сүйретпе шаналар, шінтіректер, бағыттаушылар, нұсқағыш пен шеңбер бойымен шкаласы бар дисктер) қолданып, шинаға қатысты герконның қалай орнын ауыстыру екендігі көрсетілген.

In the article the construction for securing magnetically operated sealed switches near the electrical pathways fixed in a metal pipe is proposed. It is shown how to modify the position of magnetically operated sealed switches against busbar wires, using parts that make up the structure (sleds, levers, pathways, wheels with a pointer and scale around the circumference).

УДК 620.91

**Б. В. Лукутин¹, Е. Ж. Сарсикеев², М. А. Сурков³,
Р. М. Мустафина⁴, Д. Б. Мустафина⁵**

¹д.т.н., профессор; ²к.т.н., доцент; ³ст. преподаватель, кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий», Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия; ⁴к.т.н., доцент, профессор, кафедра «Электротехника и автоматизация», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар; ⁵студент 3-го курса специальности «Информационные технологии и системы», Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТРОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ АВТОНОМНОГО ВЕТРОДИЗЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

В статье приведена методика моделирования развиваемой мощности ветровой электростанции в зависимости от скорости ветра. На основании оценки погрешности моделирования выбрана оптимальная модель. Материалы статьи могут быть полезны специалистам в области ветроэнергетики.

Ключевые слова: ветроэнергетика, моделирование, электроснабжение.

Для электроснабжения удаленных потребителей электрической энергии используются автономные дизельные (бензиновые) электростанции. В соответствии с энергетической политикой РФ до 2020 года планируется замещение 20 млн.т.у.т. традиционных энергоносителей возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ), при этом наиболее реализуемой на практике является энергия ветра. Проблема оптимизации режимов работы гибридных автономных ветродизельных комплексов электроснабжения (ВДКЭ) актуальна для повышения энергоэффективности их работы.

В данной работе рассмотрены вопросы моделирования энергетических характеристик ветроэлектростанций (ВЭС), позволяющие определить условия повышения энергоэффективности рабочих режимов ветроэнергетического оборудования в составе ВДКЭ с целью повышения производства электроэнергии и уменьшения потребления топлива тепловыми электрическими станциями, входящими в гибридную систему электроснабжения.

Ветрогенераторы крыльчатой конструкции имеют большую эффективность по сравнению с ветрогенераторами карусельного, роторного и барабанного типов, которые имеют малый коэффициент использования энергии ветра и тихоходность.

В статье приведены результаты решения задачи разработки методики по оценке развиваемой ВЭС мощности в зависимости от скорости ветра. Предлагаемая методика универсальна для предварительного оценочного расчета на начальной стадии проектирования без привязки к конкретной модели и производителю оборудования. Это объясняется тем, что на начальной стадии расчетов не требуется высокая точность; кроме того, не все производители приводят информацию с кривыми мощности ВЭС в зависимости от скорости ветра. Обычно представляется информация о номинальной мощности ВЭС при рабочих скоростях ветра, размах и количество лопастей, а также стартовая и максимальная рабочая скорости ветра.

При разработке методики рассмотрены трехлопастные быстроходные ВЭС с горизонтальной осью вращения в диапазоне мощностей от 1 кВт до 1 МВт фирм производителей Ветросвет, ЛМВ, Радуга, Jacobs, Vestas, Norwin, Wind Electric, Bay Winds и др. В расчетах использованы технические данные по ВЭС производителей.

Расчет мощности ветроэнергетической установки можно провести по упрощенной формуле [1]

$$P = \frac{V^3 \cdot D^2 \cdot \xi}{2080},$$

где V – скорость ветра, м/с;

D – диаметр ветроколеса, м;

ξ – коэффициент использования энергии ветра, зависящего от типа ветродвигателя и режима его работы (для быстроходных колес $\xi_{\text{макс}} = 0,45 - 0,48$).

В результате проведенных исследований и расчетов построены зависимости мощности турбин от скорости ветра. Рассмотрены три подхода к определению мощности ВЭС и оценены полученные результаты:

1) развиваемая мощность ВЭС определяется в относительных единицах (о.е.), где 0 соответствует нулевой развиваемой мощности ВЭС, а 1 соответствует номинальной мощности ВЭС при номинальной скорости ветра. Скорость ветра определяется в м/с. Используя выборку ВЭС разных мощностей и производителей, методом статистической аппроксимации построена усредненная зависимость развиваемой мощности ВЭС в диапазоне скоростей ветра от 3 м/с до 16 м/с

$$P, \text{ о.е.} = f(V, \text{ м/с}); \quad (1)$$

2) развиваемая мощность ВЭС определяется в относительных единицах, где 0 соответствует нулевой развиваемой мощности ВЭС, а 1 соответствует номинальной мощности ВЭС при номинальной скорости ветра. Скорость ветра также определяется в относительных единицах, где 0 соответствует нулевой скорости ветра, а 1 соответствует номинальной скорости ветра. Используя выборку ВЭС разных мощностей и производителей, методом статистической аппроксимации построена интегральная зависимость развиваемой мощности ВЭС в диапазоне скоростей ветра от 3 м/с до 16 м/с (рисунок 1) [2]

$$P, \text{ о.е.} = f(V, \text{ о.е.}) . \quad (2)$$

Развиваемая мощность ВЭС (P , кВт) определяется как номинальная мощность ВЭС, помноженная на отношение кубов скоростей ветра среднемесячного к номинальному по формуле (3) [3]

$$P_{ВЭУ} = P_{\text{ном}} \frac{V_{\text{ср.мес}}^3}{V_{\text{ном}}^3} . \quad (3)$$

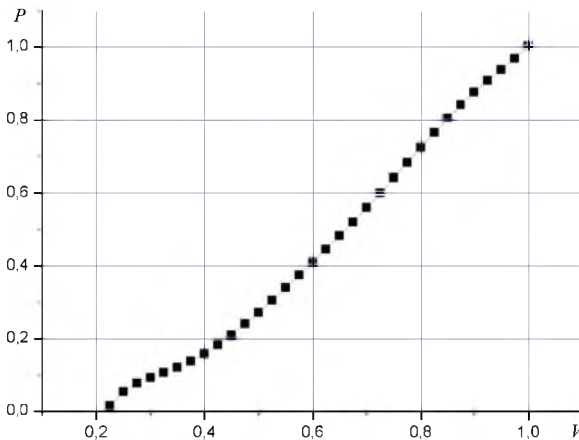


Рисунок 1 – Кривая расчета мощности ВЭС

Для оценки погрешности используемых методов, использовалась формула

$$\delta = \frac{P_{\text{тех}} - P_{\text{расч}}}{P_{\text{тех}}} \cdot 100\% .$$

где $P_{\text{тех}}$ – мощность ВЭС из технических данных производителя;

$P_{\text{расч}}$ – мощность ВЭС, определенная по математической зависимости.

В качестве эталона использованы зависимости, предоставленные производителем рассматриваемых ветроэнергетических установок [4].

В результате проведенного исследования, можно сделать следующие выводы:

Вариант I: исследуемая зависимость (1) – для большинства ВЭС максимальные значения погрешности составляют от 15 до 80 % в начале исследуемой зависимости и от 5 до 20 % в конце (рисунки 2, 4);

Вариант II: исследуемая зависимость (2) – для большинства ВЭС максимальные значения погрешности составляют от 10 до 30 % в начале зависимости и от 0 до 5 % в конце зависимости (рисунки 2, 4);.

Вариант III: исследуемая зависимость (3) – для большинства ВЭС максимальные значения погрешности составляют от 70 % при малых скоростях ветра, и приближается к 0 % при близких к номинальным значениям скоростях ветра (рисунки 2, 5)

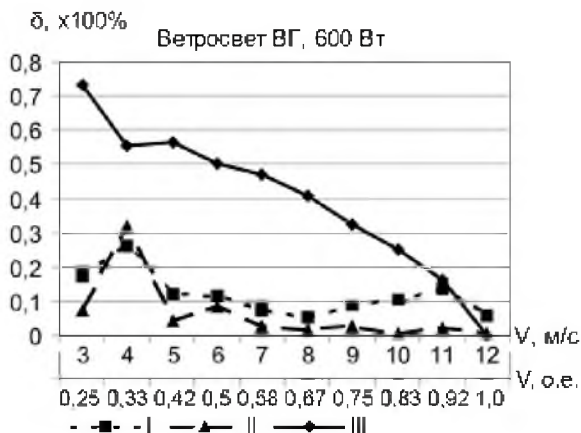


Рисунок 2 – Погрешности вычислений мощности ВЭС Ветросвет ВГ (600 Вт) для методов I, II, III

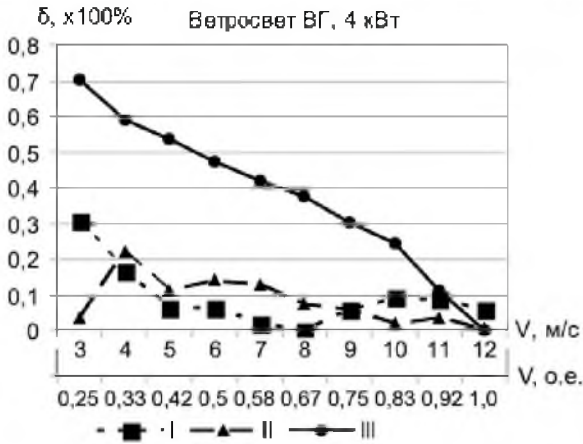


Рисунок 3 – Погрешности вычислений мощности ВЭС Ветросвет ВГ (4 кВт) для методов I, II, III

Наиболее статистически распространенный диапазон скоростей ветра 30..100 % от $V_{ном}$, то есть скорости ветра, при которых ВЭС может устойчиво работать и вырабатывать хотя бы небольшое количество электроэнергии.

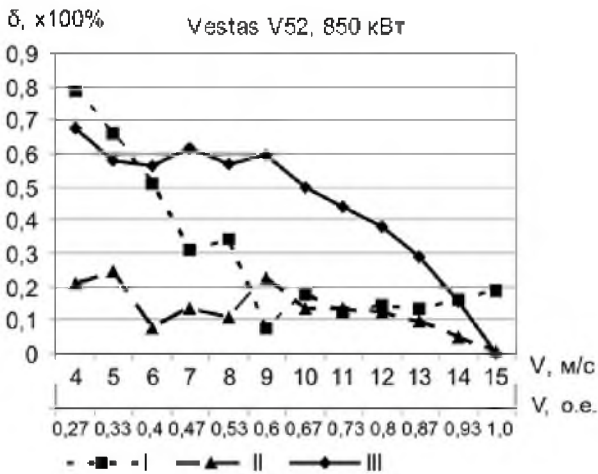


Рисунок 4 – Погрешности вычислений мощности ВЭС Vestas V52 (850 кВт) для методов I, II, III

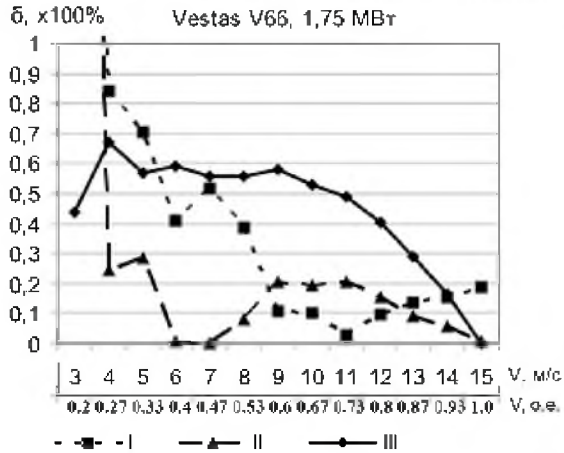


Рисунок 5 – Погрешности вычислений мощности ВЭС Vestas V66 (1,75 МВт) для методов I, II, III

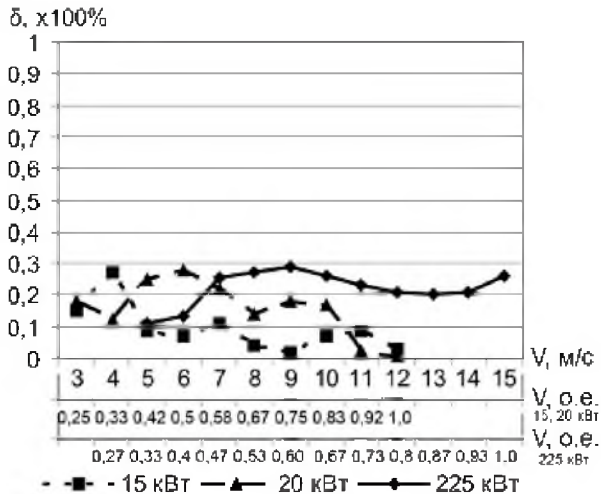


Рисунок 6 – Сравнение погрешности вычислений метода II для ВЭС с разной установленной мощностью

Исходя из полученных погрешностей, предпочтительным вариантом для предварительных оценочных вычислений развиваемой мощности ВЭС в зависимости от скорости ветра на интересующем нас участке является расчет по средней зависимости (2) (Вариант «II») [5].

На рисунке 6 показано распределение погрешностей в зависимости от скорости ветра и мощности ветроэнергетической установки. Из рисунка следует, что расчетная кривая дает схожие погрешности при вычислении развиваемой мощности ВЭС в широком диапазоне установленных мощностей лопастных ВЭС с горизонтальной осью вращения.

В результате аппроксимации получен полином

$$P_{\text{ВЭС}} = -4,99097 + 68,51873 \cdot V - 384,85551 \cdot V^2 + 1156,95476 \cdot V^3 - 2002,37199 \cdot V^4 + 2010,85391 \cdot V^5 - 1088,84193 \cdot V^6 + 245,73667 \cdot V^7, \quad (4)$$

где $P_{\text{ВЭС}}$ – мгновенная мощность ВЭС в о.е. от номинальной мощности ВЭС,
 V – скорость ветра в о.е. от номинальной для ВЭС скорости ветра.

Учитывая проведенные исследования, для моделирования развиваемой мощности ВЭС целесообразно использовать расчетную кривую, представленную на рисунке 1. Структурная схема модели развиваемой мощности ВЭС в системе MatLab представлена на рисунке 7.

Для работы блока необходимы исходные данные о номинальной мощности ветроэнергетической установки $P_{\text{ВЭС,НОМ}}$ и скорости ветра $V_{\text{ВЭС,НОМ}}$, при которой достигается номинальная мощность ВЭС. На вход блока определения текущей вырабатываемой мощности ВЭС подаются данные о текущих ветровых условиях, на основе этих данных проводится расчет текущей максимально возможной развиваемой мощности ВЭС. Тогда аналитическое выражение (4) будет иметь следующий вид:

$$P_{\text{ВЭС}} = P_{\text{ВЭС,НОМ}} \cdot (-4,99097 + 68,51873 \cdot V/V_{\text{ВЭС,НОМ}} - 384,85551 \cdot V/V_{\text{ВЭС,НОМ}}^2 + 1156,95476 \cdot V/V_{\text{ВЭС,НОМ}}^3 - 2002,37199 \cdot V/V_{\text{ВЭС,НОМ}}^4 + 2010,85391 \cdot V/V_{\text{ВЭС,НОМ}}^5 - 1088,84193 \cdot V/V_{\text{ВЭС,НОМ}}^6 + 245,73667 \cdot V/V_{\text{ВЭС,НОМ}}^7), \quad \text{кВт} \quad (5)$$

где $P_{\text{ВЭС,НОМ}}$, кВт – номинальная мощность ВЭС,

V , м/с – текущая скорость ветра,

$V_{\text{ВЭС,НОМ}}$, м/с – номинальная скорость ветра ВЭС.

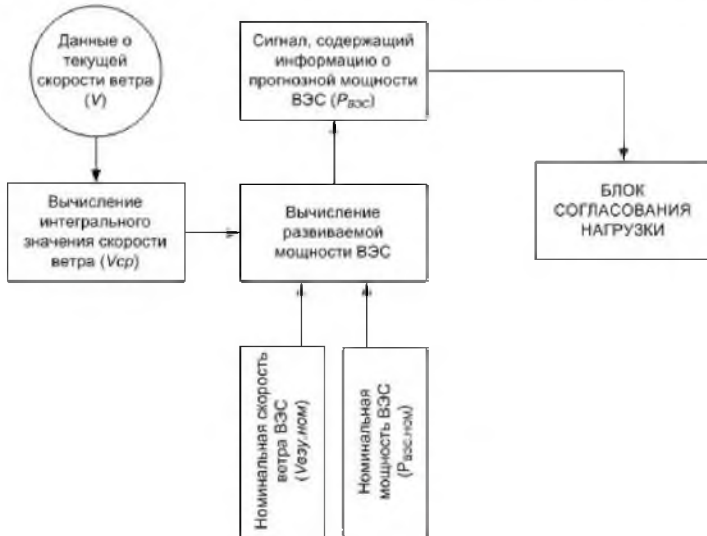


Рисунок 7 – Структурная схема модели ВЭС в среде MatLab

Применение аналитического выражения (4) в модели энергопреобразования ВЭС дает возможность оценить характеристики ВЭС без привязки к конкретной модели оборудования для конкретной скорости ветра, что упрощает сравнительный анализ режимов работы в составе ветродизельного комплекса электроснабжения. Особенностью созданной модели является универсальность и относительно малое значение погрешности в наиболее распространенном диапазоне скоростей ветра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России / Коллектив авторов. – СПб. : Наука. 2002. – 314 с.

2 Сурков, М. А., Лукутин, Б. В. Расчет вырабатываемой мощности ветроэнергетической установки. // Вестник Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности – Чита: РИК ЧитГУ. 2010. – Т15. – № 4. – С. 133-137.

3 Данченко, А. М., Лукутин, Б. В., Обухов, С. Г. и др. Кадастр возможностей / под ред. Б. В. Лукутина. – Томск : Изд-во НТЛ. 2002. – 280 с.: ил.

4 World Wide Wind Turbines Catalogue Manufacturers [Электронный ресурс] – World Wide Wind Turbines b.v. – Режим доступа : <http://www>.

worldwidewindturbines.com/en/wind-turbines/select-wind-turbine-capacities/
свободный. Дата обращения: 14.04.2009.

5 Easy calculation of wind energy generator output // Modern Technique and Technologies: Proceedings of the 12th International Scientific and Practical Conference of Students, Post-graduates and Young Scientists – Tomsk. – 27–31 March 2006. – Tomsk : TPU Press, 2006 – Т. 1. – С. 112–115.

Материал поступил в редакцию 22.06.15.

Б. Лукутин¹, М. Сурков¹, Е. Сарсикеев¹, Р. Мұстафина², Д. Мұстафина¹

Электр жабдықтарының желдік-дизельдік автономды кешенінің желдік электр станцияларының энергетикалық сипаттамаларын үлгілеу

¹Томбы саясы техникалық

Ұлттық зерттеу университеті, Томбы қ.;

²С. Торайғыров атындағы

Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.

Материал 22.06.15 баспаға түсті.

B. Lukutin¹, M. Surkov¹, E. Sarsikeev¹, R. Mustafina², D. Mustafina¹

Simulation of the energy characteristics of autonomous wind-diesel complex power supply's wind power

¹National research Tomsk

Polytechnic University, Tomsk, Russia;

²S. Toraihyrov Pavlodar State University, Pavlodar.

Material received on 22.06.15.

Мақалада желдік электр станциясының желдің жылдамдығынан тәуелді дамытылатын қуатын үлгілеу әдістемесі келтірілген. Үлгілеу қателіктерін бағалау негізінде оптимальды модель таңдап алынған. Мақалада келтірілген материалдар желдік энергетика саласындағы мамандарға пайдалы болуы мүмкін.

The article describes the modeling technique of wind power developed capacity as a wind speed function. Based on estimates of the error simulation the optimal model was selected. The article submissions may be useful for specialists in the wind energy field.

УДК 621.313

М. Ж. Мусагажинов

магистрант. Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОВЕРКИ ЭЛЕКТРОСЕКУНДОМЕРА

В работе представлены разработанное устройство для автоматической поверки электросекундомеров, составлен алгоритм функционирования и представлено программное обеспечение для реализации данного проекта.

Ключевые слова: Поверка электросекундомера, автоматическая система, программное обеспечение.

Автоматизация позволяет частично или полностью освободить человека от исполнения циклических процессов, или процессов выполняющихся по строго заданному алгоритму. В настоящее время трудно себе представить производство, где все или часть процессов контролируются без ведома человека, уведомляя его только в случае неисправности или предаварийной ситуации. Поэтому создание автоматических систем является актуальным вопросом.

При наладке средств автоматики для снятия временных характеристик применяются электросекундомеры. В связи с наличием на производствах средств поверки купленных более 30 лет назад, в частности электросекундомеров, возникает необходимость в поверке самого электросекундомера. Устройства для поверки электросекундомеров весьма сложны и отсутствуют на производстве. Поэтому создание автоматической системы поверки электросекундомеров, нацеленной для эксплуатации на производстве является актуальным вопросом.

За прототип для разработки автоматической системы поверки электросекундомеров было взято известное устройство для автоматической поверки электросекундомера [1].

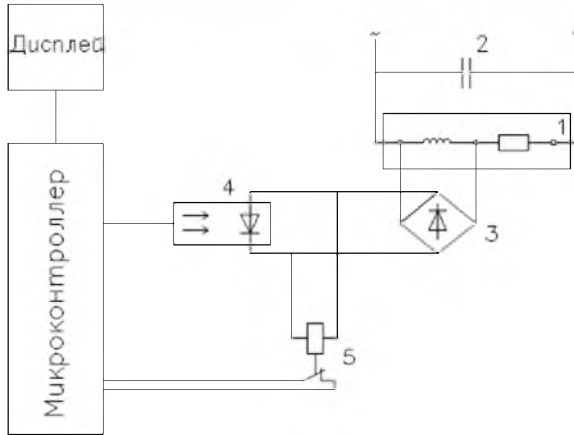


Рисунок 1 – устройство, с помощью которого предлагается реализовать автоматическую систему поверки электросекундомера

Из-за отклонения частоты сети от номинального значения возникает дополнительная погрешность, для допускаемой по ГОСТ 8.286-78 частоты 49 Гц и наибольшего предела прибора 10,0 с, достигает 0,2с, что значительно превышает регламентируемое значение абсолютной погрешности, и исправный прибор может быть забракован.

Для исключения погрешности от отклонения частоты сети, предлагается подводить питание к катушке электросекундомера через LC фильтр, который рассчитан на 50 Гц. Т.е. после этого фильтра на катушку электросекундомера будет поступать синусоида с частотой 50 Гц. Данный фильтр состоит из конденсатора 2 и самой катушке электросекундомера. В данном случае катушка остается родной, а рассчитывается конденсатор под частоту 50 Гц и индуктивность катушки электросекундомера.

Устройство работает следующим образом. Микроконтроллер подает сигнал на оптопару 4, тиристорный ключ ее выключается и запускает электросекундомер при переходе синусоиде через ноль. Размыкает контакты реле 5 с высоко-омной катушкой, тем самым запуская таймер Т для отсчета нужного промежутка времени при поверке электросекундомера. После того как таймер остановиться, подается сигнал на оптопару 4, включается ключ и шунтирует катушку электросекундомера, тем самым его останавливая. Далее сверяем время на электросекундомере и на таймере. Определяем погрешность при ее наличии. Данные о таймере и кнопка пуск выполнена на сенсорном дисплее.

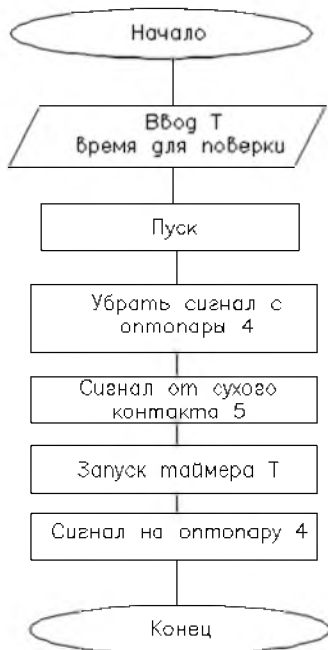


Рисунок 2 – алгоритм, по которому функционирует устройство для автоматической поверки электросекундомера

После включения устройства в сеть и подключения электросекундомера вводится промежуток времени, на которое мы хотим осуществить поверку, т.е. выставляем предел. Нажимаем на кнопку пуск на сенсорном экране, контроллер снимает сигнал с оптопары 4, ждет сигнал от сухого контакта, который говорит о начале работы электросекундомера. И запускает таймер с промежутком времени введенным ранее. Как таймер остановился, подается сигнал на оптопару, тем самым, шунтируя катушку электросекундомера, т.е. останавливая его. Далее метролог проверяет соответствие введенного времени и полученного на электросекундомере.

Интерфейс автоматической системы поверки электросекундомера представлен на рисунке 3.



Рисунок 3

В графу «задание» вносится временной предел, на который будет поверяться электросекундомер. При нажатии на область с 0 всплывает вспомогательное окно (рисунок 4). В данном окне вводится промежуток времени, далее нажимается на кнопку ПУСК, стартует таймер, после того как таймер остановился, сверяем значение в графе результат и значение на самом электросекундомере, при наличии не соответствия значений друг другу, вычисляется погрешность.



Рисунок 4

В данной работе представлен результат проделанной работы по созданию автоматической системы поверки электросекундомера.

По проведенным исследованиям и работам были получены следующие результаты:

- разработана автоматическая система для поверки электросекундомеров;
- будет подана заявка на изобретение по результат проделанной работе.

Экономический эффект от применения разработанного продукта заключается в отсутствии необходимости обращаться к метрологическим лабораториям для поверки имеющихся электросекундомеров, что приводит к экономии средств. Так же возможен экономический эффект после патентования данного устройства и при дальнейшем продвижении продукта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Бороденко, В. А., Бороденко, Г. Н.** Устройство для программного управления поверкой электромеханического секундомера / А.С. №1269089 СССР. / Бюл. изобр. – № 41-1986.

Материал поступил в редакцию 23.06.15.

М. Ж. Мұсагажипов

Электр секундомерді автоматты тексеру жүйесі

С. Торайгыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті. Павлодар қ.
Материал 23.06.15 баспаға түсті.

M. Musagajinov

Automatic checking of electric stopwatches

S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.
Material received on 23.06.15

Берілген жұмыста автор электрсекундомерді автоматты тексеру үшін құрастырылған құрылғыны ұсынады. Құрылғының жұмыс істеу алгоритмі, жобаны іске асыру үшін ұсынылған бағдарламалық қамтамасыз ету қарастырылған.

The paper presents the developed device for automatic calibration of the electric timer. An algorithm of operation of the device was created. Presented software for the project.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ ПГУ ИМЕНИ С. ТОРАЙГЫРОВА
(«ВЕСТНИК ПГУ», «НАУКА И ТЕХНИКА КАЗАХСТАНА»,
«КРАЕВЕДЕНИЕ»)

1. В журналы принимаются статьи по всем научным направлениям в 1 экземпляре, набранные на компьютере, напечатанные на одной стороне листа с межстрочным интервалом 1.5, с полями 30 мм со всех сторон листа, электронный носитель со всеми материалами в текстовом редакторе «Microsoft Office Word (97, 2000, 2007, 2010) для WINDOWS».

2. Общий объем статьи, включая аннотацию, литературу, таблицы, рисунки и математические формулы не должен превышать **8-10 страниц**.

3. Статья должна сопровождаться рецензией доктора или кандидата наук для авторов, не имеющих ученой степени. Для статей, публикуемых в журнале «Вестник ПГУ» химико-биологической серии, требуется экспертное заключение.

4. Периодичность издания журналов – 4 раза в год (ежеквартально)

Статьи должны быть оформлены в строгом соответствии со следующими правилами:

1. УДК по таблицам универсальной десятичной классификации;
2. Инициалы и фамилия (-и) автора (-ов) – на казахском, русском и английском языках, абзац по левому краю;
3. Название статьи – на казахском, русском и английском языках, заглавными буквами жирным шрифтом, абзац по левому краю;
4. Резюме на казахском, русском и английском языках: кегль – 10 пунктов, курсив, отступ слева-справа – 3 см, интервал 1,0 (см. образец);
5. Текст статьи: кегль – 14 пунктов, гарнитура – Times New Roman (для русского, английского и немецкого языков), KZ Times New Roman (для казахского языка);
6. Межстрочный интервал 1.5 (полуторный);
7. Список использованной литературы (ссылки и примечания в статье обозначаются сквозной нумерацией и заключаются в квадратные скобки). Статья и список литературы должны быть оформлены в соответствии с ГОСТ 7.5-98; ГОСТ 7.1-2003 (см. образец).

На отдельной странице

В бумажном и электронном вариантах приводятся:

– название статьи, сведения об авторе: Ф.И.О. полностью, ученая степень, ученое звание и место работы на казахском, русском и английском языках (для публикации в разделе «Наши авторы» и «Содержание»);

– **полные почтовые адреса, номера служебного и домашнего телефонов, e-mail** (для связи редакции с авторами, не публикуются);

1. Иллюстрации, перечень рисунков и подрисовочные надписи к ним представляют по тексту статьи. В электронной версии рисунки и иллюстрации представляются в формате TIF или JPG с разрешением не менее 300 dpi.

2. Математические формулы должны быть набраны в Microsoft Equation Editor (каждая формула – один объект).

3. Автор просматривает и визирует грани статьи и несет ответственность за содержание статьи.

4. Редакция не занимается литературной и стилистической обработкой статьи. Рукописи не возвращаются. Статьи, оформленные с нарушением требований, к публикации не принимаются и возвращаются авторам.

5. Оплата за публикацию в научном журнале составляет **5000 (Пять тысяч) тенге**.

6. Статью (бумажная, электронная версии, оригинал квитанции об оплате) следует направлять по адресу:

140008, Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, 64, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, Издательство «Кереку», каб. 137.

Тел. 8 (7182) 67-36-69, (внутр. 1147), факс: 8 (7182) 67-37-05.

E-mail: kereky@mail.ru

Наши реквизиты:

РГП на ПХВ Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова РНН 451800030073 БИН 990140004654	РГП на ПХВ Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова РНН 451800030073 БИН 990140004654
АО «Деснабанк» ИНК KZ57998FTB00 00003310 БИК TSESKZK A Кбе 16 Код 16 КНП 861	АО «Народный Банк Казахстана» ИНК KZ156010241000003308 БИК HSBKZZKX Кбе 16 Код 16 КНП 861

ОБРАЗЕЦ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

УДК 316:314.3

А. Б. Есимова**СЕМЕЙНО-РОДСТВЕННЫЕ СВЯЗИ
КАК СОЦИАЛЬНЫЙ КАПИТАЛ
В РЕАЛИЗАЦИИ РЕПРОДУКТИВНОГО МАТЕРИАЛА**

В настоящей статье автор дает анализ отличительных особенностей репродуктивного поведения женщин сквозь призму семейно-родственных связей.

На современном этапе есть тенденции к стабильному увеличению студентов с нарушениями в состоянии здоровья. В связи с этим появляется необходимость корректировки содержания учебно-тренировочных занятий по физической культуре со студентами, посещающими специальные медицинские группы в.....

Продолжение текста публикуемого материала.

Пример оформления таблиц, рисунков, схем:

Таблица 1 – Суммарный коэффициент рождаемости отдельных национальностей

	СКР, 1999 г.	СКР, 1999 г.
Всего	1,80	2,22

Диаграмма 1 – Показатели репродуктивного поведения

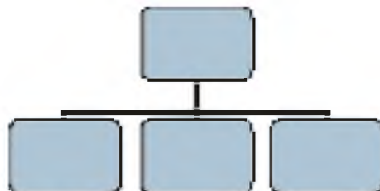
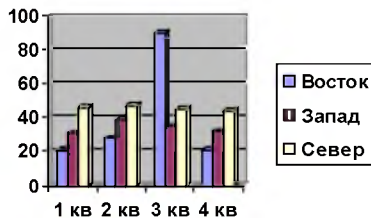


Рисунок 1 – Социальные взаимоотношения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Эльконин, Д. Б.** Психология игры [Текст] : научное издание / Д. Б. Эльконин. – 2-е изд. – М. : Владос, 1999. – 360 с. – Библиогр. : С. 345–354. – Имен. указ. : С. 355–357. – ISBN 5-691-00256-2 (в пер.).

2 **Фришман, И.** Детский оздоровительный лагерь как воспитательная система [Текст] / И. Фришман // Народное образование. – 2006. – № 3. – С. 77–81.

3 Антология педагогической мысли Казахстана [Текст] : научное издание / сост. К. Б. Жарикбаев, сост. С. К. Калиев. – Алматы : Рауан, 1995. – 512 с. : ил. – ISBN 5625027587.

Место работы автора (-ов):

Международный Казахско-Турецкий университет имени
Х. А. Яссави, г. Туркестан.
Материал поступил в редакцию 22.04.15.

А. Б. Есімова

Отбасылық-туысты қатынастар репродуктивті мінез-құлықты жүзеге асырудағы әлеуметтік капитал ретінде

Қ. А. Ясауи атындағы Халықаралық
қазақ-түрік университеті, Түркістан қ.
Материал 22.04.14 редакцияға түсті.

A. B. Yessimova

The family-related networks as social capital for realization of reproductive behaviors

K. A. Yesevi International Kazakh-Turkish University, Turkestan.
Material received on 22.04.15.

Бұл мақалада автор Қазақстандағы әйелдердің отбасылық-туыстық қатынасы арқылы репродуктивті мінез-құлықты айырмашылықтарын талдайды.

In the given article the author analyzes distinctions of reproductive behavior of married women of Kazakhstan through the prism of the kinship networks.

Теруге 24.06.2015 ж. жіберілді. Басуға 30.06.2015 ж. кол қойылды.
Форматы 70x100 1/16. Кітап-журнал қағазы.
Көлемі шартты 3,7 б.т. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.
Компьютерде беттеген: А. Елемесқызы
Корректорлар: А. Елемесқызы, А. Р. Омарова, З. С. Исакова
Тапсырыс № 2621

Сдано в набор 24.06.2015 г. Подписано в печать 30.06.2015 г.
Формат 70x100 1/16. Бумага книжно-журнальная.
Объем 3,7 ч.-изд. л. Тираж 300 экз. Цена договорная.
Компьютерная верстка: А. Елемесқызы
Корректоры: А. Елемесқызы, А. Р. Омарова, З. С. Исакова
Заказ № 2621

«КЕРЕКУ» баспасынан басылып шығарылған
С. Торайғыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«КЕРЕКУ» баспасы
С. Торайғыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.
67-36-69
E-mail: kereky@mail.ru