

ISSN 2413-5526

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ТЕХНОЛОГИИ

Научный журнал

Т. 3 № 3

**Севастополь
2017**

Э 651 Энергетические установки и технологии: науч. журнал. – Севастополь: ФГАОУ ВО СевГУ, 2017. – Т. 3. - № 3. – 84 с.: ил.

В научный журнал «Энергетические установки и технологии», включены статьи, посвященные актуальным вопросам современной энергетики. Журнал состоит из разделов: тепловые и ядерные энергетические установки, электротехнические комплексы и системы, экологическая безопасность, химические технологии атомных станций, информационные технологии в энергетике, моделирование физических процессов, физика в ядерной энергетике, автоматизация процессов контроля и управления, судовые энергетические установки, холодильные установки, гидравлические энергоустановки, компьютерная инженерия и техническая диагностика.

Предназначен для научных работников, инженеров и специалистов, работающих на предприятиях и в организациях энергетики, аспирантов и студентов технических вузов. Журнал выходит 4 раза в год.

Редакционная коллегия:

Качур С.А. (главный редактор), д.т.н., доцент;
Омельчук Ю.А. (заместитель главного редактора), к.х.н., доцент;
Черкашина Н.И. (ответственный секретарь), к.т.н., доцент;
Сафонов В.А., д.т.н., профессор; *Пухлий В.А.*, д.т.н., профессор;
Пучков В.Н., д.т.н., профессор; *Акимов А.М.*, д.т.н., профессор;
Федоровский К.Ю., д.т.н., профессор; *Олейников А.М.*, д.т.н., профессор;
Тимошенко А.И., д.т.н., профессор; *Карницкий А.Б.*, д.т.н., профессор;
Высоцкий В.Е., д.т.н., профессор; *Краснодубец Л.А.*, д.т.н., профессор;
Прибатурин Н.А., д.т.н., профессор; *Кирияченко И.А.*, к.т.н., профессор;
Магдыч Е.А., к.т.н., доцент; *Федорова С.А.*, к.пед.н., доцент;
Мирошниченко С.Т., к.т.н., доцент; *Свириденко И.И.*, к.т.н., доцент;
Матузаев К.Б., к.т.н., доцент; *Скидан А.А.*, к.т.н., доцент;
Углов А.В., к.т.н., доцент; *Шайтор Н.М.*, к.т.н., доцент;
Ерофеев В.А., к.т.н., доцент; *Ожиганова М.И.*, к.т.н., доцент;
Гусева Е.В., к.т.н., доцент; *Щекатурина Т.Л.*, д.х.н., доцент

Учредитель и издатель:

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет».
ул. Университетская, 33. Севастополь, 299053, Российская Федерация

Рекомендован к печати Ученым советом ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство ПИ № ФС 77 – 64120 от 25.12.2015 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Тепловые и ядерные энергетические установки	5
<i>Качур С.А.</i> Гравитационное взаимодействие пространственно-временных монополей естественных реакторов	5
<i>Качур С.А.</i> Уравнение пространственно-временного монополя реактора	12
Автоматизация процессов контроля и управления	20
<i>Дикусар Ю.Г., Кузнецова Н.И., Серова-Нашева Н.В., Сулейменова М.Б.</i> Исследование абсолютной устойчивости нелинейных дискретных систем автоматического регулирования	20
<i>Качур С.А., Шахова Н.В., Петров С.В.</i> Построение динамической системы управления электроснабжением региона на основе нейросетевых технологий	26
Электротехнические комплексы и системы	33
<i>Высоцкий В.Е., Чушев В.Д., Нагирняк А.А.</i> Малошумный асинхронный двигатель с двухслойным ротором для модельных испытаний	33
<i>Качур С.А.</i> Модификация транспортной задачи при наличии перераспределения ресурсов между потребителями	39
<i>Куликова Н.А., Титаренко О.Н.</i> Плавка гололеда на проводах и тросах воздушных линий электрических сетей	45
<i>Рясков Ю.И., Шайтор Н.М.</i> Новый способ защиты электрических двигателей общепромышленного исполнения при аварийном затоплении	51
<i>Углов А.В., Углова М.Б.</i> Анализ переходного процесса при синхронизации синхронного генератора на параллельную работу с энергосистемой	58
<i>Шайтор Н.М., Горпинченко А.В., Рясков Ю.И.</i> Законодательные основы энергосбережения в Крымском регионе	65
Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии	73
<i>Кувшинов В.В., Какушина Е.Г., Косий А.Г., Кувшинов В.В.</i> Исследование сезонной работы промышленного фотоэлектрического модуля PS 250	73
Химические технологии атомных станций	79
<i>Федорова С.А., Магдыч Е.А., Кухта Ю.А.</i> Исследование изменения β -активности модельных растворов при использовании нанопорошка диоксида кремния в присутствии катионов Na^+ , Mg^{2+} и Fe^{3+}	79

CONTENTS

Thermal and nuclear power plant	5
<i>Kachur S.A.</i> Gravitation Interaction of Space-time Monopole of Natural Reactors	5
<i>Kachur S.A.</i> Equation of Spatio-temporal Monopole of Reactor	12
Process automation and control	20
<i>Dikumar Ju.G., Kuznetsova N.I., Serova-Nasheva N.V., Suleimenova M.B.</i> Research of absolute stability of nonlinear discrete systems of automatic control	20
<i>Kachur S.A., Shakhova N.V., Petrov S.V.</i> Construction of the Dynamic Control System by Power Supply of Region on the Basis of Neuronet Technologies	26
Electrotechnical complexes and systems	33
<i>Vysotsky V.E., Chushev V.D., Nagirniak A.A.</i> Low noise double-layer solid-rotor induction motor for modeling tests	33
<i>Kachur S.A.</i> Modification of Traffic Problem at Presence of Redistribution of Resources between Users	39
<i>Kulikova N.A., Titarenko O.N.</i> De-icing of wires and cables in overhead electric power networks	45
<i>Rjaskov J.I., Shaytor N.M.</i> New method of defence of electric engines at emergency flood	51
<i>Uglov A.V., Uglova M.B.</i> Analysis of transitional process synchronization of synchronous generator on parallel work with a network	58
<i>Shaytor N.M., Gorpinchenko A.V., Rjaskoff Y.I.</i> The legislative basis of energy saving in the Crimean region	65
Alternative and renewable energy sources	73
<i>Kuvshinov V.V., Kakyshina E.G., Kjsiy A.G.</i> Seasonal study of industrial photoelectric module PS 250	73
Chemical technology of nuclear power plants	79
<i>Fedorova S.A., Magdych E.A., Kukhta Yu.A.</i> A study of the change in the beta activity of model solutions using nanopowder silicon dioxide in the presence of cations of Na^+ , Mg^{2+} and Fe^{3+}	79

ТЕПЛОВЫЕ И ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

УДК 621.039.56

Гравитационное взаимодействие пространственно-временных монополей естественных реакторов

С.А. Качур

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33,
г. Севастополь, 299053, Россия, kachur_62@mail.ru

Статья поступила 04.09.2017 г.; после доработки 06.09.2017 г.

Аннотация

Высказано предположение, что несоответствие движения космических объектов, например, более высокая скорость разбегания галактик или изменение орбиты планеты, может быть обусловлено наличием у естественных реакторов пространственно-временных монополей. Получено уравнение гравитационного взаимодействия пространственно-временных монополей естественных реакторов, для которого известный закон всемирного тяготения является частным случаем.

Ключевые слова: гравитационное взаимодействие, естественный реактор, галактика, метод аналогий, циклон, антициклон.

Gravitation Interaction of Space-time Monopole of Natural Reactors

S.A. Kachur

Sevastopol state university, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, kachur_62@mail.ru

Received 04.09.2017 y.; received in final form 06.09.2017 y.

Abstract

Supposition is outspoken, that disparity of motion of space objects, for example, more high speed of running approach of galaxies or change of orbit of planet, can be conditioned by a presence at the natural reactors of space-time monopole. Equalization of gravitation co-operation of space-time monopole of natural reactors is got, for which the known law of the law of gravity is the special case.

Keywords: gravitation interaction, natural reactor, galaxy, method of analogies, cyclone, anticyclone

Введение

В настоящее время значительно возросло количество фактов взаимодействия космических объектов, которые не описываются стандартной космологической моделью [1-3]. В частности, скорости разбегания галактик, поворот орбит планет, как в случае Меркурия, и т.д.

В работах [4-9] показано, что в качестве ядра как планетарных и галактических систем, так и Вселенной выступает сингулярность, функцио-

нирующая как естественный реактор.

Исходя из такого подхода, необходимо при взаимодействии космических объектов рассматривать не только их массу и размеры, но и кривизну пространства вблизи объектов, порождаемую сингулярностью в виде пространственно-временного монополя. При определенных условиях гравитационные взаимодействия определяются, в том числе, монополями естественных реакторов.

Существует широкий спектр методов вывода

аналитических зависимостей и построения моделей. Одним из широко используемых эвристических методов создания новых представлений о реальности является метод аналогий.

В статье предлагается провести аналогию между атмосферными вихрями (циклонами и антициклонами) [10] и галактиками, звездами, планетами, подразумевая, что внутри монополей таких космических объектов имеется установившееся (стационарное) движение. Например, для планетарной системы стационарным движением является движение планет по своим орбитам, для галактики – это движение по своим траекториям звезд относительно сингулярности (центра галактики). Траектории и орбиты на карте неба можно рассматривать как изобары на карте погоды.

Для сравнения представим атмосферные вихри на карте погоды (рис. 1) и результат моделирования распределения вещества во Вселенной, полученный в проекте AGORA (AGORA project — Assembling Galaxies of Resolved Anatomy) (рис. 2).

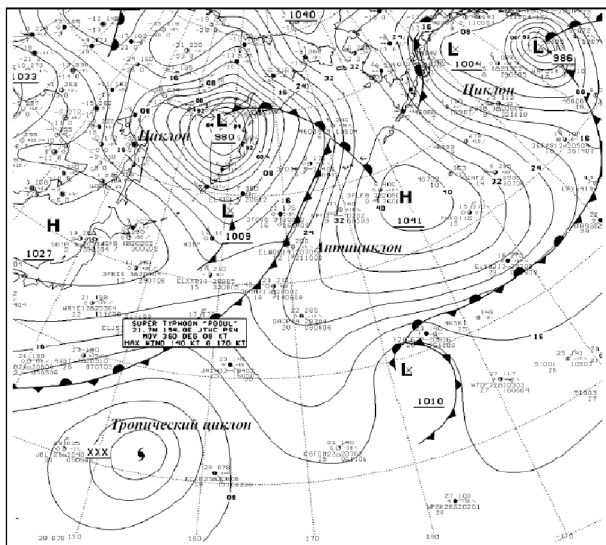


Рис. 1. Атмосферные вихри на карте погоды (<http://weather.noaa.gov/fax/surface.shtml#sfpac>).

Для рассуждений можно ввести следующую параллель: видимая Вселенная является неким слоем атмосферы (вакуума) космического реактора и, например, галактики – это циклоны в этой атмосфере. На небольшом участке космоса можно предполагать, что волновая деформация пространства отсутствует.

Необходимо подчеркнуть, что такого рода аналогии не отражают физической сути явлений, а лишь являются приемами для получения необходимого уравнения гравитационного взаимодей-

ствия пространственно-временных монополей.

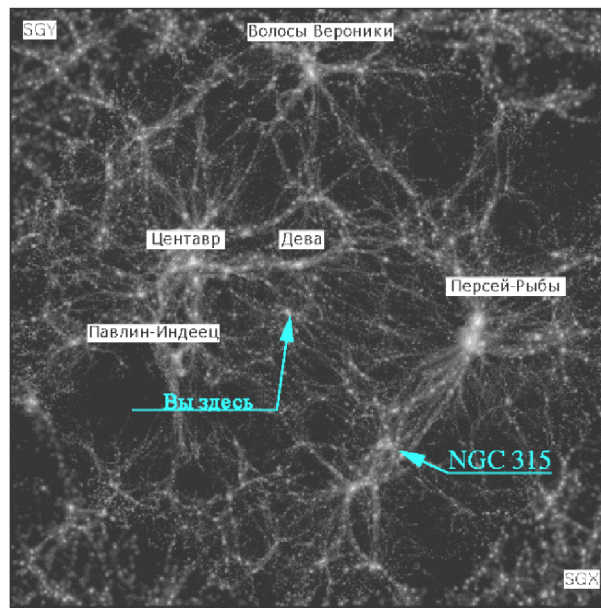


Рис. 2. Результат компьютерного моделирования распределения галактических нитей и пустот.

Источник: Klaus Dolag.

Цель и задачи исследования

Целью исследования является построение математического описания гравитационных взаимодействий пространственно-временных монополей естественных реакторов для расширения возможностей современных космологических моделей.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- 1) выявление аналитических зависимостей в области метеорология, приемлемых для описания гравитационных взаимодействий монополей;
- 2) вывод уравнения гравитационного взаимодействия пространственно-временных монополей.

Аналогии между понятиями и параметрами взаимодействий циклонов (антициклонов) и монополей естественных реакторов

Атмосфера является чрезвычайно подвижной средой, где постоянно формируются и разрушаются вихри различных размеров.

Самые мелкие из них со скоростями ветра 100 - 200 м/с – торнадо (в Европе их называют тромбами), обладающие большой разрушительной силой, способные поднимать в воздух авто-

мобили, вырывать из Земли с корнем вековые деревья, стирать с лица Земли поселения, имеют диаметр от 20 м до 1 - 2 км. Время их существования – от нескольких минут до нескольких часов. Наиболее крупные атмосферные вихри – *внетропические циклоны и антициклоны*, имеющие различные размеры и достигающие в диаметре нескольких тысяч километров.

На рис. 3 представлен пример съемки со спутника единичного циклон.



Рис. 3. Ураган Иван над Гренадой 7 сентября 2004 года.

Когда два циклона приближаются друг к другу, их центры циркуляции начинают вращаться вокруг общего центра. Если циклоны разного размера, больший будет доминировать в этом взаимодействии, а меньший будет вращаться вокруг него. На рис. 4 видно, как сильный тайфун Melor тянет к себе более слабый шторм Парма. Метеорологи называют это явление эффектом Фудзивары.

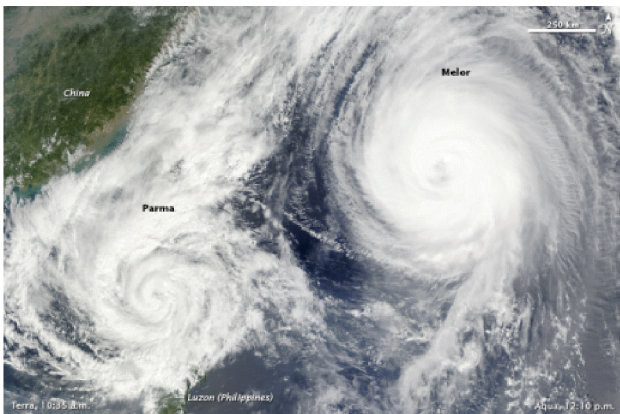


Рис. 4. Взаимодействие в юго-восточной Азии тайфуна Melor и тропического шторма Парма.

Как правило, если два тропических циклона приближаются друг к другу, они начинают циклонически вращаться вокруг оси, соединяющей их центры (рис. 5). Такие двойные циклоны могут даже соединиться в один, если их центры сойдутся достаточно близко.

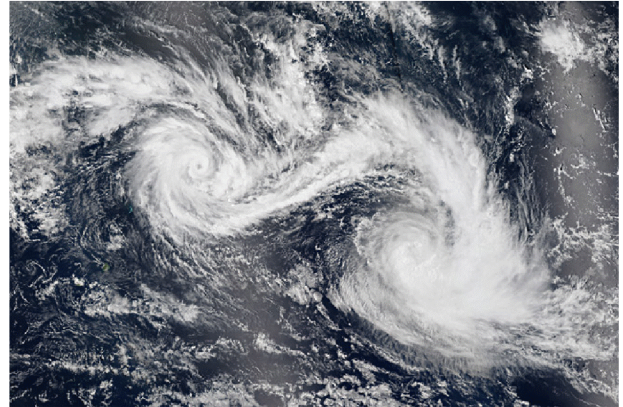


Рис. 5. Две системы циклон «Юнис» и циклон «Диамондры».

Возможно, перемычки в спиральных галактиках (рис. 6) определяются слиянием двух сингулярностей, которым их пространственно-временные монополии не дают возможности объединиться в центре.



Рис. 6. Бар (перемычка) проходит от внутренних концов спиральных ветвей (голубые) к центру галактики. NGC 1300.

Астрономы не могут объяснить слишком быстрый разлет мелких галактик от Млечного Пути (рис. 7). Их наблюдаемая скорость ставит под вопрос применимость популярной среди ученых стандартной космологической модели. Вероятно, в этом случае помимо известных гравитационных взаимодействий имеет место гравитационные взаимодействия монополей галактик.

В синоптической практике прогноз ветра осуществляется на основе моделей геострофического и градиентного ветра.

Установившееся горизонтальное движение воздуха в прямолинейных и равноотстоящих изобарах под действием двух сил, силы барического градиента и силы Кориолиса при отсутствии силы трения называют геострофическим ветром, а скорость движения – скоростью геострофического ветра.



Рис. 7. Разбегание галактик. Gemini Observatory/AURA

Под установившимся (стационарным) движением понимают движение воздуха, при котором в каждой точке пространства величина и направление средней скорости не меняются во времени. Такое движение может быть только в случае, когда равнодействующая всех сил, действующих на воздух в данной точке, равна нулю.

Скорость геострофического ветра определяется по формуле

$$V_g = \frac{1}{\rho l} \cdot \frac{\partial P}{\partial n}. \quad (1)$$

$$l = 2\omega \sin \varphi, \quad (2)$$

где l – параметр Кориолиса; ρ – плотность воздуха; ω – угловая скорость вращения Земли; $\partial P / \partial n$ – градиент давления; φ – широта.

Заменяя градиент давления в (1) значениями градиента геопотенциальных высот H изобарической поверхности, на уровне которой определяется геострофический ветер, получаем

$$V_g = \frac{g}{l} \cdot \frac{\partial H}{\partial n}, \quad (3)$$

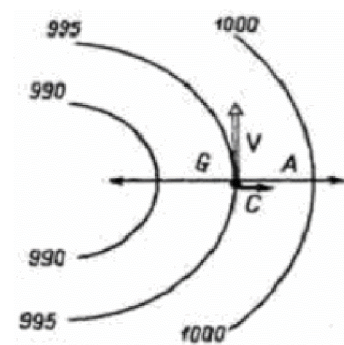
где g – напряженность гравитационного поля.

Скорость геострофического ветра является функцией барического градиента, который тем больше, чем круче наклон изобарических поверхностей к горизонту (угол β).

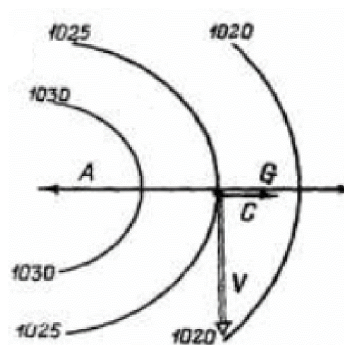
Горизонтальное движение при криволинейных траекториях, обусловленное действием 3-х сил (силы барического градиента G , силы Кориолиса A и центробежной силы C без учета силы трения (рис. 8)) называется градиентным ветром. Иногда такой ветер при круговых траекториях называют «геоциклострофическим ветром».

При градиентном ветре существует равновесие 3-х сил, и векторное уравнение движения имеет вид:

$$G + A + C = 0.$$



а)



б)

Рис. 8. Взаимное расположение действующих сил в случае градиентного ветра для циклона (а) и антициклона (б).

На движущуюся частицу действуют три силы:

- 1) сила барического градиента, модуль которой
$$G = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial n}; \quad (4)$$
- 2) сила Кориолиса с модулем
$$A = lV_{gr};$$
- 3) центробежная сила C с модулем
$$C = \frac{V_{gr}^2}{r}.$$

Результат анализа взаимодействий трех сил дает следующее выражение

$$\frac{V_{gr}}{V_g} = 1 \pm \frac{V_g}{lr}. \quad (5)$$

где знак «+» для антициклона, «-» для циклона.

Введем следующую аналогию для космических объектов: G – сила тяготения; $\partial H/\partial n$ – градиент силы гравитации при удалении от центра монополя; r – расстояние от объекта до центра монополя, относительно которого движется объект; $\varphi \equiv \alpha$, α – угол наклона оси планеты или другого космического объекта; центр циклона (антициклона) – центр монополя (сингулярность); изобара – траектория движения; циклон – ядро монополя имеет тип «скрытая сингулярность»; антициклон – ядро монополя имеет тип «голая сингулярность».

Уравнение гравитационного взаимодействия пространственно-временных монополей естественных реакторов

Рассмотрим взаимодействие двух космических объектов с учетом их монополей, при условии, что их траектории связаны с одним центром S (рис. 9).

Например, планеты в одной планетарной системе; звезды в одной галактике; галактики в одной Вселенной. Возможно два случая взаимодействий:

- 1) стационарное движение объектов относительно центра (по орбитам);
- 2) движение по криволинейным траекториям с ускорением.

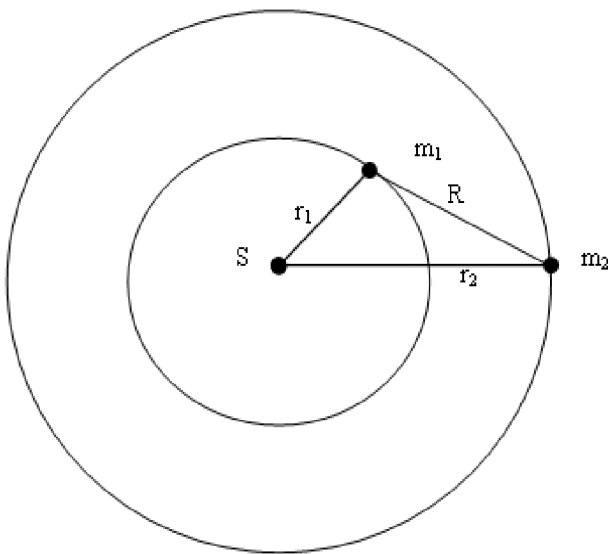


Рис. 9. Схема расположения объектов.

Выполнив преобразования, используя (1) и (3-4), получим

$$G = g \frac{\partial H}{\partial n} \equiv \gamma \frac{m}{r_0^2} \cdot \frac{\partial H}{\partial n},$$

где m и r_0 – масса и радиус объекта.

Тогда сила гравитационного взаимодействия для объектов рис. 9 будет определена следующим образом

$$G_{12} = \gamma \frac{m_1 m_2}{R^2} \cdot \frac{\partial H_1}{\partial n} \cdot \frac{\partial H_2}{\partial n}. \quad (6)$$

Коэффициент кривизны пространства монополя, исходя из принятых обозначений, задается формулой

$$k = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{V_{gr}}{V_g} \right)^2}}. \quad (7)$$

Поскольку в монополе реактора присутствуют как область сжатия, так и область расширения, соответствующие представлениям циклоне и антициклоне, то (5) преобразуется к виду

$$\left(\frac{V_{gr}}{V_g} \right)^2 = 1 - \left(\frac{V_g}{lr} \right)^2. \quad (8)$$

Поставляя (8) в (7), имеем

$$k = \frac{lr}{V_g} \quad (9)$$

или

$$V_g = \frac{lr}{k}, \quad (10)$$

$$l = 2\omega \sin \alpha. \quad (11)$$

Из соотношений (5) и (10) следует, что различие между значениями V_{gr} и V_g незначительно и им можно пренебречь.

Руководствуясь (3) и (9-11), определим $\partial H/\partial n$ следующим образом

$$\frac{\partial H}{\partial n} = \frac{2\omega \sin \alpha \cdot V_g}{g}. \quad (12)$$

Уравнение (6) примет известную форму закона тяготения, когда движение объектов стационарно, то есть для каждого объекта $\partial H/\partial n = 1$. При анализе будем использовать соотношение (12). Монополи и соответственно искривление пространства не влияют на гравитационные взаимодействия.

Это возможно в случае, когда величина $\alpha = \alpha_0 \pm \Delta$ и α_0 определяется соотношением

$$\sin \alpha_0 = \sqrt{\frac{gk}{r}} \cdot \frac{1}{2\omega}. \quad (13)$$

Проверка соотношения (13) для Земли, движущейся относительно Солнца, показала его истинность. Если в (13) подставить значения $g = 9,8 \text{ м/с}^2$, $\omega = 7,3 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$, $r = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ м}$, $k = 58$, $\alpha = 23,5^\circ$, то правая и левая части выражения (13) будут примерно равны. Отклонение α для $\alpha_0 = 25^\circ$ составляет $\Delta = -1,5^\circ$. Представляется, что $\Delta_{\max} = 0,1\alpha_0$.

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

Во-первых, закон всемирного тяготения отражает баланс кривизны пространств монополей космических объектов, т.е. «ландшафт Вселенной». Нарушение существующего баланса, изменение «ландшафта Вселенной» приводит к необходимости учета взаимодействия не только масс, но и трансформации пространств, порожаемых этими массами.

Во-вторых, угол наклона земной оси не является постоянным, он колеблется в незначительных пределах. Его флуктуации порождают климатические изменения на планете. Изменение температурного режима планеты является следствием этого процесса.

Используя (12) и (10) для каждого из объектов, произведя преобразования в (6), получим уравнение гравитационного взаимодействия пространственно-временных монополей естественных реакторов для случая, когда $\Delta > \Delta_{\max}$

$$G_{12} = \frac{4}{\gamma} \cdot \frac{r_1 r_2 r_{01}^2 r_{02}^2}{R^2 k_1 k_2} \cdot \omega_1 \omega_2 \sin \alpha_1 \sin \alpha_2. \quad (14)$$

Рассмотренный выше механизм взаимодействия монополей и следующее из него условие стационарности искривления пространства Вселенной предложены в первом приближении. Соотношение (14) не учитывает внешнее воздействие, вызывающее флуктуации угла наклона оси космического объекта.

Можно предположить, что попытка смены знака приращения для угла наклона оси планеты ($\alpha = \alpha_0 \pm \Delta$) приводит к смене полюсов планеты. В результате угол наклона оси всегда будет меньше α_0 , а приращение иметь знак «-» и описываться законом следующего вида

$$\Delta(t) = -\Delta_{\max} |\sin \omega_{KP} t|,$$

где ω_{KP} – частота внешнего электромагнитного воздействия.

Представляется, что внешним для видимой Вселенной излучателем, вызывающим ее постоянное колебание, является функционирующий космический реактор. Его электромагнитные излучения имеют достаточно широкий частот-

ный диапазон, позволяющий воздействовать на естественные реакторы космических объектов, изменяя их активность и тем самым наклон осей. Вселенная колеблется на электромагнитных волнах космического реактора.

Вероятно, отклонение движения планет например, для Солнечной системы, от теоретической связано с флуктуациями углов наклона осей планет и расположением самих планет.

Однако поскольку для объектов, находящихся в непосредственной близости, волновые колебания практически одинаковы, то флуктуации не влияют на значение силы притяжения и, следовательно, результат вычислений по (6) и (14).

Заключение

Высказано предположение, что несоответствие движения космических объектов, например, более высокая скорость разбегания галактик или изменение орбиты планеты, в том числе, Меркурия, может быть обусловлено наличием у естественных реакторов (сингулярностей) пространственно-временных монополей. Такой взгляд на характер движения космических объектов определил необходимость разработки описания гравитационных взаимодействий монополей естественных реакторов.

Для решения поставленной задачи использован метод аналогий. Рассмотрена аналогия между формой и параметрами атмосферных вихревых явлений и космических объектов, представляющих собой иерархическую систему, а именно, планетарных систем и галактик.

Проведен анализ существующих синоптических моделей для определения параметров циклонов и антициклонов.

Получено уравнение гравитационного взаимодействия пространственно-временных монополей естественных реакторов, для которого известный закон всемирного тяготения является частным случаем.

Определены условия перехода от гравитационного взаимодействия пространственно-временных монополей к закону тяготения.

Предложенное уравнение гравитационного взаимодействия может быть использовано при исследовании движения космических объектов, а также для расчета траектории полета космических аппаратов за пределами Солнечной системы.

Список литературы

1. Зельдович Я.Б., Блинников С.И., Шакура Н.И. Физические основы строения и эволюции звезд. – М.: МГУ, 1981. – 150 с.

2. Зельдович Я.Б. Новиков И.Д. Теория тяготения и эволюции звезд. – М.: Наука, 1971. – 484 с.
3. Шкловский И.С. Звезды: их рождение, жизнь и смерть. – М.: Наука, 1984. – 384с.
4. Качур С.А. Модель движения космического аппарата при межгалактических полетах и теория космического реактора // Радиоэлектроника и информатика, 2012. – Вып. 2. – С.43-49.
5. Качур С.А. Управление ядерными реакторами на основе кривизны пространства. – Севастополь: «РИБЕСТ», 2016. – 220с.
6. Качур С.А. Искривление пространства ядерного реактора вблизи мгновенной критичности посредством естественных пространственно-временных монополей //Энергетические установки и технологии: науч. журнал. – Севастополь: ФГАОУ СевГУ, 2016. – Т.2. – №1. – С. 12-19.
7. Качур С.А. Модуляция сингулярности ядерного реактора вблизи мгновенной критичности.// Энергетические установки и технологии: науч. журнал. – Севастополь: ФГАОУ СевГУ, 2015. – Т.1. – №1. – С. 18-26.
8. Качур С.А. Движение космического аппарата на основе модуляции кривизны пространства // Радиоэлектроника и информатика, 2013. – Вып. 2(21). – С.22-26.
9. Качур С.А. Модуляция кривизны пространства на основе системы ядерных реакторов// Сб.науч.тр.СНУЯЭиП - Севастополь: СНУЯЭиП, 2014. – Вып. 2(50). – С.13-26.
10. Циклоны и антициклоны. [http:// www.gismeteo.ru](http://www.gismeteo.ru)
- of modulation of space curvature. *Radioelectronika i informatika*, 2013, No. 2(21), pp. 22-26.
9. Kachur S.A. Modulation of space curvature on the basis of the nuclear reactors system. *Sb. nauch. tr. SNUYaE i P*, Sebastopol, SNUYaE i P, 2014, No. 2(50), pp. 13-26.
10. *Ciklony i anticiklony* (Cyclones and anticyclones) [http:// www.gismeteo.ru](http://www.gismeteo.ru)

References

1. Zel'derovich Ya.B., Blinnikov S.I., Shakura N.I. *Fizicheskie osnovy stroeniya i evolyuciya zvyozd* [Theory of gravitation and evolution of stars]. Moscow, MGU, 1981. 150p.
2. Zel'derovich Ya.B., Novikov I.D. *Teoriya tyagoteniya i evolyuciya zvyozd* [Theory of gravitation and evolution of stars]. Moscow, Nauka, 1971. 484p.
3. Shklovskij I.S. *Zvyozdy: ih rozhdenie, zhizn' i smert'* [Stars: their birth, life and death]. Moscow, Nauka, 1984. 384p.
4. Kachur S.A. Movement model of space vehicle at intergalactic flights and space theory reactor. *Radioelectronika i informatika*, 2012, No. 2, pp. 43-49.
5. Kachur S.A. *Upravlenie yadernymi reaktorami na osnove krivizny prostranstva* [Control by nuclear reactors on the basis of space curvature]. Sebastopol: «РИБЕСТ». 2016. 220p.
6. Kachur S.A. Space curvature of nuclear reactor near-by prompt criticality by means of natural spatio-temporal monopole. *Energeticheskie ustanovki i tekhnologii*. 2016, Vol. 2, No 1, pp. 12-19.
7. Kachur S.A. Singularities modulation of nuclear reactor near-by instantaneous criticality. *Energeticheskie ustanovki i tekhnologii*. 2015, Vol. 1, No 1, pp. 18-26.
8. Kachur S.A. Movement of space vehicle on the basis

УДК 621.039.56

Уравнение пространственно-временного монополя реактора

С.А. Качур

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33,
г. Севастополь, 299053, Россия, kachur_62@mail.ru

Статья поступила 08.09.2017 г.; после доработки 18.09.2017 г.

Аннотация

Получены уравнение энергии и уравнение взаимосвязи гравитационного и электромагнитного полей для пространственно-временного монополя реактора. Предложен метод определения искривления пространства на основе уравнения энергии пространственно-временного монополя. Искривленное пространство является следствием объединения гравитационного и электромагнитного полей, возникающих в результате ядерных реакций.

Ключевые слова: реактор, гравитация, единая теория поля, искривление пространства, пространственно-временной монополь.

Equation of Spatio-temporal Monopole of Reactor

S.A. Kachur

Sevastopol state university, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, kachur_62@mail.ru

Received 08.09.2017 y.; received in final form 18.09.2017 y.

Abstract

Equation of energy and equalization of intercommunication of the gravitation and electromagnetic fields for spatio-temporal monopole of reactor is got. The method of determination of curvature of space on the basis of equalization of energy of spatio-temporal monopole is offered. The distorted space is investigation of association of the gravitation and electromagnetic fields arising up as a result of nuclear reactions.

Keywords: reactor, gravitation, the united theory of the field, curvature of space, spatio-temporal monopole.

Введение

Вопросам, связанным с описанием структуры пространственно-временных монополей ядерных реакторов, а также естественных ядерных, каковыми являются планеты, и термоядерных реакторов, к которым можно отнести звезды, ядра галактик, космический реактор и т.п., был посвящен ряд публикаций [1-9], позволяющий перейти к рассмотрению проблемы вывода уравнения пространственно-временных монополей. Использование в качестве базовой полевой структуры пространственно-временной монополю, образованной реактором, рассматриваемым в дальнейшем как определенный тип сингулярности (скрытой или голой) в зависимости от характеристик реактора, позволяет опреде-

лить взаимосвязь гравитационных и электромагнитных полей, порождаемых ядерными или термоядерными реакциями. При таком подходе предлагаемое исследование можно отнести к развитию и новому взгляду на единую теорию поля.

Как известно задача создания единой теории поля была поставлена и сформулирована Альбертом Эйнштейном. Его исследования были направлены на упрощение теории относительности и, в частности, сведение к одной формуле известных в физике законов для гравитационных, магнитных и электрических взаимодействий, объединение поля тяготения и электромагнитного поля [10].

Широкий спектр научных работ, имеющих в настоящее время, не преодолел проблем ис-

следования универсального поля, которые отмечены в последней работе Эйнштейна «Релятивистская теория несимметричного поля» [11]. Эйнштейн считал, что описание реальности должно быть получено на основе алгебраической теории. В итоге он отметил, что «однако сейчас никто не знает, как найти основу для такой теории».

Представляется, что под единством поля следует понимать универсальность полевой структуры, объединяющей гравитационное и электромагнитное поля. Необходимо найти такое реальное полеобразование, для которого гравитационные, электромагнитные и ядерные взаимодействия определяли бы саму возможность существования этого полевого образования. При таком подходе пространственно-временной монополю реактора можно рассматривать как единое универсальное поле, описываемое перечисленными выше полями.

Цель предлагаемого исследования состоит в определении уравнения связи гравитационного и электромагнитного полей для пространственно-временного монополя реактора.

Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- получение формул частотных характеристик пространственно-временного монополя реактора;
- определение уравнения энергии для пространственно-временного монополя реактора;
- разработка метода расчета коэффициента искривления монополя для различных видов реакторов на основе уравнения энергии монополя;
- вывод на базе результатов решения перечисленных выше задач уравнения монополя как описания универсального поля.

Понятие пространственно-временного монополя и его структура

Приведем некоторую информацию, полученную в более ранних исследованиях, но необходимую понимания логики вывода уравнения пространственно-временного монополя.

Кривизна пространства ядерного реактора в состоянии реактора близком к мгновенной критичности, а для естественных реакторов – к взрыву, порождается в результате воздействия на реактор внешнего высокочастотного электромагнитного излучения при наличии объекта, способного отражать жесткое излучение реактора [1]. В такой ситуации возникает пространственно-временной монополю, удерживающий на

некоторое время неизменной деформацию пространства [1].

Пространственно-временной монополю – это устойчивое макроскопическое образование, объединяющее различной кривизны с различным течением времени пространства, определенные электромагнитными и гравитационными эффектами. Такое образование имеет возможность квантового изменения границ и кривизны пространств за счет вызванного внешними факторами кантования энергии ядра монополя [1].

Монополю является специфической структурой искривленного пространства. Он включает область пространственного расширения, область задержки, область сжатия, а также небольшую область в непосредственной близости к ядерному реактору, названную областью коллапса. Последовательность этих зон зависит от того, выступает ли реактор, как ядро монополя, в виде «скрытой» или «голой» сингулярности [1].

Земля и Солнце могут быть рассмотрены как «голая» сингулярность, а ядерный реактор в схеме использования естественных ядерного (Земли) и термоядерного (Солнца) реакторов как скрытая сингулярность. Под сингулярностью будем понимать центральное компактное и сравнительно горячее ядро физического объекта.

Пространственно-временной монополю «скрытой» сингулярности имеет дискообразную форму с системой реакторов (реактором) в центре. Существует некоторая аналогия между пространственно-временным монополюм реактора и сверхтяжелым монополюм (GUT-монополюм) [1]. Монополю реактора как монополю «скрытой» сингулярности включает четыре зоны: центральная область – зона коллапса; зона сжатия с замедлением времени в соответствии с ОТО; зона задержки времени, которая позволяет вернуться во времени назад; зона расширения с ускорением течения времени в соответствии с ОТО.

Пространственно-временной монополю «голой» сингулярности является зеркальным отражением квантовой модели пространства «скрытой» сингулярности (черной дыры) [1]. В нем центральная область соответствует зоне коллапса; первому уровню – пространственное расширение; второму, как и для случая черной дыры, – задержка во времени, но с противоположным знаком по сравнению с временной задержкой скрытой сингулярности, третьему – пространственное сжатие. Как для скрытой, так и для голой сингулярности на внешней границе зоны сжатия находится излучатель электромагнитных волн в радиочастотном диапазоне.

Коэффициент искривления пространства

изменяется дискретно.

Для реактора типа «скрытая» сингулярность значение коэффициента зависит от уровня монополя n и определяется как

$$k_p = 2\pi n, \quad n=1, 2, \dots,$$

а для реактора типа «голая» сингулярность как

$$k_p = 2\pi n, \quad n=1, 2, \dots$$

Расстояние от реактора для типа «скрытой» сингулярности уровней квантования пространства, соответствующие границам зон сжатия R_1 , задержки R_2 , расширения R_3 , определяются следующим образом

$$R_1 = \frac{cn}{2\nu_{AP}}, \quad R_2 = R_1 k, \quad R_3 = 2R_2,$$

где k – коэффициент искривления пространства реактора, ν_{AP} – частота ядерного магнитного резонанса.

Частота реактивности ядерного реактора, при которой возможно образование монополя, составляет $\nu_{p0} \approx 0,478$ Гц. Соответствующая частота естественных реакторов (получена для Земли и Солнца) равна $\nu_{p1} \approx 0,0357$ Гц. Формулы расчета и их вывод даны в [5, 6].

В работах [1, 2] было введено понятия максимальной и минимальной энтропии реактора, которые определялись соответственно по формулам

$$H_{\max} \approx \frac{\alpha^3}{2\pi}, \quad (1)$$

$$H_{\min} \approx \frac{\alpha^3}{2\pi} \cdot \frac{k_1 \sqrt{\gamma \hbar}}{c^{3,5}}, \quad (2)$$

где α – постоянная тонкой структуры; γ – гравитационная постоянная; $\hbar$ – постоянная Планка; c – скорость света; k_1 – константа, необходимая для согласования размерности в формуле.

Космологическая модель на основе пространственно-временных монополей естественных реакторов описана в [2]. Космический реактор образует монополь, который существует параллельно космическому супермонополю (рис. 1). Система космического реактора, включающая Вселенную, находится в области задержки космического супермонополя. Проекция космического реактора на диск Вселенной определяет центр (точку), относительно которого вращается Вселенная. Эта точка будет в дальнейшем рассматриваться как потенциальная сингулярность Вселенной. Деформации монополя космических тел, проявляемая при их вращении и связанная с энерговыделением космического реактора, задается коэффициентом KG . Расчет этого коэффициента и его влияние на структуру монополей естественных ре-

акторов приведены в [2]. Для ядерного реактора, Земли и Солнца $KG = \sqrt{2}$.

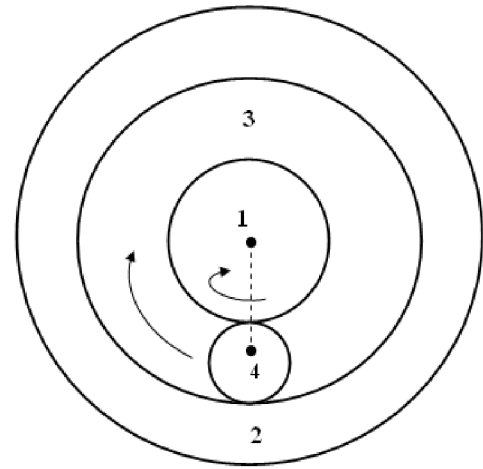


Рис. 1. Модель космического супермонополя:

- 1 – область сжатия (свещающаяся материя);
- 2 – область расширения (темная материя);
- 3 – область задержки (вакуум); 4 – монополь космического реактора.

Метод определения искривления пространства на основе уравнения энергии пространственно-временного монополя

Предполагается, что первоначальная сфера будущего космического супермонополя представляла собой область с сингулярностью в центре, заполненную однородным фотонным излучением этой сингулярности с частотой ν порядка 10^{39} Гц (определение значения будет дано ниже). Целостность сферы обеспечивалась супермощной электромагнитной ловушкой. Введение постороннего объекта в эту сферу в виде системы космического реактора привело к искривлению пространства сферы, которое проявилось в изменении объемного энергораспределения фотонного излучения. Баланс энергии был достигнут в результате появления супермонополя в виде, схематично предложенном на рис.1.

Причина возникновения супермонополя не является предметом данного исследования.

Представляется, что взаимодействие двух реакторов происходит посредством их монополей. Влияние оказывается не непосредственно на топливную массу объекта, а на энергию фотонного излучения различных областей монополей, тем самым дополнительно искривляя их и изменяя затем коэффициент усиления реактора. Возможно, что это явление и является «перетеканием энергии».

Определим формулы расчета частот излуче-

ния для сингулярности супермонополя, а также фотонов областей сжатия, расширения и задержки монополей естественных реакторов. При этом будем использовать следующие известные формулы

$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{g\lambda}{c^2}, \quad (3)$$

$$g = \gamma \frac{m}{\lambda^2}, \quad (4)$$

$$m = \frac{2\pi\hbar v}{c^2}, \quad (5)$$

$$\lambda = c/v, \quad (6)$$

где $\hbar$ – постоянная Планка; g – напряженность гравитационного поля; v – частота излучения реактора (сингулярности).

Используя (1), (3-6), определим частоту v излучения сингулярности супермонополя

$$\gamma \frac{2\pi\hbar v^2}{c^5} = \frac{\alpha^3}{2\pi}, \quad (7)$$

Преобразуя (7), имеем

$$v = \sqrt{\frac{\alpha^3 c^5}{4\pi^2 \gamma \hbar}}. \quad (8)$$

На основании (8) определяем $v \approx 1,848 \cdot 10^{39}$ Гц.

В области сжатия частота v_1 фотонного излучения определяется на основании (2) и (3-6) следующим образом

$$\gamma \frac{2\pi\hbar v_1^2}{c^5} = \frac{\alpha^3}{2\pi} \cdot \frac{k_1 \sqrt{\gamma \hbar}}{c^{3,5}},$$

$$v_1 = \sqrt{\frac{\alpha^3}{4\pi^2} \cdot \frac{k_1 c^{1,5}}{\sqrt{\gamma \hbar}}}. \quad (9)$$

В соответствии с (9) имеем $v_1 \approx 7,8 \cdot 10^{12}$ Гц.

В области задержки v_2 фотонного излучения определяется на основании (1)

$$\frac{\Delta v_2}{v_2} = \frac{\alpha^3}{2\pi}. \quad (10)$$

Учитывая, что $\Delta v_2 \equiv v_1$, из (10) получаем

$$v_2 = \frac{2\pi v_1}{\alpha^3}. \quad (11)$$

В соответствии с (11) имеем $v_2 \approx 1,26 \cdot 10^{20}$ Гц.

В области расширения частота v_0 фотонного излучения определяется из соотношения

$$\frac{v_1 - v_0}{v_1} = \frac{c - V_e}{c} \equiv 1 - \alpha, \quad (12)$$

где V_e – скорость электрона.

Преобразуя (12), находим v_0

$$v_0 = \alpha v_1. \quad (13)$$

В соответствии с (13) имеем $v_0 \approx 5,6 \cdot 10^{10}$ Гц.

Расчет частоты ядерного магнитного резонанса может быть произведен в соответствии с

формулой (10), но относительно частоты v_1 , учитывая, что $\Delta v_1 \equiv v_{AP}$

$$v_1 = \frac{2\pi v_{AP}}{\alpha^3}. \quad (14)$$

В соответствии с (14) имеем $v_{AP} \approx 4,8 \cdot 10^5$ Гц.

Частота излучения естественного реактора, обеспечивающая искривление пространства, т.е. создание монополя, определяется на основании формул (3-5) заменой на соответствующие параметры реактора

$$\frac{\Delta v_{IP}}{v_{IP}} = \frac{G g_p \lambda_p}{c^2}, \quad g_p = \gamma \frac{m_p}{\lambda_p^2}, \quad \lambda_p = c/v_p,$$

$$v_{IP} = \frac{c v_p \Delta v_{IP}}{G g_p}, \quad (15)$$

где m_p , v_p – масса и частота реактора соответственно; v_{IP} – частота излучения реактора; G – приведенный коэффициент деформации.

Смещение частоты излучения реактора v_{IP} может принимать значения и множества частот фотонного излучения в различных областях монополя, т.е. $\Delta v_{IP} \in \{k^2 v_0, k v_1, v_2\}$ (k – коэффициент искривления пространства реактора).

Представляется, что условием образования монополя и соответственно объединения гравитационного и электромагнитного полей является равенство длины волны фотонного излучения монополя на максимальной частоте, т.е. на частоте реактора $v_{IP} = v_2/\alpha$, соответствующей жесткому γ -излучению, длине волн де Бройля электронов. В данном случае рассматриваем не резонансную частоту, поскольку скорость движения электрона не соответствует скорости движения электромагнитной волны, а резонансную длину волны. Частота электрона, соответствующая резонансной длине волны, определяется соотношением

$$v_R = \frac{V_e v_{IP}}{c} \equiv \alpha v_{IP}$$

или

$$v_R = \frac{\alpha m_e c^2}{2\pi\hbar}, \quad (16)$$

где V_e – скорость электрона; m_e – масса электрона.

Классическое представление о соотношении длины волны де Бройля и ее частоты в искривленном пространстве монополя не выполняется, т.к.

$$v'_e = \alpha v_e,$$

где v'_e и v_e – частота электрона в искривленном и исходном пространстве соответственно.

При этом временной сдвиг или запаздывание между волнами фотонного и электронного излучений составляет

$$\tau = \frac{1}{v_2} \cdot \frac{1-\alpha}{\alpha}.$$

На основании (15) и (16) запишем для электрона условие резонанса, который наступает при v_{IP} и Δv_{IP} ,

$$\frac{cv_p \Delta v_{IP}}{Gg_p} = \frac{m_e c^2}{2\pi\hbar}. \quad (17)$$

Предположим, что коэффициент искривления пространства k , тогда $\Delta v_{IP} = k^2 \alpha v_1 = k^2 v_0$ и из (17) следует уравнение энергии в случае резонанса

$$\frac{2\pi\hbar cv_p v_0 k^2}{Gg_p} = m_e c^2. \quad (18)$$

Уравнение энергии для пространственно-временного монополя реактора определяется суммой энергий областей задержки (E_1), сжатия (E_2), расширения (E_3) и будет иметь вид

$$E_{IP} = E_1 + kE_2 + k^2 E_3$$

или

$$2\pi\hbar v_{IP} = 2\pi\hbar v_2 + k2\pi\hbar v_1 + k^2 2\pi\hbar v_0. \quad (19)$$

Введем для наглядности следующее обозначение

$$A = \frac{cv_p}{Gg_p}. \quad (20)$$

Используя различные значения Δv_{IP} и обозначение (20), из (19) получим квадратичные уравнения, имеющие место для различных значений g_p , ограничениями которых являются условия положительности результата (k) и дискриминанта квадратичного уравнения.

При $\Delta v_{IP} = k^2 v_0$ для $0,022 \leq g_p < 63$ имеем

$$k^2(1-A) + k \frac{v_1}{v_0} + \frac{v_2}{v_0} = 0. \quad (21)$$

При $\Delta v_{IP} = kv_1$ для $63 \leq g_p < 7,8 \cdot 10^5$ имеем

$$k^2 \frac{v_0}{v_1} + k(1-A) + \frac{v_2}{v_1} = 0. \quad (22)$$

При $\Delta v_{IP} = v_2$ для $7,8 \cdot 10^5 \leq g_p < 1,1 \cdot 10^7$ имеем

$$k^2 \frac{v_0}{v_2} + k \frac{v_1}{v_2} + (1-A) = 0. \quad (23)$$

В выражении (20) коэффициент G определяется из условий

$$G = \begin{cases} G_0, & \text{для "голой сингулярности"} \\ G_0^{-1}, & \text{для "скрытой сингулярности"} \end{cases}, \quad (24)$$

$$G_0 = \begin{cases} 1 + 1/KG + KG, & \text{если } 0,0022 \leq g_p < 63 \\ 1 + 1/KG, & \text{если } 63 \leq g_p < 7,8 \cdot 10^5 \\ 1, & \text{если } 7,8 \cdot 10^5 \leq g_p < 1,1 \cdot 10^7 \end{cases}. \quad (25)$$

Решение одного из уравнений (21-23) дает в результате значение коэффициента искривления

пространства, который может обеспечить данный реактор.

В результате выполнения расчетов по уравнению (21) для исследовательского ядерного реактора был получен коэффициент $k \approx 6,28$, для Земли $k \approx 59$, по уравнению (22) для Солнца $k \approx 3,85 \cdot 10^4$, что соответствует расчетам, выполненным ранее другими методами [1, 3].

В соответствии с теорией относительности коэффициент искривления пространства определяется по формуле

$$k = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}}, \quad (26)$$

$$V = K_{\max} V_{BO}, \quad (27)$$

где V_{BO} – скорость внешнего объекта, запустившего механизм создания монополя; $K_{\max}$ – коэффициент усиления реактора (сингулярности).

Коэффициент усиления реактора является функцией от частоты реактора v_p . В частности, для ядерного реактора

$$K_{\max} = \frac{1}{v_p l},$$

где l – время жизни мгновенных нейтронов ($l = 10^{-8}$ с).

Известно, что среднее время жизни электрона в возбужденном нестабильном состоянии атома составляет 10^{-8} с.

Исходя из (26) и (27), получив результат решения уравнений (21-23), зная коэффициент усиления реактора, определим скорость объекта, вызвавшего искривление пространства следующим образом

$$V_{BO} = \frac{c}{K_{\max}} \sqrt{1 - \left(\frac{1}{k}\right)^2}.$$

Пространственно-временной монополь реактора как универсальное поле

Описание пространственно-временного монополя меняется в зависимости от варианта ограничений (21), (22) или (23), определяющие формирование Δv_{IP} .

Выполним некоторые алгебраические преобразования, используя (18), (13) и (14), получим следующее соотношение, соответствующее варианту ограничения на величину напряженности гравитационного поля реактора, описанного (21),

$$\frac{4\pi^2 \hbar c v_p v_{AP} k^2}{Gg_p \alpha^2} = m_e c^2. \quad (28)$$

Преобразуя (28), получим уравнение, описы-

яющее условие возникновения пространственно-временного монополя реактора, которое определяет взаимодействие трех полей при ядерных или термоядерных реакциях, позволяющих создать монополь с определенным коэффициентом искривления пространства и соответствующим распределением энергии фотонного излучения по областям этого пространства, в следующем виде

$$\frac{64\pi^4 \gamma \epsilon_0 r_e^2}{\mu_0 \alpha^3} \cdot \frac{EB}{g_e} = \frac{c^4}{k^2} \cdot \frac{G v_p}{v_{AP} v_g}, \quad (29)$$

$$E = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \cdot \frac{e}{r_e^2},$$

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{e}{r_e^2} \cdot V_e, \quad e^2 = \hbar c \alpha,$$

$$g_e = \gamma \frac{m_e}{r_e^2}, \quad \frac{V_e}{c} = \alpha, \quad v_g = g_p / c,$$

где E – напряженность электрического поля электрона; B – индукция магнитного поля электрона; g_e – напряженность гравитационного поля электрона; γ – гравитационная постоянная; ϵ_0 – постоянная электрическая; μ_0 – постоянная магнитная; α – постоянная тонкой структуры; v_{AP} – частота ядерного магнитного резонанса; v_p – частота реактора; v_g – частота гравитационной волны реактора; k – коэффициент искривления пространства монополя, c – скорость света; G – приведенный коэффициент деформации.

Частота ядерного магнитного резонанса может изменяться в зависимости от вида топлива реактора. Расчет v_{AP} , выполненный выше, определяет величину в первом приближении.

Анализ полученных уравнений позволяет сделать следующий вывод: объединение различных полей порождает искривление света, т.е. неравномерность энергораспределения фотонного излучения в небольшой по сравнению с космосом области, что обуславливает появление пространственно-временных монополей естественных реакторов.

Чтобы такое объединение имело место, реактор должен являться локальной сингулярностью, т.е. обладать необходимыми параметрами ядерных взаимодействий, вызывающих резонанс излучений фотонов и электронов.

Монополь как структура существует параллельно исходному трехмерному пространству. Поэтому реальная идентификация его кривизны возможна только внутри монополя.

Монополь реактора является переходом в различные состояния универсального пространства $U(\gamma, s, t)$, параметрами которого кроме времени t и расстояния s является гравитационная

постоянная.

Энергия ядерных реакций реактора E_B определяет кривизну электромагнитного поля, выражающуюся в изменении параметров пространства и времени, и деформацию гравитационного поля, связанную с изменением гравитационной постоянной.

Величина гравитационной постоянной является функцией от коэффициента деформации пространства KG [2] и определяется из соотношения

$$\gamma^{(k)} = \gamma \cdot KG_0, \quad (30)$$

$$KG_0 = \begin{cases} KG, & \text{в области задержки монополя,} \\ 1/KG, & \text{в области сжатия монополя,} \\ 1, & \text{в области расширения монополя.} \end{cases}$$

Коэффициент деформации пространства принимает значения из множества $KG \in \{2^{0,5}, 2^1, 2^2, \dots, 2^6\}$ в зависимости от энергии, выделяемой реактором.

Гравитационная постоянная $\gamma^{(k)}$ в пространстве $U(\gamma^{(k)}, s^{(k)}, t^{(k)})$ задает гравитационное взаимодействие для всех объектов исходного пространства $U(\gamma, s, t)$, которые одновременно присутствуют и в искривленном пространстве.

Таким образом, если объект попадает в область монополя реактора с коэффициентом искривления k и коэффициентом деформации KG_0 , то это означает его переход под воздействием E_B из $U(\gamma, s, t)$ в пространство $U(\gamma^{(k)}, s^{(k)}, t^{(k)})$, совпадающее с областью монополя реактора. Соответствующие изменения гравитационного взаимодействия и пространства-времени будут иметь место до тех пор, пока объект не покинет данную область монополя реактора. Если реактор совместно с монополем движется в пространстве $U(\gamma, s, t)$, то, находясь в одной из областей монополя, объект движется в соответствующем этой области пространстве $U(\gamma^{(k)}, s^{(k)}, t^{(k)})$.

Для свободного перемещения объекта в пространстве монополя необходимо, чтобы объект был неким аналогом электрона.

Определим соотношение параметров электрона и некоего объекта. Сделав подстановки, преобразуем (29) к виду

$$\frac{4\pi^2}{\alpha^3} \cdot \frac{e^2}{m_e} V_e = \frac{c^4}{k^2} \cdot \frac{G v_p}{v_{AP} v_g}. \quad (31)$$

Таким образом, масса, заряд и скорость объекта должны удовлетворять соотношению

$$\frac{q_{ob}^2}{m_{ob}} V_{ob} = \frac{e^2}{m_e} V_e. \quad (32)$$

При выполнении условия (32) для объекта будет истинным и соотношение (29), в котором

вместо параметров электрона используются соответствующие параметры объекта. Электромагнитное поле, соответствующее (29) и (32), гарантирует безопасность перемещения объекта в искривленном пространстве, но не определяет вход в это пространство. Необходимо, чтобы объект являлся генератором электромагнитных излучений на требуемых частотах [2, 3]. Представляется, что электромагнитные устройства, включенные в структуру объекта, должны иметь импульсную природу.

Рассмотренные свойства объекта и монополя реактора могут быть использовано при построении траектории галактических и межгалактических полетов, учитывающей движение монополей космических тел.

Заключение

Предложено рассматривать в качестве универсального поля пространственно-временной монополь реактора.

Универсальность структуры монополя реактора обусловлена взаимодействием гравитационного поля реактора, проявляющегося в гравитационном излучении, с порождаемыми реактором электромагнитными излучениями, которые определяют электромагнитное поле реактора.

Условием соединения различных полей является резонанс фотонного излучения и волн де Бройля электронов топлива реактора.

Получены уравнение энергии и уравнение взаимосвязи гравитационного и электромагнитного полей для пространственно-временного монополя реактора.

Предложен метод расчета коэффициента искривления пространства для различных типов монополей.

Определены параметры универсального пространства такие, как расстояние, время, энергия ядерного взаимодействия реактора.

Получено условие безопасного перемещения объекта в искривленном пространстве монополя реактора.

Сделан вывод, что искривленное пространство является следствием объединения гравитационного и электромагнитного полей, возникающих в результате ядерных реакций.

Список литературы

1. Качур С.А. Управление ядерными реакторами на основе кривизны пространства./ С.А. Качур. – Севастополь: «РИБЕСТ», 2016. – 220с.
2. Качур С.А. Строение Вселенной на основе про-

странственно-временных монополей естественных реакторов./ С.А. Качур. – Севастополь: «РИБЕСТ», 2017. – 96с.

3. Качур С.А. Искривление пространства ядерного реактора вблизи мгновенной критичности посредством естественных пространственно-временных монополей/ С.А. Качур // Энергетические установки и технологии: науч. журнал. – Севастополь: ФГАОУ СевГУ, 2016. – Т.2. – №1. – С. 12-19.
4. Качур С.А. Модуляция сингулярности ядерного реактора вблизи мгновенной критичности./ Энергетические установки и технологии: науч. журнал. – Севастополь: ФГАОУ СевГУ, 2015. – Т.1. – №1. – С. 18-26.
5. Качур С.А. Энтропийный анализ безопасности управления ядерным реактором посредством электромагнитного излучения/ С.А. Качур // Пром. теплотехника, 2013. – Т.35, Вып. 4. – С.18-22.
6. Качур С.А. Частотный метод построения систем электромагнитного управления ядерным реактором вблизи мгновенной критичности/ С.А. Качур // Пром. теплотехника, 2013. – Т.35, Вып. 5. – С.27-32.
7. Качур С.А. Движение космического аппарата на основе модуляции кривизны пространства / С.А. Качур // Радиоэлектроника и информатика, 2013. – Вып. 2(21). – С.22-26.
8. Качур С.А. Модуляция кривизны пространства на основе системы ядерных реакторов/ С.А. Качур// Сб.науч.тр.СНУЯЭиП – Севастополь: СНУЯЭиП, 2014. – Вып. 2(50). – С.13-26.
9. Качур С.А. Движение нерелятивистского объекта в искривленном пространстве ядерного реактора /С.А. Качур // Энергетические установки и технологии: науч. журнал. – Севастополь: ФГАОУ СевГУ, 2016. – Т.2. – №2. – С. 5-10.
10. Эйнштейн А. К единой теории поля. Собрание научных трудов в 4^х томах. – М.: Наука, 1966. – Т. 2. – С. 252-259.
11. Эйнштейн А. Релятивистская теория несимметричного поля. Собрание научных трудов в 4^х томах. – М.: Наука, 1966. – Т. 2. – С. 849-873.

References

1. Kachur S.A. *Upravlenie yadernymi reaktorami na osnove krivizny prostranstva* [Control by nuclear reactors on the basis of space curvature]. Sebastopol: «RIBEST». 2016, 220p.
2. Kachur S.A. *Stroenie Bselennoj na osnove prostranstvenno-vremennyh monopolej estestvennyh reaktorov* [Structure of Universe on the basis of spatio-temporal monopole of natural reactors]. Sebastopol: «RIBEST». 2017, 96p.
3. Kachur S.A. Space curvature of nuclear reactor nearby prompt criticality by means of natural spatio-temporal monopole. *Energeticheskie ustanovki i tekhnologii*. 2016, Vol. 2, No 1, pp. 12-19.
4. Kachur S.A. Singularities modulation of nuclear re-

- actor near-by instantaneous criticality. *Energeticheskie ustanovki i tekhnologii*. 2015, Vol. 1, No 1, pp. 18-26.
5. Kachur S.A. Entropic analysis of safety of management by a nuclear reactor by means of electromagnetic radiation. *Promyshlennaya teplotekhnika*, 2013, Vol. 35, No. 4, pp. 18-22.
 6. Kachur S.A. Frequency method of construction of the electromagnetic control systems by a nuclear reactor near-by instantaneous criticism. *Promyshlennaya teplotekhnika*, 2013, Vol. 35, No. 5, pp. 27-32.
 7. Kachur S.A. Movement of space vehicle on the basis of modulation of space curvature. *Radioelektronika i informatika*, 2013, No. 2(21), pp. 22-26.
 8. Kachur S.A. Modulation of space curvature on the basis of the nuclear reactors system. *Sb. nauch. tr. SNUYaE i P*, Sebastopol, SNUYaE i P, 2014, No. 2(50), pp. 13-26.
 9. Kachur S.A. Movement of nonrelativistic object in the distorted space of nuclear reactor. *Energeticheskie ustanovki i tekhnologii*. 2016, Vol. 2, No 2, pp. 5-10.
 10. Ejnshtejn A. *K edinoj teorii polya. Sobranie nauchnyh trudov v 4^h tomah* [To the united theory of the field. Collection of scientific labours in four volumes]. Moscow, Nauka, 1966. pp. Vol. 2, 252-259.
 11. Ejnshtejn A. *Relyativistskaya teoriya nesimmetrichnogo polya. Sobranie nauchnyh trudov v 4^h tomah* [Relativism theory of the asymmetrical field. Collection of scientific labours in four volumes]. Moscow, Nauka, 1966. Vol. 2, pp. 849-873.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ

УДК 62-50(07)

Исследование абсолютной устойчивости нелинейных дискретных систем автоматического регулированияЮ.Г. Дикусар¹, Н.И. Кузнецова², Н.В. Серова-Нашева³, М.Б. Сулейменова⁴*ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская-33,
г. Севастополь, 299053, Россия. ¹dikusar@list.ru, ²nika100452@gmail.com, ³greydar@mail.ru,
⁴miroslava13_03@mail.ru*

Статья поступила 06.09.2017 г.; после доработки 06.09.2017 г.

Аннотация

В статье выполнено исследование абсолютной устойчивости нелинейной дискретной системы автоматического регулирования. Рассмотрены условия абсолютной устойчивости системы в зависимости от состояния ее линейной части. Определены диапазоны изменения коэффициента передачи и параметры статической характеристики нелинейного элемента дискретной системы автоматического регулирования, для обеспечения ее абсолютной устойчивости.

Ключевые слова: нелинейная дискретная система автоматического регулирования, абсолютная устойчивость, линейная часть, коэффициент передачи, статическая характеристика нелинейного элемента.

Research of absolute stability of nonlinear discrete systems of automatic controlYu.G. Dikusar¹, N.I. Kuznetsova², N.V. Serova-Nasheva³, M.B. Suleimenova⁴*Sevastopol state university, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia,
¹dikusar@list.ru, ²nika100452@gmail.com, ³greydar@mail.ru, ⁴miroslava13_03@mail.ru*

Received 06.09.2017 y.; received in final form 06.09.2017 y.

Abstract

In article the analysis of non-linearities in discrete systems of automatic control is made. The method of discrete trajectories of a state is considered. Construction and the analysis of discrete trajectories of a condition of non-linear discrete system of automatic control on the phase plane are executed.

Keywords: non-linear discrete system of automatic control, absolute stability, the linear part, the transmission coefficient, the static characteristic of the nonlinear element.

Введение

Современная техника автоматизации и управления производственными процессами в промышленности и в энергетике характеризуется широким применением цифровых вычислительных устройств в целях сбора, обработки, хранения, представления информации и непо-

средственного управления технологическими объектами. Большинство цифровых (дискретных) систем автоматического регулирования (САР) содержат в своем составе нелинейные элементы. Нелинейные системы обладают особенностями, которые не свойственны линейным системам. Процессы в нелинейных системах

автоматического регулирования и собственные их движения гораздо разнообразнее и сложнее процессов и движений в линейных системах. Кроме того в нелинейных системах появляются режимы, невозможные в линейных системах.

Особые свойства нелинейных систем широко используются в технике. На этих свойствах основано генерирование электромагнитных колебаний, выпрямление переменного тока, умножение и деление частот, и другие процессы.

Существует большое число нелинейных автоматических систем, в которых рационально используются нелинейные характеристики отдельных элементов и на этой основе получаются хорошие практические результаты.

Однако в некоторых случаях нелинейные характеристики являются вредными факторами. Их надо либо устранять, либо выбирать режим работы таким образом, чтобы нелинейности не оказывали существенного влияния на процессы в системе. Из-за сложности математического аппарата задачи анализа и синтеза нелинейных систем решаются значительно сложнее, чем для линейных систем. Если нелинейности выражены слабо, то поведение нелинейной системы незначительно отличается от поведения близкой к ней линейной системы. В таких случаях для исследования нелинейных систем прибегают к линеаризации нелинейностей.

Если же нелинейности являются существенными, то получение линейной модели становится затруднительным, а сама модель может не сохранять некоторых важных свойств оригинала. Поэтому требуется применение специальных методов исследования нелинейных систем [1-3]. Особенности нелинейных дискретных САР, многообразие процессов в них создают трудности точного их математического описания, теоретического изучения и исследования. Это обуславливает использование специальных математических методов для анализа и синтеза таких систем [1-3]. Поэтому задачи исследования нелинейных дискретных систем автоматического регулирования, несравненно более трудные, чем задачи исследования линейных систем, приобретают в современной технике актуальное значение.

Постановка задачи исследования

Задачей исследования является определение абсолютной устойчивости нелинейной дискретной системы автоматического регулирования в зависимости от состояния ее линейной части и расчет диапазона изменения коэффици-

ента передачи и параметров статической характеристики нелинейного элемента системы, для обеспечения ее абсолютной устойчивости.

Абсолютная устойчивость нелинейных дискретных систем автоматического регулирования

Процессы в нелинейных САР имеют целый ряд весьма существенных особенностей, которые не встречаются в линейных системах, поэтому вопрос об устойчивости нелинейной системы является более сложным.

Кроме структуры системы и значений её параметров устойчивость того или иного установившегося процесса в нелинейных САР, в отличие от линейных систем, зависит от начальных условий. Понятие устойчивости для нелинейных САР гораздо шире и объемнее, чем понятие устойчивости для линейных (линеаризованных) систем.

В отличие от линейных систем, одна и та же нелинейная система может быть устойчивой в одних режимах и неустойчивой в других режимах. Поэтому нельзя говорить об устойчивости или неустойчивости нелинейной системы вообще, а можно говорить только об устойчивости или неустойчивости различных режимов движения (работы) нелинейной системы, её статического или динамического режима, т.е. определенного состояния системы или её движения при отклонениях от него. В связи с этим при изучении нелинейных систем используются понятия устойчивости «в малом», «в большом», «в целом» и «абсолютной устойчивости».

Абсолютная устойчивость – это устойчивость в целом (при любых больших начальных отклонениях) нелинейной системы при задании ее нелинейности (статической характеристики) на координатной плоскости нахождением в определенном секторе (угле).

Исследование устойчивости нелинейной САР при таком неконкретном задании нелинейности вызвано не только чисто математическими соображениями (с целью упрощения решения задач), но и теми практическими соображениями, что нелинейности могут быть известны не точно или могут изменяться.

Условие абсолютной устойчивости нелинейной дискретной системы автоматического регулирования с устойчивой линейной частью

Рассмотрим нелинейную дискретную САР, структурная схема которой изображена на рис. 1.

Структурная схема системы (рис. 1) состоит из нелинейного элемента НЭ, импульсного элемента ИЭ и линейной непрерывной части НЧ. Импульсный элемент ИЭ и линейная непрерывная часть НЧ образуют линейную часть ЛЧ системы.

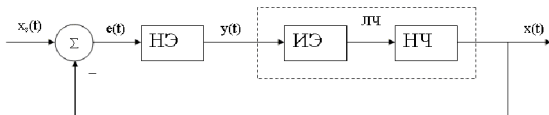


Рис. 1. Структурная схема нелинейной дискретной системы автоматического регулирования.

Статическая характеристика нелинейного элемента НЭ представлена на рис. 2 и удовлетворяет следующим условиям

$$F(0)=0; 0 < F(e) < k.$$

Нелинейная статическая характеристика (рис. 2) находится в секторе $[0, k]$ и может быть неоднозначной, разрывной и даже нестационарной.

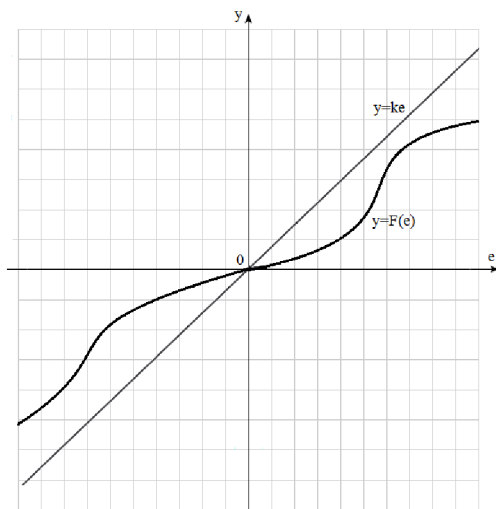


Рис. 2. Статическая характеристика нелинейного элемента.

Для определения абсолютной устойчивости нелинейной дискретной САР необходимо построить амплитудно-фазовую частотную характеристику разомкнутой линейной части (ЛЧ) дискретной системы (рис. 1) $W_L(j\omega)$ в диапазоне частот $0 \leq \omega \leq \pi$, причем $W_L(j\omega) = W_L(z) \Big|_{z=e^{j\omega T}}$. Тогда, согласно аналога критерия В. М. Попова для нелинейных дискретных САР, сформулированного Я. З. Цып-

киным [4], достаточное условие абсолютной устойчивости нелинейной дискретной системы с устойчивой линейной частью и статической характеристикой нелинейного элемента, находящегося в секторе $[0, k]$, для всех частот в диапазоне $0 \leq \omega \leq \pi$ имеет вид

$$\operatorname{Re} W_L(j\omega) + 1/k > 0,$$

где $W_L(j\omega)$ - амплитудно-фазовая частотная характеристика разомкнутой линейной части дискретной системы.

В соответствии с этим условием абсолютная устойчивость нелинейной дискретной САР обеспечивается, если годограф частотной характеристики $W_L(j\omega)$ целиком лежит справа от вертикальной прямой, проходящей через точку на отрицательной вещественной полуоси с координатами $(-1/k, j0)$, как это показано на рис. 3.

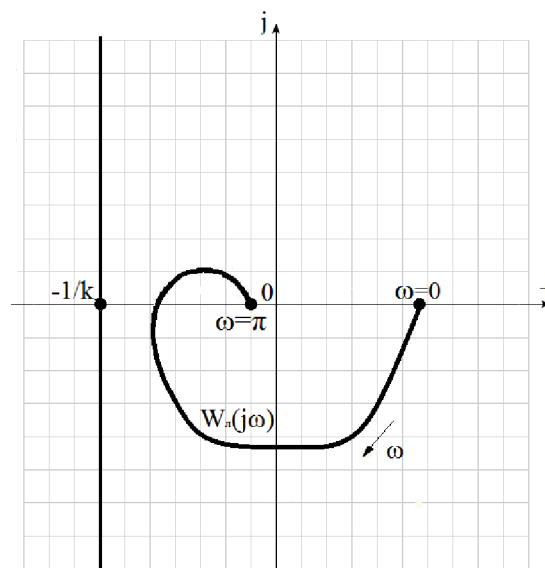


Рис. 3. Амплитудно-фазовая частотная характеристика разомкнутой линейной части абсолютно устойчивой нелинейной дискретной системы.

Условие абсолютной устойчивости нелинейной дискретной системы автоматического регулирования с неустойчивой линейной частью

Если линейная часть САР неустойчива, необходимо выполнить структурные преобразования системы, включив фиктивную прямую связь с коэффициентом передачи k_ϕ вокруг нелинейного элемента и фиктивную жесткую отрицательную обратную связь с коэффициентом передачи k_ϕ относительно линейной части, как

это показано на рис. 4. Такие структурные преобразования не изменяют свойства системы, так как сигналы от введенных связей компенсируют друг друга.

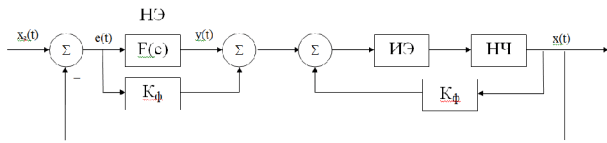


Рис. 4. Структурная схема преобразованной нелинейной дискретной системы автоматического регулирования.

Выбором коэффициента передачи k_ϕ необходимо добиться устойчивости скорректированной линейной части системы, передаточная функция которой станет равна

$$W_{\text{ЛФ}}(Z) = \frac{W_{\text{Л}}(Z)}{1 + k_\phi W_{\text{Л}}(Z)}.$$

В результате преобразований изменится и нелинейный элемент, который будет иметь статическую характеристику, описываемую зависимостью $F_\phi(e) = F(e) - k_\phi e$. Эта нелинейная характеристика $F_\phi(e)$ должна находиться в пределах угла $[0; k - k_\phi]$, поэтому исходная характеристика $F(x)$ будет лежать в пределах угла $[k_\phi; k]$, как представлено на рис. 5.

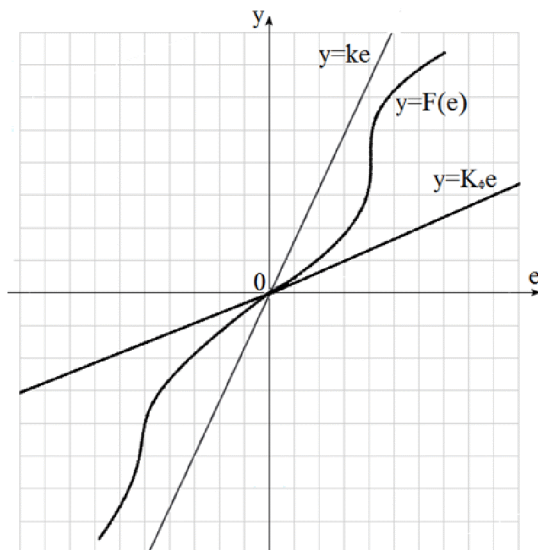


Рис. 5. Статическая характеристика скорректированного нелинейного элемента.

Тогда достаточное условие абсолютной устойчивости нелинейной дискретной системы

с неустойчивой линейной частью и статической характеристикой нелинейного элемента, находящегося в секторе $[k_\phi; k]$, для всех частот в диапазоне $0 \leq \omega \leq \pi$ имеет вид

$$\operatorname{Re} W_{\text{ЛФ}}(j\omega) + 1/k - k_\phi > 0,$$

где $W_{\text{ЛФ}}(j\omega)$ - амплитудно-фазовая частотная характеристика преобразованной разомкнутой линейной части дискретной системы.

В соответствии с этим условием абсолютная устойчивость нелинейной дискретной САР обеспечивается, если годограф частотной характеристики $W_{\text{ЛФ}}(j\omega)$ целиком лежит справа от вертикальной прямой, проходящей через точку на отрицательной вещественной полуоси с координатами $(-\frac{1}{k - k_\phi}; j0)$, как это показано на рис. 6.

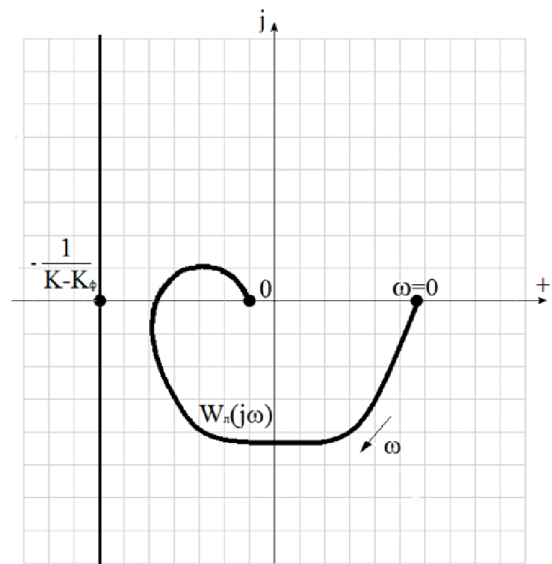


Рис. 6. Амплитудно-фазовая частотная характеристика преобразованной разомкнутой линейной части абсолютно устойчивой нелинейной дискретной системы.

Определение абсолютной устойчивости нелинейной дискретной системы автоматического регулирования и параметров статической характеристики нелинейного элемента

Рассмотрим нелинейную дискретную САР, структурная схема которой изображена на рис. 7. Структурная схема системы (рис. 7) состоит из нелинейного элемента НЭ, импульсного элемента ИЭ, импульсного фильтра Φ – экстраполятора нулевого порядка, преобразующего

мгновенные импульсы на входе в последовательность прямоугольных импульсов, и линейной непрерывной части НЧ.

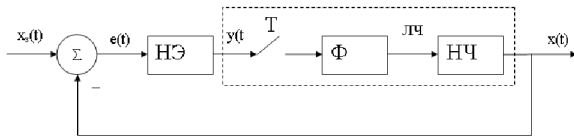


Рис. 7. Структурная схема нелинейной дискретной системы автоматического регулирования.

Период дискретизации импульсного элемента $T=1$ с. Передаточная функция импульсно-го фильтра (экстраполятора нулевого порядка)

$$W_{\Phi}(S) = \frac{1 - e^{-TS}}{S}.$$

Передаточная функция линейной непрерывной части

$$W_{НЧ}(S) = \frac{1}{S(S+1)}.$$

Определим угол, в пределах которого должна располагаться статическая характеристика нелинейного элемента для обеспечения абсолютной устойчивости САР.

Дискретная передаточная функция разомкнутой линейной части системы равна

$$\begin{aligned} W_{\mathcal{L}}(Z) &= \frac{X(Z)}{Y(Z)} = Z \left\{ \frac{1 - e^{-TS}}{S} \cdot \frac{1}{S(S+1)} \right\} = \\ &= \frac{Z-1}{Z} \cdot Z \left\{ \frac{1}{S^2(S+1)} \right\} = \frac{Z-1}{Z} \cdot \frac{ZT}{(Z-1)^2} \cdot \frac{(1-d)Z}{(Z-1)(Z-d)} = \\ &= \frac{T}{Z-1} \cdot \frac{1-d}{Z-d}; d = e^{-aT} = e^{-1} = 0,368 \end{aligned}$$

Дискретная частотная функция (амплитудно-фазовая частотная характеристика) разомкнутой линейной части системы равна

$$\begin{aligned} W_{\mathcal{L}}(j\omega) &= \frac{1}{e^{j\omega T} - 1} - \frac{0,632}{e^{j\omega T} - 0,368} = \\ &= \frac{1}{\cos \omega T + j \sin \omega T - 1} - \frac{0,632}{\cos \omega T + j \sin \omega T - 0,368} = \\ &= W_1(\omega) + j W_2(\omega); \end{aligned}$$

$$W_1(\omega) = -\frac{1}{2} - \frac{0,632(\cos \omega - 0,368)}{1,135 - 0,736 \cos \omega};$$

$$W_2(\omega) = -\frac{\sin \omega}{2(1 - \cos \omega)} + \frac{0,632 \sin \omega}{1,135 - 0,736 \cos \omega}.$$

Задаемся значениями частоты ω в интервале $(0; \pi]$ и определяем соответствующие зна-

чения $W_1(\omega)$ и $W_2(\omega)$. Результаты расчета заносим в Таблицу 1.

Таблица 1. Значения вещественной и мнимой частей преобразованной частотной функции линейной части системы.

ω	0	$\pi/6$	$\pi/4$	$\pi/3$	$\pi/2$	π
$W_1(\omega)$	-1,5	-1,13	-0,85	-0,61	-0,29	-0,038
$W_2(\omega)$	$-\infty$	-1,23	-0,48	0,024	0,057	0

По данным Таблицы 1 строим график амплитудно-фазовой частотной характеристики (АФЧХ) разомкнутой линейной части системы $W_{\mathcal{L}}(j\omega)$, который показан на рис. 8.

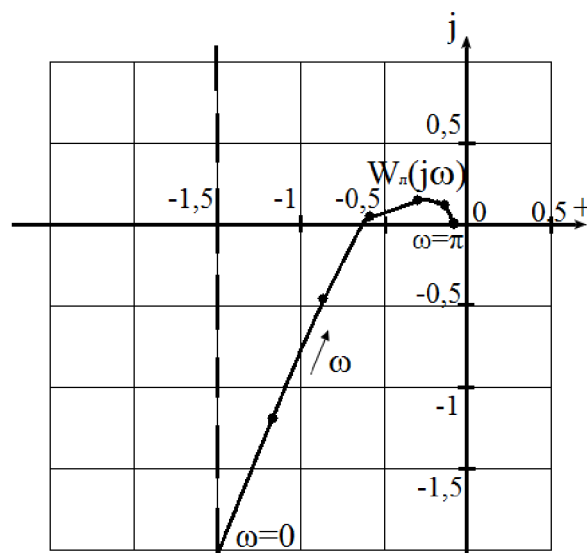


Рис. 8. Амплитудно-фазовая частотная характеристика разомкнутой линейной части системы.

Из рис. 8 видно, что, согласно частотного критерия устойчивости, линейная часть заданной нелинейной дискретной САР является устойчивой, так как годограф АФЧХ разомкнутой линейной части системы не охватывает точку с координатами $(-1, j0)$. Чтобы кривая $W_{\mathcal{L}}(j\omega)$ лежала справа от вертикальной прямой, эту прямую (в предельном случае) необходимо провести через точку с абсциссой, равной -1,5. Поэтому, в соответствии с условием абсолютной устойчивости системы, получаем следующие соотношения

$$-1/k = -1,5; k = 0,667; \alpha = \arctg k = 33,7^\circ.$$

Сектор абсолютной устойчивости системы, в котором должна быть расположена статическая

характеристика нелинейного элемента, показан на рис. 9 (заштрихован).

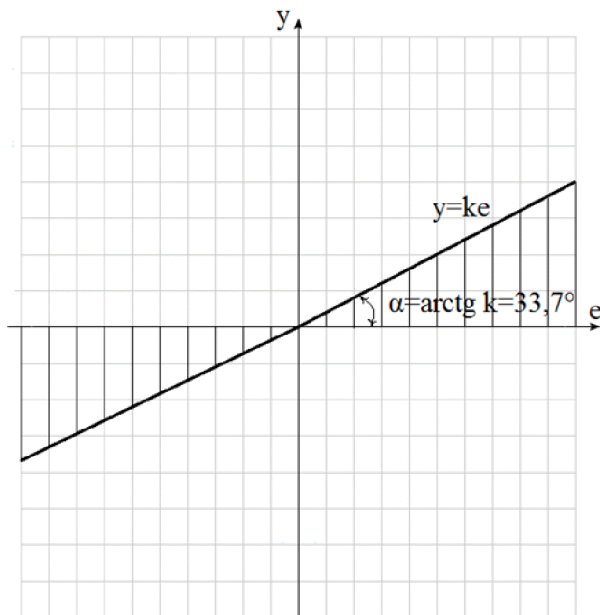


Рис. 9. Сектор абсолютной устойчивости нелинейной дискретной системы автоматического регулирования.

Заключение

В процессе проведения исследования было выполнено:

1. анализ условий абсолютной устойчивости нелинейной дискретной системы автоматического регулирования в зависимости от состояния ее линейной части;
2. определение абсолютной устойчивости нелинейной дискретной САР;
3. определение диапазона изменения коэффициента передачи системы, при котором САР обладает абсолютной устойчивостью;
4. построение сектора абсолютной устойчивости, в котором должна быть расположена статическая характеристика нелинейного элемента системы.

Список литературы

1. Юревич Е.И. Теория автоматического управления. – 3-е изд. – СПб.: БХВ- Петербург, 2007. – 560 с.: ил.
2. Суевалов Л.Ф. Справочник по расчетам судовых автоматических систем. – 2-е изд. – Л.: Судостроение, 1989. – 408 с.: ил.
3. Нетушил А.В., Балтрушевич А.В., Бурляев В.В. и др.; Под ред. А.В. Нетушила. Теория автоматического управления: Нелинейные системы. – 2-е изд. – М.: Высш. школа, 1983. – 432 с.: ил.

4. Цыпкин Я.З., Попков Ю.С. Теория нелинейных импульсных систем. – М.: Наука, 1974. – 414 с. ил.

References

1. Yurevich E. I. Theory of automatic control. – 3rd prod. – SPb.: BHV-St. Petersburg, 2007. – 560 p.: ill.
2. Suyevalov L. F. Reference book on calculations of ship automatic systems. – 2nd prod. – L.: Shipbuilding, 1989. – 408 p: ill.
3. Netushil AV, Baltrushevich AV, Burlyayev VV and etc.; Ed. A.V. Netushila. Theory of automatic control: Nonlinear systems. - 2 nd ed. - M.: Higher education. School, 1983. - 432 p: ill.
4. Tsyppkin Ya.Z., Popkov Yu.S. Theory of nonlinear pulse systems. – M.: Science, 1974. – 414 pages:ill

УДК 621.039.56

Построение динамической системы управления электроснабжением региона на основе нейросетевых технологий

С.А. Качур¹, Н.В. Шахова², С.В. Петров³

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33,
г. Севастополь, 299053, Россия, kachur_62@mail.ru¹, nata_shachova_73@mail.ru², skuas@yandex.ru³

Статья поступила 30.08.2017 г.; после доработки 01.09.2017 г.

Аннотация

Предложен подход к построению интеллектуальной системы управления региональной сетью электроснабжения. Определены структура интеллектуальной системы, ее элементы и связи между ними. Осуществлен выбор инструментария для реализации предложенной системы.

Ключевые слова: умные сети, нейронные сети, прогнозирование, интеллектуальное управление, электроснабжение.

Construction of the Dynamic Control System by Power Supply of Region on the Basis of Neuronet Technologies

S.A. Kachur¹, N.V. Shakhova², S.V. Petrov³

Sevastopol state university, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, kachur_62@mail.ru¹, nata_shachova_73@mail.ru², skuas@yandex.ru³

Received 30.08.2017 y.; received in final form 01.09.2017 y.

Abstract

Offered approach to construction of the intellectual control system by the regional net of power supply. Determine structure of the intellectual system, its elements and communications between them. The choice of tool for realization of the offered system is carried out.

Key words: smart grid, neuron nets, prognostication, intellectual control, power supply.

Введение

Сегодня энергетика находится на пороге неиндустриального этапа развития, основными трендами которого должны стать количественный и качественный рост в областях генерации и потребления электроэнергии, а также дальнейшая глобализация и одновременно регионализация энергетике [1].

Для системы электроснабжения региона наиболее перспективным решением является интеллектуальная сеть (smart grid). Согласно первоисточнику термина «smart grid» – Мини-

стерству энергетики США, – умные сети – это модернизированные сети электроснабжения, использующие информационные и коммуникационные технологии для сбора информации о выработке энергии и энергопотреблении, позволяющие автоматически повышать эффективность, надежность, экономическую выгоду, а также устойчивость производства и распределения электроэнергии [2, 3].

По аналогии с концепцией Smart Grid, переход российской электроэнергетики на интеллектуальный уровень предусматривает создание новой технологической платформы ЕЭС России

– интеллектуальной энергосистемы с активно-адаптивной сетью (ИЭС ААС). ИЭС ААС представляет клиенто-ориентированную электро-энергетическую систему (ЭЭС) нового поколения, которая должна обеспечить доступность использования ресурса, надежное, качественное и эффективное обслуживание потребителей электроэнергии за счет гибкого взаимодействия всех ее субъектов (всех видов генерации, электрических сетей и потребителей) на основе современных технологических средств и единой интеллектуальной иерархической системы управления [4-6]

Отметим основные отличия интеллектуальной и «умной» сети заключаются в структуре и динамике развития[1].

- Интеллектуальная сеть решает задачи оценки и управления рисками и согласование интересов множества субъектов системы, «умная» сеть – диспетчеризации и диспетчерского управления в условиях строгой иерархической структуры.
- Интеллектуальные сети, в отличие от информационных или «умных», предполагают наличие элементов искусственного интеллекта. Такими элементами могут являться нейросети.

Таким образом, в настоящее время объект (электроэнергетической системы – ЭЭС), имеющий сетевую структуру, управляется системой с иерархической структурой. Проблема состоит в переходе от иерархической структуры управления к сетевой, соответствующей реальной структуре объекта. Естественно, что в случае совпадения структур объекта и управления, эффективность функционирования объекта будет выше.

Такое управление может быть реализовано, как алгоритмически, так и с помощью интеллектуальных технологий, в частности, использования нейронных сетей.

Представляется, что для безопасной эксплуатации ЭЭС необходимы независимые системы, реализованные на базе этих двух подходов. Поскольку нейронная сеть функционирует в определенных параметрических пределах и требует дополнительного обучения, занимающего продолжительное время, при резких скачках значений параметров и выходе их за допустимые пределы, то ее применение может быть целесообразно только в штатных режимах работы. При аварийных ситуациях управление должна осуществлять система, основанная на алгоритмических принципах (резервная система управления).

В статье предлагается подход к построению интеллектуальной сети управления ЭЭС.

Цель и задачи исследования

Цель исследования – разработка подхода к построению системы управления распределением мощности ЭЭС на базе интеллектуальных технологий.

Для достижения поставленной цели решаются три основные задачи:

- определение структуры интеллектуальной системы управления;
- прогнозирование нагрузок в узлах ЭЭС на базе нейронных сетей;
- взаимодействие между элементами интеллектуальной системы управления ЭЭС.

Структура интеллектуальной системы управления ЭЭС

Предлагаема сегодня в России концепция построения интеллектуальной системы выглядит следующим образом.

В настоящее время в качестве базового принципа развития принята идеология создания интеллектуальной энергосистемы с активно-адаптивной сетью (ИЭС ААС)[4-6].

Новая распределительная сеть будет базироваться на следующих решениях:

- SCADA-система для реализации комплексного управления распределительной сетью;
- канал передачи данных (в том числе, путем передачи информации по кабельным линиям на основе PLC-технологии второго поколения);
- семейство цифровых устройств телемеханики и телеуправления для управления и контроля оборудования.

Интеллектуальная сеть представляет собой совокупность линий электропередачи всех классов напряжения, активных устройств электромагнитного преобразования электроэнергии, коммутационных аппаратов, устройств защиты и автоматики, информационно-технологических и адаптивных управляющих систем.

В большинстве случаев современные электрические сети состоят из радиальных линий с односторонним потоком энергии. Лишь в некоторых случаях электрические сети закольцованы. Согласно концепции Smart Grid будущая сеть уже не будет иметь иерархическую структуру и крупные потребители будут в ней перемешаны с большим количеством относительно маломощных источников энергии, а также и единичных мощных станций, регуляторов

напряжения, компенсаторов реактивной мощности и т.д. Это будет настоящая весьма сложная, неструктурированная, разветвленная сеть.

Перетоки мощности по такой сети не будут строго детерминированными. Очевидно, что такая сложная неструктурированная сеть (которую даже сравнивают с сетью Интернет) должна иметь мощную управляющую систему, согласовывающую между собой работу всех этих многочисленных компонентов сети. Для этого все компоненты сети должны «общаться» друг с другом и с управляющим центром по специальным сетям связи, которые предполагается выполнять беспроводными. Разработка мощных полностью управляемых компонентов сети, снабженных системами самодиагностики и мониторинга, а также надежными каналами передачи и приема информации — является одним из направлений концепции Smart Grid.

Приведенная выше концепция слишком сложна для эффективной реализации управления мощностью региональных энергосистем.

Согласно общепринятому в науке принципу, если более сложная модель не дает лучших результатов, чем более простая, то из них следует предпочесть вторую.

Представляется, что для управления на уровне региона мощностью для описанной выше сети с различными потребителями и источниками энергии при учете перетоков мощности нет необходимости создавать сложную сеть управления.

Предлагается линейная структура интеллектуальной системы управления региональной ЭЭС, представленная на рис. 1. Структура объекта управления (сети электроснабжения) описывается сетью рис. 2.

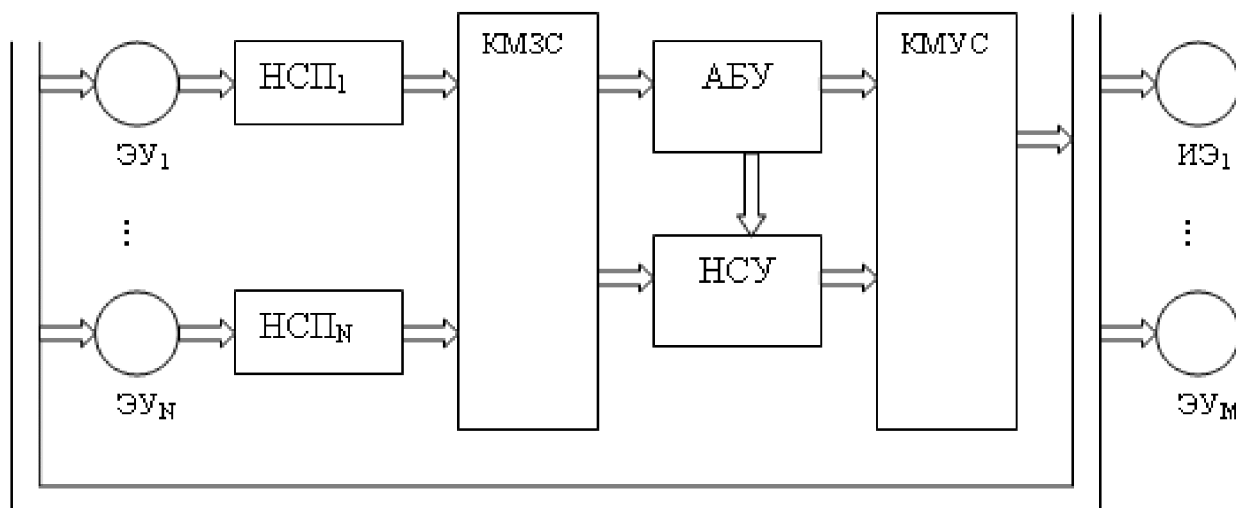


Рис. 1. Структура интеллектуальной системы управления региональной ЭЭС.

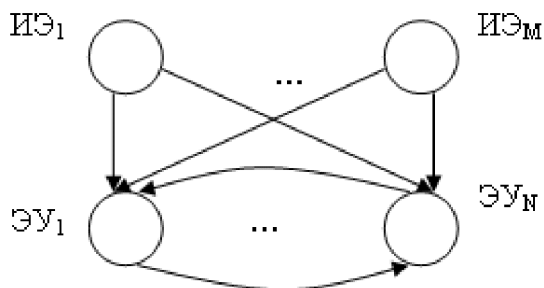


Рис. 2. Структура сети электроснабжения.

На рис. 1 сетевое управление реализуется алгоритмическим блоком управления (АБУ), который вырабатывает обучающие входные вектора для нейронной сети управления (НСУ).

В аварийных режимах, когда нейронная сеть не в состоянии идентифицировать ситуацию, функции управления передаются АБУ. В штатном режиме АБУ используется для обучения НСУ. Исходной информацией для АБУ и НСУ являются прогнозы нагрузок на энергетических узлах (ЭУ), выполняемые нейронными сетями прогноза (НСП). Результаты работы всех НСП поступают на коммутатор задающих сигналов (КМЗС), с которого они передаются на входы НСУ и АБУ. Выходные управляющие сигналы от НСУ (штатный режим работы) или АБУ (нештатный режим работы) поступают на коммутатор управляющих сигналов (КМУС). На выходах КМУС формируются вектора управления для ЭУ и источников энергии (ИЭ).

Управляющий сигнал несет информацию о плане поставки мощности для каждого ИЭ и плане перетоков мощности для каждого ЭУ. Блоки КМЗС и КМУС имеют программное обеспечение алгоритмического типа.

Таким образом, НСУ и АБУ описываются для интеллектуальной системы управления моделями «черный ящик». Распределение мощности в сети электроснабжения реализуется АБУ на основе линейного программирования. АБУ решает оригинальную модификацию транспортной задачи, рассмотрение которой не предусмотрено в данной статье.

Прогнозирование электрических нагрузок ЭЭС

Управление распределением электрических нагрузок в реальном режиме времени является важной областью исследования в электроэнергетике. В интеллектуальной сети исходными данными для управления являются прогнозные значения нагрузок.

Прогнозирование необходимо для решения практически всего спектра задач текущего планирования и оперативного управления режимами функционирования электроэнергетической системы (ЭЭС). На его основе рассчитываются исходные и оптимальные электрические режимы ЭЭС, оценивается их надежность, экономичность, качество электроэнергии. Точность прогноза нагрузок влияет на экономичность загрузки генерирующего оборудования, и, следовательно, на стоимость электроэнергии [7].

Не менее актуальной, чем прогнозирование нагрузки в различных временных диапазонах прогнозирование, является задача управления распределения нагрузок в узлах ЭЭС. Под узлом понимается группа нагрузок, присоединенных к шинам подстанции, а суммарная нагрузка в узле для каждого момента времени определяется разницей между входящими в узел (за вычетом потерь по линиям) и выходящими из узла перетоками мощности.

Существующие подходы к решению задачи прогнозирования нагрузок в узлах определяются, в первую очередь, уровнем информационной обеспеченности этой задачи, а именно достаточностью и достоверностью телеметрических измерений режимных параметров. В практике за рубежом ЭЭС, где имеется достаточная ретроспективная информация о нагрузках в узлах, для их прогнозирования часто применяются те же алгоритмы, что и для прогнозирования суммарных нагрузок ЭЭС. Получаемая при этом точность прогнозирования является вполне до-

статочной при планировании режимов. В случаях недостаточности телеизмерений режимных параметров, информацию для расчета узловых нагрузок составляют результаты контрольных измерений, осуществляемых обычно два раза в год (в июне и декабре месяце каждого года) для характерных интервалов графиков нагрузки ЭЭС.

В большинстве случаев, для прогнозирования активных узловых нагрузок в настоящее время применяются следующие методы: обработка данных контрольных измерений (расчет «базовых» электрических режимов ЭЭС); пропорциональное распределение суммарной нагрузки ЭЭС по узлам расчетной схемы замещения электрической сети; распределение суммарной нагрузки ЭЭС по узлам расчетной схемы замещения электрической сети методом главных компонент; идентификация электрического режима (оценивание состояния) на основании текущей телеметрии. Прогноз реактивных нагрузок в узлах сети выполняется по коэффициентам мощности, полученным либо по результатам обработки контрольных измерений, либо по программам оценивания состояния ЭЭС, либо по данным учета электроэнергии.

Предлагается выполнять прогноз нагрузок узлов (реализация блоков НСП (рис.1)) с помощью линейных нейронных сетей [8, 9].

В терминах аппроксимации отображений самой простой моделью будет линейная, в которой аппроксимирующая (подгоночная) функция определяется гиперплоскостью. В задаче классификация гиперплоскость размещается таким образом, чтобы она разделяла собой два класса (линейная дискриминантная функция); в задаче регрессии гиперплоскость должна проходить через заданные точки. Линейная модель обычно задается уравнением

$$Y = XW + B$$

где W — матрица весов сети, B — вектор смещений.

На языке нейронных сетей линейная модель представляется сетью без промежуточных слоев, которая в выходном слое содержит только линейные элементы (то есть элементы с линейной функцией активации). Веса соответствуют элементам матрицы, а пороги — компонентам вектора смещения. Во время работы сеть фактически умножает вектор входов на матрицу весов, а затем к полученному вектору прибавляет вектор смещения.

Пример программы прогноза нагрузки одного узла и результат прогноза для пяти точек

при обучении сети по 12 значениям входного вектора представлены на рис. 3.

```
P=[0.5 1.0 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5]
```

```
T=[1.0 1.1 1.5 1.7 2.4 3.0 2.4 1.7 1.5 1.1 1.0 1.1]
```

```
maxlr=maxlinlr(P,'bias')
```

```
S=newlin([0 5],1,[0],maxlr)
```

```
S.trainParam.epochs=15
```

```
S=train(S,P,T);
```

```
P1=[7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5]
```

```
y=sim(S,P1)
```

```
figure(1)
```

```
plot(P,T,P1,y,'*')
```

```
xlabel('t')
```

```
ylabel('x')
```

```
P1 =
```

```
7.0000 7.5000 8.0000 8.5000 9.0000 9.5000
```

```
y =
```

```
2.2928 2.4334 2.5740 2.7147 2.8553 2.9959
```

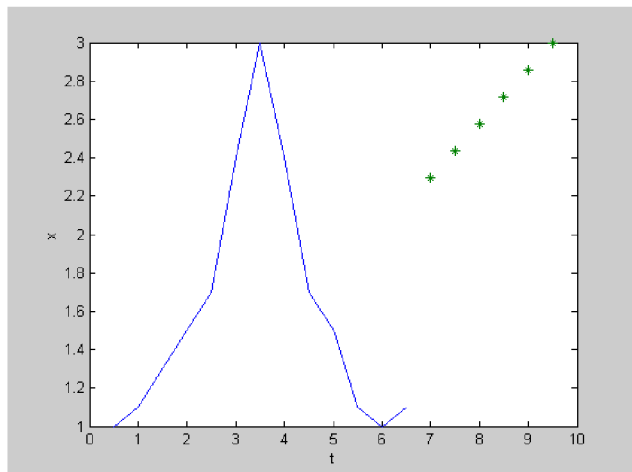


Рис. 3. Пример выполнения прогноза с помощью нейронной сети

Управление распределением узловых электрических нагрузок ЭЭС

На основании прогнозных векторов, которые являются входными данными для сети энергетических узлов и источников электроэнергии (например, АЭС, ТЭЦ, ГЭС, ветровые и солнечные энергетические установки), для управления распределением мощности от источников энергии к узлам решить задачу линейного программирования с использованием RBF сетей [8, 9].

В общем случае под термином Radial Basis Function Network (сеть с радиальными базисными элементами — RBF) понимается двухслойная сеть без обратных связей, которая содержит скрытый слой радиально симметричных скры-

тых нейронов (шаблонный слой). Для того чтобы шаблонный слой был радиально-симметричным, необходимо выполнение следующих условий:

- наличие центра, представленного в виде вектора во входном пространстве; обычно этот вектор сохраняется в пространстве весов от входного слоя к слою шаблонов;
- наличие способа измерения расстояния входного вектора от центра; обычно это стандартное евклидово расстояние;
- наличие специальной функции прохождение от одного аргумента, которая определяет выходной сигнал нейрона путем отображения функции расстояния; обычно используется функция Гаусса.

Выходной сигнал шаблонного нейрона — это функция только от расстояния между входным вектором X и сохраненным центром C :

$$f(X) = \varphi\left(\frac{\|X - C\|}{y}\right).$$

Выходной слой сети является линейным, так что выходы сети определяются выражением

$$y_j = \sum_{i=1}^K w_{ij} \varphi\left(\frac{\|X - C\|}{y}\right), \quad j = \overline{1, m},$$

где C_i — центры, σ_i — отклонения радиальных элементов.

Обучение RBF-сети происходит в несколько этапов. Сначала определяются центры и отклонения для радиальных элементов, после этого оптимизируются параметры w_{ij} линейного выходного слоя.

Расположение центров должно соответствовать кластерам, реально присутствующим в исходных данных.

Сети RBF имеют ряд преимуществ перед рассмотренными многослойными сетями прямого распространения. Во-первых, они моделируют произвольную нелинейную функцию с помощью всего одного промежуточного слоя, тем самым, избавляя вас от необходимости решать вопрос о числе слоев. Во-вторых, параметры линейной комбинации в выходном слое можно полностью оптимизировать с помощью хорошо известных методов линейной оптимизации, которые работают быстро и не испытывают трудностей с локальными минимумами, так мешающими при обучении с использованием алгоритма обратного распространения ошибки. Поэтому сеть RBF обучается очень быстро (на порядок быстрее, чем с использованием алгоритма обратного распространения).

Недостатки сетей: данные сети обладают плохими экстраполирующими свойствами и получаются весьма громоздкими при большой размерности вектора входов.

Предполагается, что моделирующие способности RBF сети позволяют решить поставленную задачу. В противном случае необходим поиск другого типа нейронной сети, удовлетворяющей требуемой размерности входного вектора. Данная задача в статье не решалась.

Рассмотрим пример простейшей пример сети без перетоков мощности. Управление в этом случае формируется посредством решения классической транспортной задачи. На рис. 4 представлен план поставок энергии от двух источников (M1, M2) к трем потребителям (узлам) (K1, K2, K3). Целевая функция F, определяющая стоимость поставок в системе, принимает минимальное значение при заданных стоимостях получения энергии, зависящих от расстояния между поставщиком и потребителем. Все значения приведены в условных единицах.

Стоимость поставки энергии от станций		
	M1	M2
K1	1	2
K2	3	2
K3	2	1

Поставки без учета связей между узлами

	M1	M2		Ртрѐб
	30	20		
K1	8	0	8	8
K2	7	10	17	17
K3	5,5	6,5	12	12
	20,5	16,5		

Рис. 4. Пример план распределения энергии в ЭЭС.

Создание и обучение RBF сетей производится так же, как и для линейных нейронных сетей. При обучении сети на ее вход подается набор векторов, полученных в результате решения транспортной задачи. Причем, предыдущий результирующий план поставок является начальным для последующего плана, т.е. выход предыдущего является входом последующего рассмотрения.

На примере данных рис. 4. предлагается формирование вектора входа/выхода следующим образом

$[x_{11} \ x_{12} \ x_{21} \ x_{22} \ x_{31} \ x_{32} \ M1 \ M2 \ K1 \ K2 \ K3 \ P_{трѐб1} \ P_{трѐб2} \ P_{трѐб3}]$,

где x_{ij} – элементы плана поставок.

Ниже приведен фрагмент программы, содержащий функции создания и опроса сети.

```
a=newrbe(P,T,0.3);
t=[8 0 7 10 5.5 6.5 20.5 16.5 8 17 12]
Y1=sim(a, t)
```

Предложенный подход оперирует с абстракциями, принятыми на уровне программных систем. Учет особенностей оборудования системы электроснабжения и контрольно-измерительной аппаратуры определит специфику, но не изменит идеи, заложенной в данном подходе.

Заключение

Предложен подход к построению интеллектуальной системы управления региональной ЭЭС. Определены структура интеллектуальной системы, ее элементы и связи между ними. Осуществлен выбор инструментария для реализации этой системы. Найден принцип алгоритмизации сетевого управления, заключающийся в модификации известных методов линейного программирования.

Достоинством предложенной системы является простота реализации и надежность использования, достигаемая за счет разработки обучающей и в тоже время резервной системы управления, построенной на алгоритмическом подходе.

Предполагается дальнейшее исследование инструментария нейросетевых технологий с целью определения наилучшего варианта для реализации системы управления сетями электроснабжения.

Список литературы

1. Каменев А.С., Королев С.Ю., Сокотушенко В.Н. Нейро моделирование как инструмент интеллектуализации энергоинформационных сетей / Под ред. В.В. Бушуева – М.: ИЦ «Энергия», 2012. – 124 с.
2. Шакарян Ю.Г., Новиков Н.Л. Технологическая платформа Smart Grid (Основные средства) // Энергоэксперт, 2009. – №4. – С. 42-49.
3. Гужов С.В. Интеллектуальные электросети и энергоменеджмент в развитии регионов России// Энергосбережение, 2015. – №7 – С.46-49
4. Дорофеев В.В., Макаров А.А. Активно-адаптивная сеть – новое качество ЕЭС России // Энергоэксперт. 2009, №4, с. 28-34.
5. Основные положения концепции интеллектуальной энергосистемы с активно-адаптивной сетью. Концепция рассмотрена и одобрена на совместном заседании НТС ОАО «ФСК ЕЭС» и

- Российской академии наук в октябре 2011г. 8. Положение ОАО «Россети» о единой технической политике в электросетевом комплексе. Приложение №2 к протоколу Совета директоров ОАО «Ленэнерго» №19 от 30.12.2013. – М., 2013. – 196 с.
6. Технологическая платформа «Интеллектуальная энергетическая система России». – М.: Российское энергетическое агентство, 2012. – 53 с.
7. Шумилова Г.П., Готман Н.Э., Старцева Т.Б. Прогнозирование электрических нагрузок при оперативном управлении электроэнергетическими системами на основе нейросетевых структур. – Сыктывкар: К УрО РАН, 2008. – 77с.
8. Уоссерман Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика. – М.: Мир, 1992. – 237 с.
9. Змитрович А.И. Интеллектуальные информационные системы. – Минск: НТООО «ТетраСистемс», 1997. – 368 с.
8. Uosserman F. *Nejrokomp'yuternaya tehnika: Teoriya i praktika* [Neurocomputer technique: Theory and practice]. Moscow, Mir, 1992, 237 p.
9. Zmitrovich A.I. *Intellektual'nay informacionnye sistemy* [Intellectual informative systems]. Misk, NTOOO «TeraSistems», 1997, 368 p.

References

1. Kamenev A.C., Korolev C.Yu., Sokuschenko V.N. *Nejromodelirovanie kak instrument intellektualizatsii energoinformacionnyh setej* [Neuronsimulation as instrument of intellectualization of energyinformational nets]. Moscow, IC «Energiya», 2012, 124 p.
2. Shakaryan Yu.G., Novikov N.L. Technological platform Smart Grid (Basic facilities). *Energoekspert*, 2009, №4, pp. 42-49.
3. Guzhov C.V. Intellectual electric systems and energymanagement in development of regions of Russia. *Energoberezhenie*, 2015, №7, pp.46-49
4. Dorofeev V.V., Makarov A.A. An actively-adaptive netk is a new quality of UES Russia. *Energoekspert*, 2009, №4, pp. 28-34.
5. *Osnovnye polozheniya koncepcii intellektual'noj energosistemu s aktivno-adaptivnoj set'yu. Prilozhenie №2 k protokolu Soveta direktorov OAO «Lenenergo» № 19 ot 30.12.2013* [Substantive provisions of conception of intellectual grid with an actively-adaptive net Appendix №2 to protocol of Board of directors of «Lenenergo OAO» №19 from 30.12.2013]. Moscow, 2013, 196 p.
6. *Tecnologicheskaya platforma «Intellektual'naya energeticheskaya sistema Rossii»* [A technological platform is the «Intellectual power system of Russia»]. Moscow, Rossijskoe energeticheskoe agentstvo, 2012, 53 p.
7. Shumilova G.P., Gotman N.E., Starceva T.B. *Prognozirovanie elektricheskikh nagruzok pri operativnom upravlenii elektroenergeticheskimi sistemami na osnove nejrosetevykh struktur* [Prognostication of the electric loadings at the active control by the electroenergy systems on the basis of neuronets structures]. Suvtuvkar, K UrO RAN, 2008, 77p.

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 621.313.333

Малошумный асинхронный двигатель с двухслойным ротором для модельных испытаний

В.Е. Высоцкий¹, В.Д. Чушев², А.А. Нагирняк³

¹ – ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская 33,
г. Севастополь, 299053, Россия. vitalyvysotsky@mail.ru

² – ФГУП «Крыловский государственный научный центр» Московское шоссе 44,
г. Санкт-Петербург, 196158, Россия. krylov@krylov.spb.ru

³ – ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская 33, alexnagirnyak@mail.ru

Статья поступила 06.09.2017 г.; после доработки 08.09.2017 г.

Аннотация

В статье рассматривается конструкция и характеристики электродвигателя, который относится к погружным асинхронным электродвигателям с двухслойным ротором (ПАЭДР), обеспечивающим вращение испытуемых объектов, например гребных винтов или импеллеров, на испытательных стендах. Основным техническим требованием, предъявляемым к ним, является низкий уровень шумоизлучения при обеспечении необходимого отвода тепла от работающего ПАЭДР, который связан с приводным валом гребного винта.

Ключевые слова: гребной электропривод, асинхронный электродвигатель, двухслойный ротор, низкое шумоизлучение, частые пуски, реверс.

Low noise double-layer solid-rotor induction motor for modeling tests

V.E. Vysotsky¹, V.D. Chushev², A.A. Nagirniak³

¹ FSAEA Sevastopol state university, 33 University street., Sevastopol, 299053, Russia, vitalyvysotsky@mail.ru

² FSUE "Krylov State Research Center" Moscow Highway 44, St. Petersburg, 196158, Russia

³ FSAEA Sevastopol state university, 33 University street., Sevastopol, 299053, Russia, alexnagirnyak@mail.ru

Paper received 06.09.2017 y.; received in final form 08.09.2017 y.

Abstract

The article describes the design and specifications of the electric motor, which belongs to the submersible double-layer solid-rotor induction motors (SDRIM) that provides rotation examinees objects, such as propellers or impellers, on test stands. The main technical requirement applicable to it, is the low level of noise while providing the necessary heat dissipation from running SDRIM, which is connected to the drive shaft of the propeller.

Keywords: Rowing electric drive, induction motor, double-layer rotor, low noise emission, frequent starts, reverse.

Введение

При выполнении экспериментальных исследований акустических характеристик моделей гребных винтов в гидродинамических и кавита-

ционных трубах, опытовых бассейнах и других научных лабораториях при решении аналогичных задач электродвигатели регулируемого привода не должны создавать шумы высокого уровня.

Следует отметить, что при использовании погружных электродвигателей, размещаемых в экспериментальной установке за испытываемыми моделями гребных винтов, к ним предъявляются такие требования, чтобы уровни собственного шума, создаваемого при работе, были меньше уровней акустических сигналов, создаваемых при испытаниях моделей гребных винтов в экспериментальной установке.

Недостатком ряда погружных электродвигателей [1] является наличие вибраций их корпусов, создающих высокие уровни акустических помех при использовании для вращения вышеуказанных испытываемых объектов. В связи с этим их невозможно использовать в экспериментальных установках, например в гидродинамических трубах, при испытаниях гребных винтов или импеллеров.

Действительно, помехи, обусловленные излучением вибрирующего корпуса погруженного в жидкость электродвигателя, могут существенно превышать полезные сигналы, что не позволит проводить измерения акустических характеристик моделей гребных винтов в рабочем участке гидродинамической трубы.

Проблему снижения шумности настолько, чтобы исключить ее влияние на уровень полезного сигнала, в принципе, можно было бы решить за счет применения звукоизолирующего покрытия (ЗИП) на корпусе.

Однако, проблема снижения акустического излучения корпуса имеет особенность, которая состоит в том, что нельзя наносить ЗИП непосредственно на корпус погружного электродвигателя, так как при этом нарушается режим охлаждения корпуса потоком воды

Цель и задачи работы

Цель заключается в создании такого погружного асинхронного электродвигателя с двухслойным ротором (ПАЭДР), который имел бы существенно более низкий уровень шумоизлучения по сравнению с известными асинхронными двигателями при обеспечении необходимого отвода тепла при его эксплуатации (рис. 1).

Это достигается:

во-первых, тем, что погруженный в поток жидкости асинхронный двигатель, связанный с приводным валом гребного винта имеет беззубцовый гладкий двухслойный ротор;

во-вторых, его корпус выполнен герметично в виде замкнутого цилиндра, а на торцах имеются обтекатели.

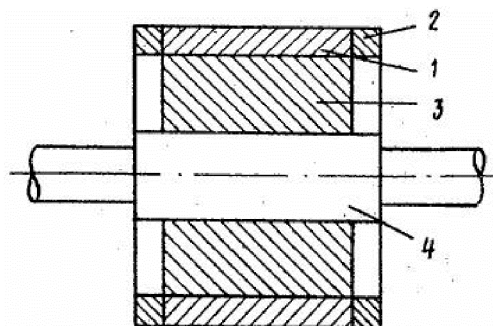


Рис.1. Конструкция двухслойного ротора асинхронного двигателя

1 – наружный ферромагнитный массивный цилиндр;
2 – короткозамыкающее кольцо; 4 – внутренний шихтованный сердечник.

Результаты разработки

Электродвигатель (ПАЭДР) оборудован установленным снаружи коаксиально с ним звукоизолирующим кожухом, выполненным в виде отрезка трубы длиной, превышающей с каждого конца длину корпуса электродвигателя на 15% [2]. Внутренняя поверхность этой трубы облицована звукоизолирующим покрытием из резины, обладающим упругостью. Покрытие состоит из пяти слоев, из которых два внешних выполнены из монолитного материала, а три внутренних слоя – из перфорированного материала, имеющего коэффициент перфорации $K_{пер}$ не менее 0,3. Между корпусом электродвигателя и коаксиально установленным с ним звукоизолирующим кожухом с покрытием образован сквозной кольцевой канал для протока жидкости, сообщенный с окружающим внешним потоком жидкости. Звукоизолирующий кожух прикреплен к корпусу электродвигателя с помощью кронштейнов, имеющих в поперечном сечении гидродинамически обтекаемый профиль. На корпусе электродвигателя расположены виброизолирующие прокладки, а входной и выходной участки кожуха выполнены гидродинамическими обтекаемыми конструкциями, причем внутренняя поверхность торцевых обтекателей корпуса электродвигателя также облицована пятислойным звукоизолирующим покрытием.

Может быть предусмотрен и вариант, когда звукоизолирующий корпус оборудован кронштейном для его крепления к внешнему объекту, не связанному жестко с корпусом электродвигателя. При этом между звукоизолирующим кожухом и корпусом электродвигателя размещены по кругу резиновые прокладки для взаимной центровки звукоизолирующего кожуха и корпуса электродвигателя.

Применение обтекателей на торцах электродвигателя обеспечивает плавное, бесшумное обтекание его потоком жидкости. Установка коаксиально с корпусом ПАЭДР снаружи звукоизолирующего цилиндрического кожуха, облицованного изнутри звукоизолирующим покрытием, позволяет повысить звукоизоляцию (снижение акустического излучения корпуса ПАЭДР).

Выполнение звукоизолирующего покрытия из пятислойной резины, имеющей упругость, характеризуемую модулем Юнга, не превышающим $E = 10^8$ Па обеспечивает величину шумоизлучения примерно в 30 раз слабее в диапазоне частот выше 1000 Гц.

Наличие в звукоизолирующем пятислойном покрытии двух монолитных наружных слоев и трех внутренних слоев, перфорированных с коэффициентом перфорации $K_{\text{пер}}$ не менее 0,3 уменьшает шумоизлучение ПАЭДР в диапазоне частот выше 1000 Гц за счет формирования резонансных колебаний по толщине покрытия.

Наличие облицовки на внутренней поверхности обтекателей пятислойным звукоизолирующим покрытием таким же, как на внутренней поверхности кожуха, позволяет повысить звукоизоляцию обтекателей до уровня звукоизоляции кожуха. Превышение же длины звукоизолирующего кожуха с каждого конца корпуса электродвигателя над его длиной необходимо для уменьшения возможного шумоизлучения через открытые концы кожуха.

Сквозной кольцевой канал, образованный для протока жидкости между корпусом электродвигателя и коаксиально установленным с ним звукоизолирующим кожухом с нанесенным из-

нутри покрытием, обеспечивает отвод тепла от его корпуса.

Что касается крепления звукоизолирующего кожуха к корпусу электродвигателя, то оно обеспечивается с помощью кронштейнов, имеющих в поперечном сечении гидродинамически обтекаемый профиль, обеспечивая плавное, бесшумное обтекание его ламинарным потоком жидкости.

Крепление звукоизолирующего кожуха к корпусу электродвигателя с помощью кронштейнов через расположенные на корпусе электродвигателя виброизолирующие прокладки способствует снижению передачи вибраций корпуса на звукоизолирующий кожух, тем самым снижая его шумоизлучение, а именно:

- 1) выполнение входного и выходного участков звукоизолирующего кожуха в виде гидродинамических обтекаемых конструкций обеспечивает бесшумное обтекание этих участков.
- 2) наличие кронштейна для внешнего крепления звукоизолирующего кожуха к объекту, жестко не связанному с корпусом электродвигателя, приводит к устранению возможности прямой передачи вибраций корпуса ПАЭДР на звукоизолирующий кожух, тем самым существенно снижая шумоизлучение.

На рис. 2 представлены продольный разрез ПАЭДР со звукоизолирующим кожухом и его поперечный разрез по А-А, на рис. 3 - вариант ПАЭДР с внешним креплением звукоизолирующего кожуха, а на рис. 4 - результаты измерений акустической эффективности кожуха для снижения шумности.

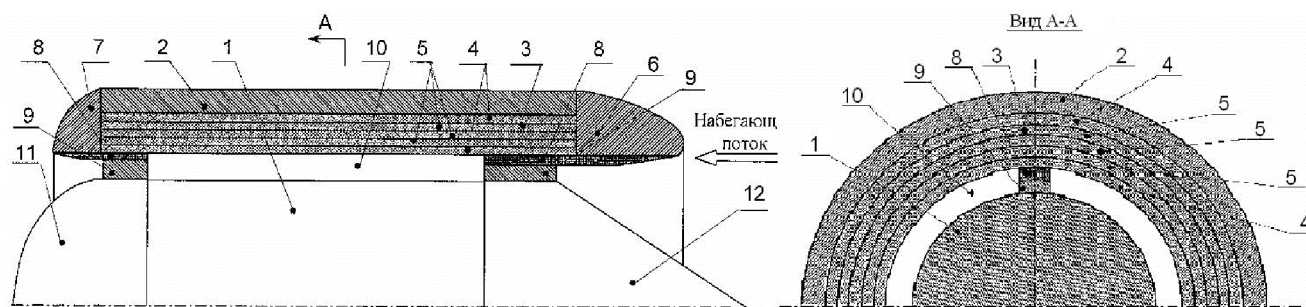


Рис. 2. Продольный разрез ПАЭДР со звукоизолирующим кожухом и его поперечный разрез по А-А.

Вокруг корпуса 1 ПАЭДР коаксиально с ним установлен звукоизолирующий кожух 2, выполненный в виде отрезка цилиндрической трубы, длина которой превышает на 15% длину корпуса 1, с нанесенным на его внутренней поверхности звукоизолирующим покрытием 3.

Звукоизолирующее покрытие 3 выполнено из резины и состоит из пяти слоев, два внешних слоя 4 из которых выполнены из монолитного, а три внутренних слоя 5 из перфорированного материала, имеющего коэффициент перфорации $K_{\text{пер}}$ не менее 0,3. Входной 6 и выходной 7 участ-

ки кожуха 2 выполнены обтекаемыми с позиции гидродинамики. Кожух 2 прикреплен к корпусу 1 с помощью кронштейнов 8, имеющих в поперечном сечении гидродинамически обтекаемый профиль, через виброизолирующие прокладки 9. Между корпусом 1 и коаксиально установленным с ним звукоизолирующим кожухом 2 с покрытием 3 имеется сквозной кольцевой канал 10 для протока жидкости, отводящей от ПАЭДР тепло. На торцах корпуса 1 ПАЭДР (рис. 1) установлены обтекатели 11 и 12, облицованные изнутри звукоизолирующим покрытием (не показано).

На рис. 3 показан вариант исполнения, при котором крепление звукоизолирующего кожуха 2 осуществляется к внешнему объекту (не показан) с помощью кронштейна 13.

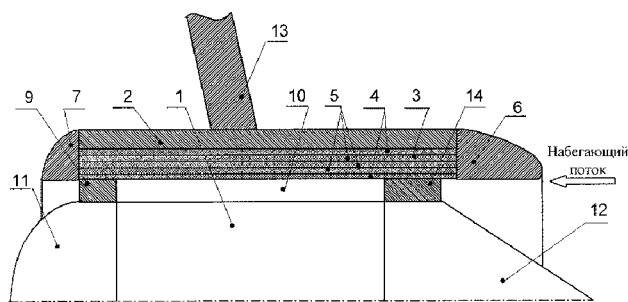


Рис. 3. ПАЭДР с внешним креплением звукоизолирующего кожуха.

Между звукоизолирующим кожухом 2 и корпусом 1 электродвигателя размещены по кругу резиновые прокладки 14 для обеспечения взаимной центровки между звукоизолирующим кожухом 2 и корпусом 1 электродвигателя. Также как и в предыдущей конструкции имеется сквозной кольцевой канал 10 для протока охлаждающей жидкости.

При работе ПЭД приводит во вращение испытуемые модели гребных винтов. Возникающий при этом акустический шум, обусловленный излучением вибрирующего корпуса работающего ПАЭДР, существенно снижается. Этому способствует наличие кожуха, облицованного звукоизолирующим покрытием, а также обтекателей на его корпусе и облицовки таким же покрытием их внутренних поверхностей.

Кроме того, виброизолирующие прокладки, через которые звукоизолирующий кожух прикреплен к корпусу ПАЭДР, демпфируют указанные вибрации и, благодаря этому, также снижается акустическое шумоизлучение.

При обтекании внешним потоком жидкости входных и выходных участков звукоизолиру-

щего кожуха, кронштейнов крепления кожуха к ПАЭДР, имеющих в поперечном сечении гидродинамически обтекаемый профиль, и обтекателей на торцах исключается возникновение кавитационных явлений на конструктивных элементах. Кроме этого, внутренний поток, протекающий через образованный аксиально расположенными корпусами ПАЭДР и звукоизолирующим кожухом сквозной кольцевой канал, осуществляет требуемый отвод тепла от корпуса ПЭД.

Одновременно с этим происходит существенное уменьшение излучения корпуса ПАЭДР за счет затухания акустической волны по мере ее распространения по сквозному кольцевому каналу, являющемуся волноводом со звукопоглощающими стенками.

Для проверки акустической эффективности предлагаемого ПАЭДР со звукоизолирующим кожухом были проведены измерения его акустической эффективности при возбуждении макета корпуса специальным источником возбуждения.

На рис. 4 приведена частотная характеристика акустической эффективности кожуха, полученная в процессе выполнения этих измерений.



Рис. 4. Частотная характеристика акустической эффективности кожуха

Видно, что величина эффективности составляет в диапазоне частот выше 1000 Гц 20-30 дБ. Отсюда следует, что применение кожуха резко снижает уровни шумности.

Специфические рабочие характеристики асинхронных двигателей с двухслойным ротором дают возможность их эффективного использования в малошумных электроприводах с относительно широким диапазоном регулирования частоты вращения [3].

Наиболее просто реализуется, при этом, параметрический или квазичастотный способ управления, осуществляемый за счет регулиро-

вания напряжения [4] на обмотке статора с помощью статических регуляторов – переключателей переменного тока. На рис 5 приведены регулировочные характеристики асинхронного двигателя в относительных единицах, полученные из экспериментальных исследований регулировочных свойств у двигателя с двухслойным ротором с рифленной поверхностью на базе асинхронного двигателя с обычным короткозамкнутым ротором (АДКР) на базе типоразмера А41-2А при различных законах изменения момента статической нагрузки.

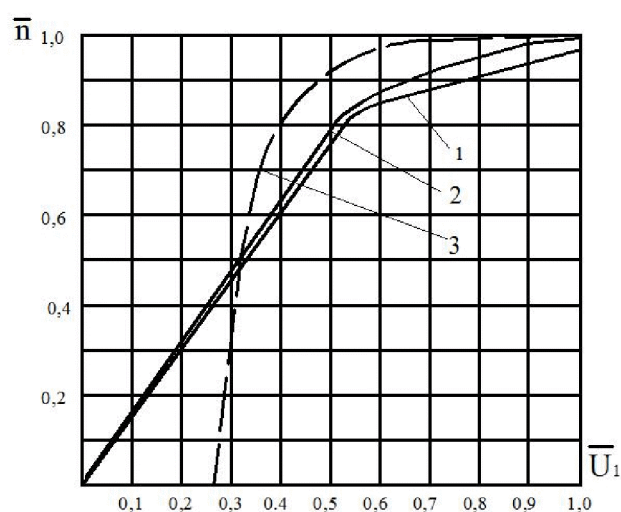


Рис. 5. приведены регулировочные характеристики асинхронного двигателя

При изменении напряжения на статоре оказывается, что устойчивое регулирование частоты вращения двигателя с двухслойным ротором при параболическом законе изменения момента сопротивления возможно в диапазоне частот вращения 3:1 - 4:1.

Повышается устойчивость работы электропривода на всем диапазоне регулирования. Наряду с этим следует отметить, что диапазон регулирования АДКР при том же моменте сопротивления меньше из-за потери статической устойчивости работы на низких частотах вращения.

Зависимости тока статора I_1 , потерь $\sum \Delta p$ в относительных единицах, а также энергетического КПД $\eta = \eta \cos \phi$ от напряжения (рис. 6) соответствуют закономерности изменения момента сопротивления на по типу 1 в соответствии с рис. 5. Ток статора с увеличением напряжения сначала растёт, достигая наибольшего значения, а затем уменьшается. Одновременно с этим ПАЭДР во всем диапазоне регулирования имеет наименьший ток.

Наибольшее значение тока статора при двухслойном роторе составляет $1,15I_{1ном}$ а, например при короткозамкнутом $1,55I_{1ном}$.

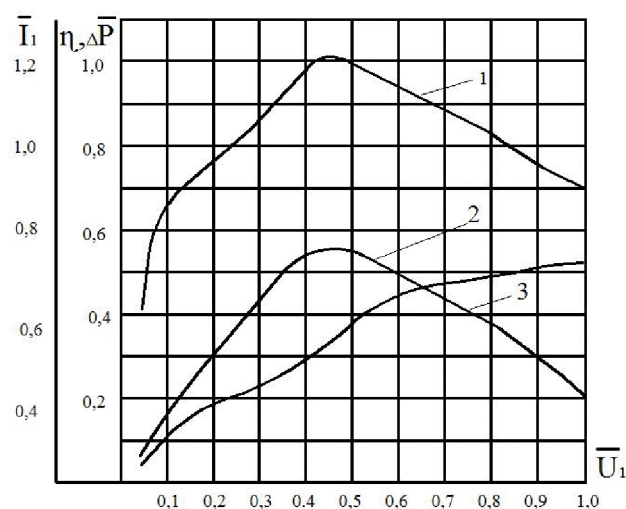


Рис. 6. Зависимости ПАЭДР для тока статора (1), энергетического КПД (2) и суммарных потерь (3) от напряжения на статор.

Это влечет за собой и уменьшение потерь при двухслойном роторе на 200 - 400 Вт по сравнению с АДКР из-за снижения потерь в обмотке статора.

Энергетический КПД при значениях частоты вращения меньших $0,9n_{ном}$ у ПАЭДР так же существенно больше, чем у АДКР.

Вместе с тем двигатель с двухслойным ротором может работать и в продолжительном режиме, если момент сопротивления изменяется по закону $M_c = 0,8n^2$ (рис. 5).

Заключение

По основным показателям наиболее целесообразно использовать указанный маломощный двигатель для модельных испытаний в гребных приводах с вентиляторным статическим моментом сопротивления нагрузки.

Особенности регулировочных характеристик двигателей с двухслойными роторами позволяют эффективно использовать их в приводах с широким диапазоном регулирования частоты вращения, осуществляемого параметрическим способом – изменением подводимого напряжения.

Список литературы

1. Company catalog "Franklin Electric", С. 510.201-510.601. Translate №754 ЦНИИ СЭТ, 1969, стр. 5, 6.

2. Пат. 2234784 Российская Федерация, МКИ 7 H02K 5/10, 5/24, 5/132. Погружной в поток жидкости электродвигатель (варианты) /С.В. Будрин, А.Ф. Болотин, Ю.М. Воробьев, С.В. Попков, В.Д. Чушев. - № 2002111401/09; заявл.27.04.2002; опубл.20.08.2004 Бюлл. №23.
3. Олейников, А.М. Теория, технология и режим работы асинхронных двигателей с двухслойным ротором / В.С. Могильников, А.М. Олейников; под общ. ред. Олейникова А.М. – 2-е изд. Перераб. и доп. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2008. – 350 с.
4. Высоцкий, В.Е. Анализ работы асинхронного двигателя с двухслойным ротором в электроприводе насосов /В. Е. Высоцкий, А.М. Олейников, А.А. Нагирняк // 16th International Conference «Electromechanics, Electrotechnology, Electromaterials and Components» ICEEE – 2016. September 19 – 24, 2016 Aiushta, Crimea, ICEEE – 2016 Abstracts. - P. 94 – 96.

References

1. Company catalog "Franklin Electric", С. 510.201-510.601. Translate №754 Central Scientific Research Institute of Ship Electrical Engineering and Technology, 1969, p. 5, 6.
2. RU Pat. 2234784 МКИ 7 H02K 5/10, 5/24, 5/132. Submersible into the flow of liquid electric motor (options) /S. V. Budrin, A.F. Bolotin, J.M. Vorobiov. S. V. Popov, V. D. Chushev. - № 2002111401/09; № 2002111401/09 declared; 27.04.2002; published 20.08.2004 Bul. №23.
3. Oleinikov, A.M. Theory, technology and mode of operation of induction motors with a two-layer rotor. Mogilnikov, A.M. Oleynikov; Under the Society. Ed. Oleynikov A.M. – 2-nd ed. Pererab. And additional. - Sevastopol: Publishing house of SevNTU, 2008.
4. Vysotsky, V. E. Analysis of induction motor with double rotor electric pumps. / Vysotsky V. E., Nagirnyak // 16th International Conference «Electromechanics, Electrotechnology, Electromaterials and Components» ICEEE – 2016. September 19 – 24, 2016 Aiushta, Crimea, ICEEE – 2016 Abstracts. - P. 94 – 96.

УДК 621.039.56

Модификация транспортной задачи при наличии перераспределения ресурсов между потребителями

С.А. Качур

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33,
г. Севастополь, 299053, Россия, kachur_62@mail.ru

Статья поступила 19.07.2017 г.; после доработки 21.07.2017 г.

Аннотация

Предложена модифицированная модель транспортной задачи для случая использования потребителей в качестве вторичных поставщиков. Создан алгоритм ее построения и одновременно решения на основе классических методов линейного программирования. Произведен расчет мощностей с учетом перетока мощностей для простейшей сети электроснабжения.

Ключевые слова: модель, транспортная задача, модификация, алгоритм, электроснабжение.

Modification of Traffic Problem at Presence of Redistribution of Resources between Users

S.A. Kachur

Sevastopol state university, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, kachur_62@mail.ru

Received 19.07.2017 y.; received in final form 21.07.2017 y.

Abstract

The modified model of traffic problem for the case of the use of users as the second suppliers is offered. The algorithm of its construction is created and simultaneous decisions on the basis of classic methods of the linear programming. The calculation of powers taking into account cross-flow of powers for the simplest net of power supply is produced.

Keywords: model, traffic problem, modification, algorithm, power supply.

Введение

Экономика электроэнергетической отрасли начинает отдавать предпочтение малой генерации электроэнергии, подключенной к общей распределительной сети.

Современные распределительные сети спроектированы так, чтобы автоматически регулировать напряжение в соответствии с заданными или нормативными требованиями в рамках некоторого допустимого предела. Наличие большого числа малых генераторов потребует изменения принципов построения традиционной системы управления [1-3].

Одна из главных задач функционирования такой сети – это оптимизации распределения

нагрузки (Economic Dispatch или ED), которая состоит в минимизации эксплуатационных расходов в зависимости от спроса, т.е. в оптимальном распределении нагрузки между имеющимися генерирующими источниками.

Сложность при ED заключается в том, что на практике весь рабочий диапазон генерирующих источников оказывается не всегда доступен для распределения нагрузки в связи с физическими ограничениями.

Для решения задач ED использовались различные методы: метод релаксации Лагранжа, линейное программирование, алгоритмы динамического программирования, квадратичное программирование, метод Ньютона-Рафсона,

генетические алгоритмы и ИНС.

Рассмотрим кратко возможности применения некоторых из этих методов.

Методы Лагранжа, которые наиболее часто используются при решении ЕД-проблем, уже не дают желаемого результата при прямом использовании.

Методы динамического программирования также являются широко распространенными и изученными, но при их использовании на ЭЭС реальных размеров с большим количеством генерирующих источников приводит к так называемому «проклятию размерности», экспоненциальному увеличению объемов данных.

Главными недостатками генетических алгоритмов в решении задач ЕД являются сложность определения функции приспособленности, а также нахождение субоптимальных решений без гарантии того, что эти решения не являются локальными, и долгое время поиска.

Искусственная нейронная сеть [4, 5], а в особенности, нейронная сеть Хопфилда продемонстрировали прекрасную способность решения комбинаторных задач оптимизации. Нейронная сеть Хопфилда применяется для энергоблоков с непрерывной или кусочно-квадратичной функцией стоимости топлива. Повышенный интерес к этой нейронной сети обусловлен ее возможностью учета всех вынужденных ограничений, например, потерь при передаче энергии, контроля уровней загрязнения энергоблока и т. д. Также для решения задач ЕД используются многослойный персептрон.

Необходимо отметить, что прежде, чем происходит непосредственное обучение нейронов сети в соответствии с реализованным для данного типа сети алгоритма, требуется задать последовательность входных векторов, определяющие задающие сигналы и сигналы отклика. Для одного и того же типа нейронной сети достижение желаемого результата решения задачи ЕД зависит от модели и метода, получения этих входных обучающих последовательностей. Сеть должна реализовывать функцию заданную извне. Применение нейронной сети целесообразно в случае, если ее быстродействие в режиме опроса выше быстродействия алгоритмической системы, генерирующей обучающие вектора.

В существующих моделях решения задач ЕД перетоки мощности по сети являются детерминированными, поэтому существует необходимость в разработке описания взаимодействий компонентов сети электроснабжения. В статье предлагается в качестве такого описания модифицированная модель транспортной задачи ли-

нейного программирования при известном методе ее решения [6].

Цель и задачи исследования

Целью исследования является разработка алгоритма построения оптимального плана поставок ресурса (электроэнергии, информации, товара, финансов и т.п.) от поставщиков к потребителям при наличии у потребителей возможности перераспределения этого ресурса между собой в условиях недетерминированного поведения участников поставок.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить модификацию классической модели транспортной задачи при неизменном методе решения. В качестве такого метода в статье рассматривается метод потенциалов. Разработка модели ведется на примере сети электроснабжения, что не влияет на общность алгоритма для случаев других приложений.

Алгоритм построения распределения мощности в сетях электроснабжения

Для начала сравним графы, описывающие отношения между поставщиком и потребителем в классической транспортной задаче (рис. 1а) и источником энергии (ИЭ) и энергетическими узлами (ЭУ) в сети электроснабжения (рис. 1б).

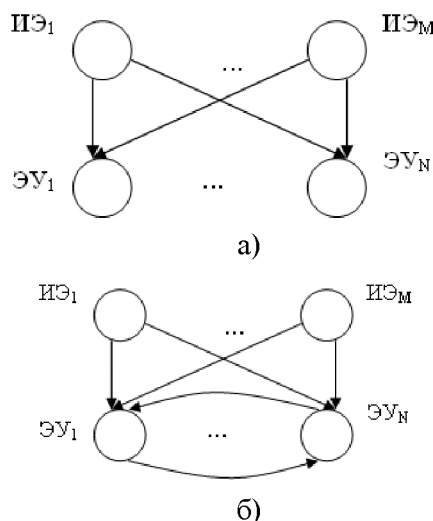


Рис. 1. Графы отношений между элементами поставок в классической транспортной задаче (а) и сети электроснабжения (б).

Для случая рис. 1б потребитель одновременно является поставщиком, однако поставляемый им ресурс заимствован, т.е. энергетический узел становится вторичным поставщиком. План явля-

ется оптимальным, если целевая функция F , определяющая суммарную стоимость (затраты) передачи электроэнергии в сети, будет минимальна.

Следовательно, перераспределение электроэнергии между узлами целесообразно тогда, когда стоимость поставок между узлами ниже затрат на передачу от источника энергии (АЭС, ТЭЦ, ГЭС и т.д.).

Кроме того, максимальная мощность ИЭ и максимальная пропускная способность ЭУ не являются фиксированными.

Предполагаем, что информация об их значении поступает в момент построения плана поставок одновременно с текущими потребностями (нагрузками) в узлах.

Предлагаемый алгоритм предполагает несколько итераций в определении плана поставок, его входных параметров и выходных параметров.

Прежде, чем рассматривать алгоритм построения плана поставок, введем следующие обозначения в терминах постановки транспортной задачи:

$M_s^{(p)}$ ($s = \overline{1, n}$) – мощность s -го ИЭ (поставщика) при p -ой итерации;

K_l ($l = \overline{1, m}$) – собственные потребности (нагрузка) l -го ЭУ (потребителя) в ресурсе;

$M_{\max s}$ и $K_{\max l}$ – максимальная мощность s -го ИЭ и максимальная пропускная способность (возможность принятия ресурса) l -го ЭУ соответственно на начало построения плана;

$\Delta K_l^{(p)}$ ($l = \overline{1, m}$) – мощность, отдаваемая в сеть l -ым ЭУ при p -ой итерации;

$x_{ij}^{(p)}$ ($i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}$) – мощность, поставляемая i -му ЭУ от j -го ИЭ при p -ой итерации;

$y_{ij}^{(p)}$ ($i = \overline{1, m}, j = \overline{1, m}$) – перетоки мощности, т.е. мощность, поставляемая i -му ЭУ (потребитель) от j -го ЭУ (вторичный поставщик) при p -ой итерации;

c_{ij} ($i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}$) – стоимость поставки единицы ресурса i -му ЭУ от j -го ИЭ;

z_{ij} ($i = \overline{1, m}, j = \overline{1, m}$) – стоимость поставки единицы ресурса i -му ЭУ от j -го ЭУ;

$F^{(p)}$ – целевая функция при p -ой итерации.

В случае отсутствия связей между элементами сети, стоимость поставки единицы ресурса равна ∞ (в расчетах принимает очень большую величину).

Для работы алгоритма необходимо соблюде-

ния следующего ограничения

$$\sum_{l=1}^m K_{\max l} \leq \sum_{s=1}^n M_s.$$

Этапы алгоритма.

Этап I. Строим математическую модель транспортной задачи для поставщиков с $M_s^{(0)} = M_{\max s}$ ($s = \overline{1, n}$) и потребителей K_l ($l = \overline{1, m}$), $\Delta K_l^{(1)} = K_{\max l} - K_l$ ($l = \overline{1, m}$) в виде табл. 1.

Таблица 1

	$M_1^{(0)}$	$M_2^{(0)}$	...	$M_n^{(0)}$
K_1	c_{11}	c_{12}		c_{1n}
K_2	c_{21}	c_{22}		c_{2n}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
K_m	c_{m1}	c_{m2}	...	c_{mn}
$\Delta K_1^{(1)}$	c_{11}	c_{12}		c_{1n}
$\Delta K_2^{(1)}$	c_{21}	c_{22}		c_{2n}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$\Delta K_m^{(1)}$	c_{m1}	c_{m2}	...	c_{mn}

Необходимо найти план поставок, т.е. $x_{ij}^{(1)}$ ($i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}$) и $y_{ij}^{(1)}$ ($i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}$), удовлетворяющий следующим ограничениям

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n x_{ij}^{(1)} = K_i, i = \overline{1, m} \\ \sum_{j=1}^m y_{ij}^{(1)} = \Delta K_i^{(1)}, i = \overline{1, m} \\ \sum_{i=1}^m x_{is}^{(1)} + \sum_{i=1}^m y_{is}^{(1)} \leq M_s^0, s = \overline{1, n} \\ x_{ij}^{(1)} \geq 0, y_{ij}^{(1)} \geq 0 \end{cases}$$

и оптимизирующий целевую функцию

$$F^{(1)} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij}^{(1)} c_{ij} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m y_{ij}^{(1)} c_{ij} \rightarrow \min.$$

Решение задачи выполняется методом потенциалов. В результате приходим к новым значениям мощностей ИЭ

$$M_s^{(1)} = M_s^0 - \sum_{i=1}^m y_{is}^{(1)} \quad (s = \overline{1, n}).$$

Этап II. Строим математическую модель транспортной задачи для поставщиков с $M_s^{(1)}$ ($s = \overline{1, n}$) и $\Delta K_l^{(1)}$ ($l = \overline{1, m}$) и потребителей K_l ($l = \overline{1, m}$) в виде табл. 2.

Таблица 2

	$M_1^{(1)}$	$M_2^{(1)}$	...	$M_n^{(1)}$	$\Delta K_1^{(1)}$	$\Delta K_2^{(1)}$	...	$\Delta K_m^{(1)}$
K_1	c_{11}	c_{12}		c_{1n}	∞	z_{12}		z_{1n}
K_2	c_{21}	c_{22}		c_{2n}	z_{21}	∞		z_{2n}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
K_m	c_{m1}	c_{m2}	...	c_{mn}	z_{m1}	z_{m2}	...	∞
	$M_1^{(2)}$	$M_2^{(2)}$	...	$M_n^{(2)}$	$\Delta K_1^{(2)}$	$\Delta K_2^{(2)}$	...	$\Delta K_m^{(2)}$

Необходимо найти план поставок, т.е. $x_{ij}^{(2)}$ ($i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, n}$) и $y_{ij}^{(2)}$ ($i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, m}$), удовлетворяющий следующим ограничениям

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n x_{ij}^{(2)} + \sum_{j=1}^m y_{ij}^{(2)} = K_i, \quad i = \overline{1, m} \\ \sum_{i=1}^m x_{is}^{(2)} \leq M_s^{(1)}, \quad s = \overline{1, n} \\ \sum_{i=1}^m y_{il}^{(2)} \leq \Delta K_l^{(1)}, \quad l = \overline{1, m} \\ x_{ij}^{(2)} \geq 0, \quad y_{ij}^{(2)} \geq 0 \end{cases}$$

и оптимизирующий целевую функцию

$$F^{(2)} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij}^{(2)} c_{ij} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m y_{ij}^{(2)} z_{ij} \rightarrow \min.$$

Решение задачи выполняется методом потенциалов. В результате приходим к новым значениям мощностей ИЭ $M_s^{(2)}$ и перетоков мощностей ЭУ $\Delta K_l^{(2)}$.

Определяем для всех ИЭ мощности ΔM_s ($s = \overline{1, n}$), которые используются вторичными поставщиками и являются перетоками мощности. Для этого сформируем две матрицы, а именно W размерностью $m \times m$ и Y размерностью $m \times n$ в следующем виде

$$w_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } y_{ij}^{(2)} \neq 0 \\ 0, & \text{если } y_{ij}^{(2)} = 0 \end{cases},$$

$$y_{ij} = y_{ij}^{(1)}.$$

Выполнив матричное умножение W и Y , получим матрицу размерностью $m \times n$ $WY = D$.

Определение ΔM_s осуществляется через элементы D по следующей формуле

$$\Delta M_s = \sum_{i=1}^m d_{is} \quad (s = \overline{1, n}).$$

Этап III. Строим математическую модель транспортной задачи для поставщиков с ΔM_s ($s = \overline{1, n}$) и потребителей $\Delta K_l^{(2)}$ ($l = \overline{1, m}$) в виде табл. 3.

Таблица 3

	ΔM_1	ΔM_2	...	ΔM_n
$\Delta K_1^{(2)}$	c_{11}	c_{12}		c_{1n}
$\Delta K_2^{(2)}$	c_{21}	c_{22}		c_{2n}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$\Delta K_m^{(2)}$	c_{m1}	c_{m2}	...	c_{mn}

Необходимо найти план поставок, т.е. и $y_{ij}^{(3)}$ ($i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, n}$), удовлетворяющий следующим ограничениям

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^m y_{is}^{(3)} = \Delta M_s, \quad s = \overline{1, n} \\ \sum_{i=1}^m y_{il}^{(3)} = \Delta K_l^{(2)}, \quad l = \overline{1, m} \\ y_{ij}^{(3)} \geq 0 \end{cases}$$

и оптимизирующий целевую функцию

$$F^{(3)} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n y_{ij}^{(3)} c_{ij} \rightarrow \min.$$

Решение задачи выполняется методом потенциалов. В результате приходим к новым значениям мощностей ИЭ $M_s^{(3)}$

$$M_s^{(3)} = M_s^{(2)} + \Delta M_s \quad (s = \overline{1, n}).$$

Результат работы алгоритма – план сетевого распределения мощности, который можно представить в форме табл. 4.

Таблица 4

	$M_1^{(1)}$	...	$M_n^{(1)}$	$\Delta K_1^{(1)}$	...	$\Delta K_m^{(1)}$
K_1	$x_{11}^{(2)}$		$x_{1n}^{(2)}$	$y_{11}^{(2)}$		$y_{1m}^{(2)}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$			
K_m	$x_{m1}^{(2)}$		$x_{mn}^{(2)}$	$y_{m1}^{(2)}$		$y_{mm}^{(2)}$
$\Delta K_1^{(2)}$	$y_{11}^{(3)}$		$y_{1n}^{(3)}$			
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$				
$\Delta K_m^{(2)}$	$y_{m1}^{(3)}$		$y_{mn}^{(3)}$			

Результирующее значение целевой функции определяется формулой

$$F = F^{(2)} + F^{(3)}$$

Введя следующие обозначения

$$M_s^{(вых)} = M_s^{(3)}; \quad K_l^{(ex)} = K_l + \Delta K_l^{(2)};$$

$$K_l^{(вых)} = \Delta K_l^{(2)},$$

преобразуем табл. 4 в виду табл. 5.

Таблица 5

	$M_1^{(вых)}$	...	$M_n^{(вых)}$	$K_1^{(вых)}$	...	$K_m^{(вых)}$
$K_1^{(ex)}$	$x_{11}^{(2)} + y_{11}^{(3)}$		$x_{1n}^{(2)} + y_{1n}^{(3)}$	$y_{11}^{(2)}$		$y_{1m}^{(2)}$
$\vdots$						
$K_m^{(ex)}$	$x_{m1}^{(2)} + y_{m1}^{(3)}$		$x_{mn}^{(2)} + y_{mn}^{(3)}$	$y_{m1}^{(2)}$		$y_{mm}^{(2)}$

Пример решения модифицированной транспортной задачи с использованием возможностей программного пакета EXCEL

На рассматриваемый момент времени исходные данные представлены в виде следующих таблиц (рис. 2.)

	Источ.энерг.	Pmax
M1	1	30
M2	2	20

	Энерго-узлы	Pmax	Pреб
K1	1	10	8
K2	2	20	17
K3	3	15	12

Стоимость поставки единицы энергии от станций

	M1	M2
K1	1	2
K2	3	2
K3	2	1

Стоимость поставки единицы энергии между узлами

	K1	K2	K3
K1	100	2	3
K2	1	100	1
K3	3	2	100

Рис. 2. Представление исходных данных в EXCEL.

Решение классической транспортной задачи на различных этапах выполнения предлагаемого алгоритма производится с помощью приложения «Поиск решения», выбираемого в диалоговом окне «Сервис» пакета EXCEL.

Первый этап

	M1	M2		Pmax
	30	20		
K1	8	0	8	8
K2	7	10	17	17
K3	5,5	6,5	12	12
dK1	2	0	2	2
dK2	1	2	3	3
dK3	0,5	1,5	2	2
	24	20		

$$F=78$$

Второй этап

	M1	M2	dK1	dK2	dK3		Pреб
	26,5	16,5	2	3	2		
K1	8	0	0	0	0	8	8
K2	2,55	10,45	2	0	2	17	17
K3	5,95	6,05	0	0	0	12	12
	16,5	16,5	2	0	2	37	

$$F=58,5$$

Уточненный расчет требуемой поставки энергии от станций

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 2 & 0 \\ 1 & 2 \\ 0,5 & 1,5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 2,5 & 1,5 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

	Mi	dMi	Мрасч
M1	16,5	2,5	19
M2	16,5	1,5	18

Третий этап

	dM1	dM2		Pреб
	2,5	1,5		
dK1	2	0	2	2
dK2	0	0	0	0
dK3	0,5	1,5	2	2
	2,5	1,5		

$$Fd=4,5$$

Окончательный план поставок

	M1	M2	dK1	dK2	dK3		Pреб
	19	18	2	0	2		
K1	8	0	0	0	0	8	8
K2	2,55	10,45	2	0	2	17	17
K3	5,95	6,05	0	0	0	12	12
			2	0	2	4	
dK1	2	0					
dK2	0	0					
dK3	0,5	1,5					
	19	18					

$$F=58,5+4,5=63$$

Если бы перетоки мощности отсутствовали, то план поставок электроэнергии был бы следующим

	M1	M2		Преб
	30	20		
K1	8	0	8	8
K2	7	10	17	17
K3	5,5	6,5	12	12
	20,5	16,5		

$F=66,5$

Таким образом, в случае задания исходных данных таблицами рис. 2 экономически выгоднее использовать узлы как вторичные источники, чем осуществлять поставки энергии только от ИЭ.

Заключение

Разработана модифицированная модель транспортной задачи для случая использования потребителей в качестве вторичных поставщиков. Предложен алгоритм ее построения и одновременно решения задачи планирования поставок на основе классических методов линейного программирования.

Произведен расчет мощностей с учетом перетока для простейшей сети электроснабжения, который подтвердил экономическую эффективность использования сетевого перераспределения мощностей.

Предполагается, что результаты работы созданного алгоритма будут использованы для обучения нейронных сетей, обеспечивающих более высокое быстродействие с заданной точностью в режиме опроса, чем функционирование программного блока на основе предложенного алгоритма.

Список литературы

1. Каменев А.С., Королев С.Ю., Сокотущенко В.Н. Нейромоделирование как инструмент интеллектуализации энергоинформационных сетей / Под ред. В.В. Бушуева – М.: ИЦ «Энергия», 2012. – 124 с.
2. Шумилова Г.П., Готман Н.Э., Старцева Т.Б. Прогнозирование электрических нагрузок при оперативном управлении электроэнергетическими системами на основе нейросетевых структур. – Сыктывкар: К УрО РАН, 2008. – 77с.
3. Гужов С.В. Интеллектуальные электросети и энергоменеджмент в развитии регионов России// Энергосбережение, 2015. – №7 – С.46-49
4. Уоссерман Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика. – М.: Мир, 1992. – 237 с.
5. Змитрович А.И. Интеллектуальные информационные системы. – Минск: НТООО «ТетраСистемс», 1997. – 368 с.
6. Вентцель Е.С. Исследование операций – М.: Сов. радио, 1972. – 324 с.

References

1. Kamenev A.C., Korolev C.Yu., Sokuschenko V.N. *Nejromodelirovanie kak instrument intellektualizacii energoinformacionnyh setej* [Neuronsimulation as instrument of intellectualization of energoinformational nets]. Moscow, IC «Energiya», 2012, 124 p.
2. Shumilova G.P., Gotman N.E., Starceva T.B. *Prognostirovanie elektricheskikh nagruzok pri operativnom upravlenii elektroenergeticheskimi sistemami na osnove nejrosetevykh struktur* [Prognostication of the electric loadings at the active control by the electroenergy systems on the basis of neuronets structures]. Syvtuvkar, K UrO RAN, 2008, 77p.
3. Guzhov C.V. Intellectual electric systems and энергоменеджмент in development of regions of Russia. *Energoberezhenie*, 2015, №7, pp.46-49
4. Uosserman F. *Nejrokompyuternaya tehnika: Teoriya i praktika* [Neurocomputer technique: Theory and practice]. Moscow, Mir, 1992, 237 p.
5. Zmitrovich A.I. *Intellektual'nay informacionnye sistemy* [Intellectual informative systems]. Misk, NTOOO «TeraSistems», 1997, 368 p.
6. Ventcel' E.S. *Issledovanie operacij* [Operations analysis] Moscow, Sov. radio, 1972, pp. 324.

УДК621.311.1

Плавка гололеда на проводах и тросах воздушных линий электрических сетей

Н.А. Куликова¹, О.Н. Титаренко²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,
ул. Курчатова, 7, г. Севастополь, 299015, Россия, ¹vvkulikov@mail, ²plotnykova198608@mail.ru .

Статья поступила 11.09.2017 г.; после доработки 12.09.2017 г.

Аннотация

В статье рассматривается актуальная проблема плавки гололеда на проводах и тросах воздушных линий электрических сетей как один из факторов надежного электроснабжения потребителей и нормальной эксплуатации воздушных линий электропередачи. Приводится перечень основных способов плавки гололеда на ВЛ. Приведен обзор основных устройств, которые применяются для плавки гололеда. Особое внимание уделено размещению устройств плавки гололеда с точки зрения максимальной эффективности с учетом экономических факторов.

Ключевые слова: плавка гололеда, воздушные линии электропередач, тросы, постоянный ток, переменный ток, гололедно-изморозевые отложения, установки плавки гололеда.

De-icing of wires and cables in overhead electric power networks

N.A. Kulikova¹, O.N. Titarenko²Federal state autonomous establishment of higher education «Sevastopol State University» Kurchatova Street, 7, Sevastopol, 299015, Russia, ¹vvkulikov@mail.ru, ²plotnykova198608@mail.ru.

The article was received on 11.09.2017 y ; after improvement 12.09.2017 y.

Abstract

In the article the pressing problem of electric power transmission lines' wires and cables de-icing is considered as one of the factors of reliable power supply to consumers as well as an essential element of overhead power transmission lines' regular operation. The general methods of ice-melting on overhead power lines are listed. In addition, the article gives an overview of the main devices used for de-icing. Particular attention is paid to the positioning of ice-melting devices so as to achieve maximum efficiency, taking economic factors into account.

Keywords: de-icing, overhead power transmission lines, cables, direct current, alternating current, ice and hoar frost deposits, ice-melting installation.

Введение

Актуальная проблема для нормальной эксплуатации воздушных линий электропередачи – это отложение гололеда, изморози и мокрого снега, что представляет большую опасность.

Множество электрических воздушных линий в регионах России (Северо-запад, Поволжье, Даль-

невосточное приморье, Крым и т.д.) подвергаются в холодное время года налипанию мокрого снега на провода и образованию гололедно-изморозевых отложений. Гололед увеличивает механические нагрузки на всех элементах воздушных линий.

В энергосистемах, согласно статистике, по причине образования гололеда происходит от 6 до 8 крупных аварий в год.

Плавка гололеда является наиболее эффективным средством борьбы с гололедом. Она позволяет в короткий срок удалить гололед с воздушных линий электропередач и грозозащитных тросов.

При проектировании ВЛ, трассы которых проходят в районах гололедности, а также в районах интенсивной и частой пляски проводов, плавку гололеда рекомендуется предусматривать на проводах линий напряжением до 220 кВ включительно. Плавка гололеда на тросах должна предусматриваться в тех случаях, когда возможно опасное приближение освободившихся от гололеда проводов к тросам, покрытым гололедом.

Постановка цели научной работы

Задачей исследования являются способы плавки гололеда на воздушных линиях электрических сетей. Произвести обзор основных устройств, которые применяются для плавки гололеда. Особое внимание уделить размещению устройств плавки гололеда с точки зрения максимальной эффективности с учетом экономических факторов.

Плавка гололеда переменным током

Отложения гололеда на воздушных линиях и тросах могут вызвать: разрегулировку проводов и тросов, их сближение между собой; сближение проводов и тросов при их подскоке вследствие неодновременного сброса гололеда; пляску проводов; обрыв проводов и тросов; разрушение опор; перекрытие линейной изоляции при таянии, потому что значительно снижается льдоразрядные характеристики изоляторов в сравнении с влагоразрядными характеристиками, по ним обычно выбирается необходимый уровень линейной изоляции.

Для плавки гололеда на воздушных линиях используется как переменный, так и постоянный ток. При этом, постоянный ток применяется в основном тогда, когда реактивное сопротивление линии значительно превышает активное. Применение постоянного тока позволяет значительно уменьшить напряжение и мощность плавки гололеда.

Источники питания схем плавки гололеда на ВЛ должны размещаться на более крупных узловых подстанциях энергосистемы из всех расположенных в сильно гололедных районах. Проектирование установок плавки гололеда (УПГ) и схем плавки должна происходить одновременно.

Плавку гололеда нужно начинать при достижении нормативных гололедно-ветровых нагрузок на проводах. Для этого нужно обеспечить это требование на всех линиях, взаимосвязанных по режиму плавки гололеда, следует учитывать реальные нагрузки и направление гололедонесущего потока по отношению к трассе ВЛ, поэтому на части линий плавку гололеда следует начинать заблаговременно. Очередность плавки определяется с учетом ответственности потребителей и наличия резервного питания.

Минимальное число УПГ в электрической сети должно быть необходимым для выполнения плавки гололеда на всех воздушных линиях за 12 ч для сети 110 кВ и выше и за 8 ч для сети 35 кВ.

Если отключение ВЛ 110-220 кВ приводит к перерыву электроснабжения, плавку гололеда нужно производить с пофазным выводом ВЛ из работы. Если не соответствует качество напряжения на шинах нагрузки требованиям ГОСТ 13109-69 целесообразно предусматривать меры по симметрированию неполнофазных режимов работы электрической сети.

Для уменьшения капитальных затрат на организацию плавки гололеда на ВЛ с расщепленными проводами необходимо сооружать их с специальными изолирующими дистанционными распорками, чтобы не допустить схлестывания фаз при неодновременном сбросе гололеда.

Чтобы предупредить об опасных нагрузках от гололеда необходимо производить специальные наблюдения. Для этого определяются контрольные точки на линии, которые подвергаются сильному обледенению, по ним можно судить об опасности гололедообразования. Наблюдать можно непосредственно на линии электропередачи или на специальных гололедных постах [5].

При наблюдении за гололедообразованием на ответственных линиях, где может быть гололед с толщиной стенки 15 мм и более, нужно установить автоматические сигнализаторы, они передадут на подстанцию сигнал о появлении гололеда определенного веса в пролетах, которые подвержены сильному обледенению. Проверять работу сигнализаторов нужно непосредственно перед гололедным сезоном.

Схему плавки гололеда нужно вводить в работу не позднее, чем за один час после команды диспетчера о использовании плавки гололеда.

Необходимо ранее проработать последовательность всех операций по сборке схемы плав-

ки и выполнить меры, обеспечивающие их скорейшее завершение. В схемах плавки гололеда используются коммутационные аппараты (выключатели, разъединители, отделители) с дистанционным управлением или с применением ручных приводов. Временные соединения, собираемые на болтах, шлейфы, накладки, закоротки и т.п., не допускаются.

Собирать и разбирать схемы плавки гололеда нужно производить по специальным программам, которые предусматривают выдачу диспетчером комплексных оперативных заданий учитывающим максимально возможной одновременности выполнения операций, которые включают изменения в релейной защите, предусматривая блокировки от ошибок при сборке схем плавки гололеда.

Релейная защита для устройств плавки гололеда и электроустановок, которые питают эти устройства, должна быть в соответствии с требованиями действующих ПУЭ и Руководящих указаний по проектированию устройств плавки гололеда. Проектирование релейной защиты УПП не должно вызывать изменений в схемах функционирования защит смежных элементов и в целой электрической сети.

Чтобы определить ток и время плавки гололеда нужно учитывать энергию на расплавление льда, на теплоотдачу в окружающую среду и на нагрев провода до температуры, при которой начнется плавление льда.

Плавку гололеда на ВЛ нужно выполнять, по возможности, большими токами, это позволит намного быстрее завершить ее и восстановить нормальную схему работы электрической сети. Так же уменьшатся затраты электроэнергии на плавку, так как энергия, которая отдается в окружающую среду, напрямую зависит от длительности обогрева линии.

Вариант режима плавки гололеда выбирается по самому обледенелому участку линии, но предельно допустимый ток плавки гололеда необходимо выбирать учитывая нагрев провода (троса), где нет гололеда.

Допустимая температура нагрева провода определяется по двум условиям:

- условие сохранения механической прочности провода;
- условие приближения вовремя плавки провода к земле или пересекаемым объектам.

Определение наибольших допустимых токов плавки может быть произведено по формуле:

$$I_{M0}^2 R_{t00} = \left\{ 7,24 \left[\frac{273 + 0,5(t_{\text{доп}} + t)}{1000} \right]^3 E d + 0,16 d^{0,75} (t_{\text{доп}} - t)^{0,3} \right\} (t_{\text{доп}} - t)$$

$$I_{M0}^2 R_{t00} = \left\{ 7,24 \left[\frac{273 + 0,5(t_{\text{доп}} + t)}{1000} \right]^3 E d + 1,1 \sqrt{V \cdot d} \right\} (t_{\text{доп}} - t)$$

где I_{M0} - наибольший допустимый ток плавки, А;
 R_{t00} - сопротивление 1 м провода или троса при допустимой температуре провода, Ом;
 d - диаметр провода или троса, см;
 E - постоянная лучеиспускания (для медных и алюминиевых проводов имеет значение порядка 0,6, для стальных тросов - порядка 0,3);

$t_{\text{доп}}$ - допустимая температура нагрева провода, °С;

t - температура воздуха, °С;

V - скорость ветра, м/с.

Первая формула применяется для погоды со скоростью ветра менее 1,0 м/с; вторая - со скоростью ветра более 1,0 м/с [5].

Время плавки гололеда зависит от значения тока, размеров и плотности гололедно-изморозевых образований, их формы, скорости ветра и температуры воздуха.

Требуемый ток и время плавки в длительном режиме рассчитывается по формуле:

$$I_n^2 R' = \frac{\Delta t}{R_{TO} + R_{T1}} \tau + 10 \gamma d \epsilon + \frac{0,045 \gamma_r D^2}{R_{TO} + R_{T1}} \left(R_{T1} + 0,22 \frac{R_{TO}}{\lg \frac{D}{d}} \right) \Delta t + \sum C \gamma_N S \Delta t,$$

где I_n - ток плавки, А;

R - сопротивление 1 м провода или троса при 0°С, Ом;

τ - время плавки, ч;

Δt - разность между температурой провода и воздуха, °С;

r_t - объемный вес гололеда, г/см³;

ϵ - толщина стенки гололеда, см;

d - диаметр провода, см;

D - внешний диаметр провода с гололедом, см;

R_{TO} - тепловое сопротивление 1 м гололедного цилиндра при переходе от внутренней к наружной поверхности, $\frac{m^0 C}{Bm}$;

$$R_{TO} = \frac{\lg \frac{D}{d}}{273 \Lambda};$$

R_{T1} - тепловое сопротивление при переходе с 1 м длины наружной поверхности обледенелого провода в воздухе, $\frac{m^0 C}{Bm}$

$$R_{T1} = \frac{1}{0,09 D + 1,1 \sqrt{UD}} \quad \text{для гололеда,}$$

$$R_{T1} = \frac{1}{0,04 D + 1,1 \sqrt{UD}} \quad \text{для изморози,}$$

λ - коэффициент теплопроводности, для льда принимается равным $2,27 \cdot 10^{-2}$, а для изморози подсчитывается по формуле

$$\lambda = (2,1 + 42\gamma_r + 216\gamma_r^3) 10^{-4}, \quad \text{Вт/см}^0\text{С},$$

C - теплоемкость материала провода Вт-с/(г.°С) для стали 0,462, для алюминия 0,92, для меди 0,38;

γ - объемный вес материала провода, г/см³;

S - сечение провода, см².

При плавке гололеда коротким замыканием обогреваемую линию необходимо закорачивать с одного конца, а с другого к ней нужно подать напряжение такое, чтобы обеспечить протекание по проводам требуемого для плавки тока.

Плавка гололеда на воздушных линиях может производиться следующими способами: трехфазного короткого замыкания; двухфазного короткого замыкания; однофазного короткого замыкания при последовательном соединении проводов всех фаз.

Метод трехфазного короткого замыкания – это просто и удобно, так как плавка гололеда проводится сразу на всех фазах.

Двухфазное короткое замыкание для плавки гололеда на линии следует производить сначала на двух фазах, а потом на третьей вместе с одним из освободившихся от гололеда проводов. Схема "змейка" применяется на коротких линиях, когда имеющиеся напряжения слишком велики для плавки по методу трехфазного короткого замыкания.

При плавке гололеда от шин системы, напряжение и длина обогреваемой линии изменяются в ограниченных рамках.

Возможности регулирования режима плавки расширяются при выделении для плавки одного или нескольких генераторов.

Если выделяется для плавки отдельный трансформатор, то можно произвести регулирование напряжения во всем диапазоне имеющихся ответвлений, то есть в диапазонах $+2 \times 2,5\%$ для обычных трансформаторов (автотрансформаторов) и $\pm 16\%$ для трансформаторов, которые имеют устройства для регулирования коэффициента трансформации под нагрузкой [5].

Для регулирования тока плавки гололеда ВЛ возможно включить последовательно с обогреваемой линией дополнительные участки линии (не требующие обогрева) или реакторы.

Для воздушных линий с проводами, расщепленными изолированными в фазе, чтобы снизить требуемую для плавки мощность целесообразно применять схемы плавки гололеда, в них контур протекания тока плавки гололеда

создается из проводов расщепленной фазы при помощи коммутационных аппаратов.

Если использовать источник с регулированием тока, то плавка гололеда производится трехфазным коротким замыканием.

Способ плавки уравнительными токами за счет встречного включения фаз заключается в том, что на одном конце провода обогреваемые линии присоединение к фазам А, В и С на другом – соответственно к фазам В, С и А.

Источники питания схем плавки гололеда постоянным током

Если плавка гололеда переменным током не может быть использована при существующей мощности трансформаторов подстанции и заданных номинальных напряжениях, необходимо применять плавку гололеда постоянным током. Для этого нужно использовать преобразователи ВУКН-1200-14000; ВУКН-1600-14000; ВУКН-1200-8000.

Преобразователи выполняются на неуправляемых вентилях по трехфазной мостовой схеме.

В 2009 году ОАО «НИИПТ» разработан управляемый выпрямитель для плавки гололеда (ВУПГ) на проводах и грозозащитных тросах ВЛ [3].

Как наиболее эффективное средство предупреждения гололедных аварий ОАО «НИИПТ» предлагает ряд управляемых выпрямителей.

Наиболее универсальным вариантом установки является ВУПГ-14/1200, которая обеспечивает необходимый ток плавки для проводов ВЛ классов 110, 220 кВ в районах с умеренным гололедообразованием. ВУПГ-14/1200 получил аттестацию ОАО «ФСК ЕЭС» и ОАО «Холдинг МРСК», соответствует всем требованиям и рекомендован на объектах ОАО «ФСК ЕЭС» и ОАО «Холдинг МРСК» [3,4].

В зависимости от параметров, обогреваемых воздушных линий может применяться параллельное включение нескольких преобразователей и последовательное, а также их последовательно-параллельное соединение.

Подключение преобразователей к шинам 6 - 10 кВ обуславливает некоторые особенности в работе электрической сети, работающей параллельно с преобразователем.

Нормальные и аварийные режимы работы сети характеризуются такими факторами, как наложение постоянной составляющей напряжения на изоляцию сети, появление постоянных составляющих в токах аварийных режимов и др. Это может привести к отказу выключателя, а

также к ложной работе релейной защиты. Необходимы устройства защиты, ограничивающие воздействия, вызванные наличием преобразователя.

Пониженный уровень изоляции преобразователей для плавки гололеда по сравнению с уровнями изоляции оборудования электрической сети, от которой он питается, требует специальной защиты установки плавки гололеда от перенапряжений.

Для ограничения токов короткого замыкания преобразователей УПГ следует применять токоограничивающие реакторы, уменьшающие мощность короткого замыкания источника питания.

Трансформаторы напряжения НТМИ и НКФ, подключенные к шинам питания преобразователя и к линии, на которой предусматривается плавка гололеда, должны быть подключены по специальным схемам.

Совместная работа УПГ с синхронными компенсаторами и конденсаторными батареями ограничена воздействием высших гармонических, генерируемых преобразователями УПГ.

Допускается использование контура заземления подстанции в качестве рабочего заземлителя при плавке гололеда током до 1200 А. Должна быть предусмотрена защита контура от термического поражения [5].

Наличие на контуре заземления подстанции постоянного тока при его использовании в качестве рабочего заземлителя приводит к протеканию части постоянного тока плавки через глухозаземленные нейтрали трансформаторов, установленных на этой подстанции. Это приводит к некоторому увеличению тока холостого хода и потерь в стали трансформаторов (автотрансформаторов). Для устранения указанного явления в нейтрали трансформаторов (автотрансформаторов) следует включить специальные устройства.

С целью обеспечения высокочастотной связи по обогреваемой ВЛ целесообразно выполнить подвод постоянного тока к проводам ВЛ таким образом, чтобы он протекал через ВЧ заградители или установить в цепи преобразователя на стороне постоянного тока дополнительный заградитель.

Расчет тока плавки от преобразователя, подключенного к шинам 6-10 кВ, должен проводиться по формуле:

$$I_n = \frac{1,35 E_A}{\frac{3}{\pi} X_K + R_{KП}},$$

где E_A - линейное напряжение на шинах питания, кВ;

X_K - индуктивное сопротивление контура коммутации преобразователя, Ом;

$R_{KП}$ - омическое сопротивление контура плавки, Ом.

Механический способ плавки гололеда

Простой и дешевый способ удаления гололеда – механический, то есть сбивание гололеда производится с помощью длинных шестов с земли или с корзины автовышки, но для этого нужен доступ к ЛЭП, что нарушает нормальную работу участка. Механическое воздействие не препятствует обледенению, а только устраняет гололед.

Что бы удалить гололед используют деревянные, бамбуковые, стеклопластиковые или бакелитовые шесты. Обивка гололеда производится боковыми ударами, которые вызывают волнообразное колебание провода, в следствие чего гололедные образования ломаются и осыпаются. Этот способ требует привлечения большого количества рабочих, много времени и применяется только на коротких участках линий, когда плавка электрическим током экономически нецелесообразна или технически невыполнима.

Еще можно использовать ролики-ледорезы, которые устанавливаются на штангах, а штанги закрепляют к движущемуся транспортному средству. Эти ролики-ледорезы, накатываясь на участки проводов, покрытых гололедом, последовательно приподнимают и перегибают их, разрушая гололедные отложения на проводах и очищая их. Минус этого способа – низкая производительность, возможность повреждения и деформации проводов в процессе удаления гололеда, а это может привести к обрывам сети и износом проводов, низкая эффективность удаления льда из-за использования наземного транспортного средства, такого как трактор.

В канадской компании «Хайдро-Квебек» Андре Леблоном разработан многозарядное пневматическое устройство для удаления гололеда. Так как гололед – это достаточно хрупкое образование, поэтому ударные воздействия разрушают покрытия на локальных участках провода или грозозащитного троса.

Также в Канаде разработано электроимпульсное передвижное приспособление, которое управляется с земли и за короткий промежуток времени освобождает от гололеда провод в полете длиной 260 м.

НИИ Канады Hydro-Québec создал небольшого мобильного робота LineScout, который может перемещаться по проводам высоковольтных ЛЭП, удалять с них лед и дает информацию о состоянии линий. Он оборудован камерой и инфракрасными датчиками. Управляется робот дистанционно. Устройство позволяет получить значительную экономию, так как для осмотра не надо обесточивать линию электропередач, а также позволяет снижать риски, повышать безаварийность работы и безопасность работы людей.

Заключение

Проведя анализ уровня техники и способов борьбы с обледенением проводов линий электропередачи, можно сделать вывод, что в настоящее время не существует эффективного средства против этого явления. Все из используемых методов обладают недостатками, а, следовательно, проблема удаления гололеда остается актуальна, поэтому необходимо разрабатывать устройства для удаления льда с проводов линий электропередачи, которые должны быть построены на базе энергоэффективных мероприятий.

Все рассмотренные способы нуждаются в постоянном активном участии персонала и значительной затрате электроэнергии. Пока наиболее эффективным направлением остается удаление гололеда с помощью создание электромеханических ударных воздействий на провода электрическим током, протекающим по ним.

Список литературы

1. Левченко И.И. Диагностика, реконструкция и эксплуатация воздушных линий электропередачи в гололедных районах. М.: Издательский дом МЭИ, 2007. 448 с.
2. Дьяков А.Ф. Предотвращение и ликвидация гололедных аварий в электрических сетях. Пятигорск: Изд-во РП «Южэнерготехнадзор», 2000. 284 с.
3. Информационная система iElectro: Все об электротехнике. Управляемый выпрямитель для плавки гололеда на проводах и грозозащитных тросах ВЛ // URL: <http://www.ielectro.ru/news51718/index.html>.
4. Васильев Ю.А., Гребнев СЛ. Предотвращение и ликвидация гололедных образований в распределительных сетях ОАО «Сетевая компания». ОАО «Сетевая компания», г. Казань, 2012. 76 с.
5. РД 34.20.511. Методические указания по плавке гололеда переменным током. Часть I. - М.: Министерство энергетики, 1990. 115 с.

References

1. Levchenko I.I. Diagnostika, rekonstrukcija i jekspluatacija vozdušnyh linij jelektrperedachi v gololednyh rajonah. M.: Izdatel'skij dom MJeI, 2007. 448 s].
2. D'jakov A.F. Predotvrashhenie i likvidacija gololednyh avarij v jelektricheskijh setjah. Pjatigorsk: Izd-vo RP «Juzhenergotehnadzor», 2000. 284 s.
3. Informacionnaja sistema iElectro: Vse ob jelektrrotehnike. Upravljaemyj vyprjमितel' dlja plavki gololeda na provodah i grozozashhitnyh trosah VL // URL: <http://www.ielectro.ru/news51718/index.html>.
4. Vasil'ev Ju.A., Grebnev SL. Predotvrashhenie i likvidacija gololednyh obrazovanij v raspredelitel'nyh setjah ОАО «Setevaja kompanija». ОАО «Setevaja kompanija», g. Kazan', 2012. 76 s.
5. RD 34.20.511. Guidelines for the melting of ice alternating current. Part1. - M.: Ministry of energy, 1990. 115 s.

УДК 629.12.03-83.004.6

Новый способ защиты электрических двигателей общепромышленного исполнения при аварийном затоплении

Ю.И. Рясков¹, Н.М. Шайтор²

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская 33,
г. Севастополь, 299053, Россия, ¹rjaskoff@mail.ru, ²yshaytor1950@ya.ru,

Статья поступила 01.08.2017 г.; после доработки 03.08.2017 г.

Аннотация

Рассматриваются и предлагаются новые «сухие» способы защиты электродвигателей общепромышленного исполнения при аварийном затоплении водой, направленные на повышение живучести технических средств судов, систем вентиляции и осушения в шахтах, электродвигателей в гидротехнических сооружениях.

Ключевые слова: электродвигатель общепромышленного исполнения, герметичный электродвигатель, самовентилируемый электродвигатель, колпак-колокол, давление, воздушная среда.

New method of defence of electric engines at emergency flood

J.I. Rjaskov¹, N.M. Shaytor²

Sevastopol State University, 33 Universitetskaya str., Sevastopol, 299053, Russia.
¹rjaskoff@mail.ru, ²yshaytor1950@ya.ru

Received 01.08.2017 y.; received in final form 03.08.2017 y.

Abstract

The new «dry» methods of defence of electric motors are examined and offered at an emergency flood by water, vitalities of technical equipments of courts sent to the increase, systems of ventilation and drainage in mines, electric motors in hydrotechnical building.

Keywords: electric motor, impermeable electric motor, self-ventilated electric motor, hubcap-bell, pressure, air environment.

Введение

На судах различных типов, в системах вентиляции и осушения шахт, в различных гидротехнических сооружениях широко используются электродвигатели в качестве приводов различных устройств.

В аварийных ситуациях существует большая вероятность поступления воды в помещения, где установлены электродвигатели. Это может привести к выходу их из строя и, как следствие, понижению живучести технических

средств, работа которых крайне необходима в аварийных ситуациях.

Разработка способов эксплуатации электродвигателей под водой

Для решения этой проблемы чаще всего применяют герметичные электродвигатели, способные работать под водой при различном давлении. Например, в 80-е годы в России были созданы жидкозаполненные двигатели серии ГАП для подруливающих устройств судов. Бри-

танская компания SEAEYE MARIN применила подобные технические решения двигателей в конструкциях телеуправляемых подводных аппаратов.

Погружные электронасосные агрегаты "мокрого" и "сухого" типов изготавливаются фирмами "Атурия" (Италия), "Грундфос" (Дания) "КСБ" (Германия), "ОКБ БНКОННАС" (Россия) и применяются для откачки жидкости из скважин [1].

На рис. 1 схематически показан продольный разрез герметизированного погружного электродвигателя "сухого" типа.

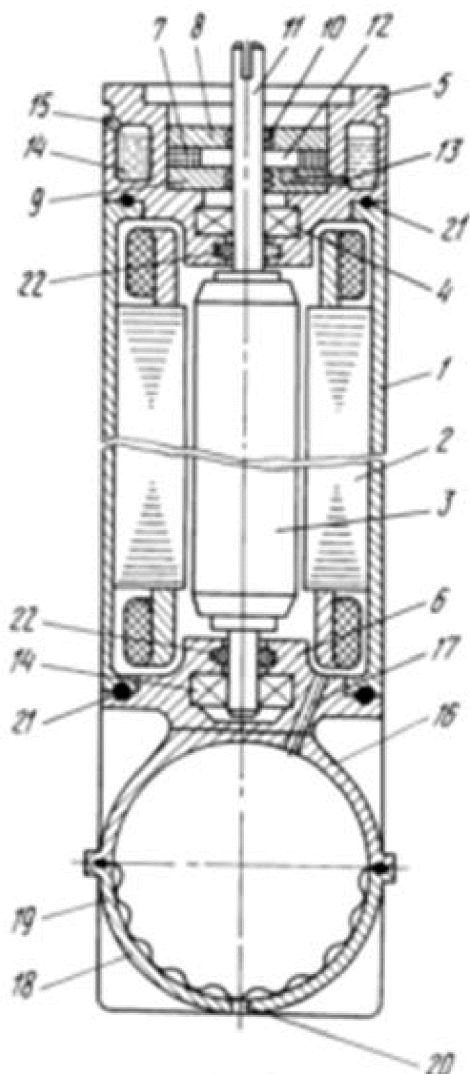


Рис. 1. Продольный разрез герметизированного погружного электродвигателя

Он содержит корпус 1 со статором 2 с обмоткой, выполненной проводами с эмалевой изоляцией, ротор 3 центрированный самосмазывающимися подшипниками качения 4, установленными в верхнем 5 и нижнем 6 подшип-

никовых щитах. В верхнем щите 5 размещен магнитожидкостный герметизатор, состоящий из постоянного магнита 7, верхнего 8 и нижнего 9 полюсных наконечников, магнитное поле которых замыкается через магнитную жидкость 10, находящуюся в зазорах между полюсными наконечниками 8 и 9 и выходным концом вала 11 ротора 3. Элементы образующие магнитожидкостной герметизатор содержат камеру 12, которая посредством канала 13 в нижнем полюсном наконечнике 9, сообщена с, например, кольцевой камерой 14, размещенной в верхнем щите 5 сообщенной с окружающей средой посредством отверстия 15.

К нижнему щиту 6 присоединен верхний, например, полусферический ограничитель 16, сообщенный посредством канала 7 с внутренней полостью электродвигателя. К верхнему ограничителю 16 присоединен нижний полусферический ограничитель 18, в котором размещен эластичный с концентрическими гофрами компенсатор давления 19, бурт которого герметически зажат между торцами ограничителей 16 и 18. Нижний ограничитель 18 имеет отверстие 20 для сообщения со средой окружающей электродвигатель. Верхний 5 и нижний 6 щиты герметизированы по корпусу 1 с помощью резиновых колец 21, а подшипники 14 защищены сальниками 22.

Объем, образованный эластичным компенсатором 19 и верхним ограничителем 16, значительно больше свободного объема во внутренней полости электродвигателя. После сборки электродвигателя в зазоры между полюсными наконечниками 8 и 9 и валом 11 вводится магнитная жидкость 10, а камеры 12 и 14 заполняются инертной жидкостью. Во внутренней полости электродвигателя будет содержаться воздух под атмосферным давлением.

На рис. 2 показаны возможные изменения герметической формы эластичного компенсатора давления в зависимости от глубины погружения электродвигателя под уровень жидкости.

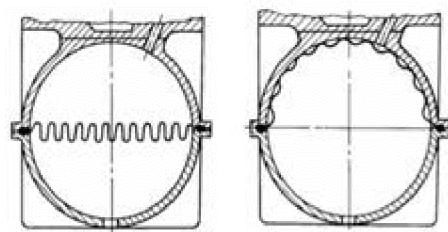


Рис. 2. Возможные изменения герметической формы эластичного компенсатора давления

При спуске насосного агрегата с указанным электродвигателем на определенную глубину на электродвигатель будет действовать давление пропорциональное высоте столба жидкости над ним. Это давление будет действовать через отверстие 20 в нижнем ограничителе 18, на эластичный гофрированный компенсатор 19, выпуклость которой по мере погружения в жидкость, начнет перемещаться вверх и при этом изменять свою геометрическую форму вплоть до поворачивания "наизнанку" (рис. 2). В это же время во внутренней полости электродвигателя давление воздуха при его сжатии будет равно давлению упомянутого столба жидкости над электродвигателем.

А это значит, что магнитожидкостной герметизатор не будет испытывать перепад давления, так как давление окружающей среды и давление во внутренней полости электродвигателя будут равными.

Кроме того, благодаря наличию гидравлического затвора, играющего роль компенсатора давления и включающего камеры 12, 14 и канал 13, заполненных инертной жидкостью, а также отверстие 15, сообщающее камеру 14 с окружающей средой, на магнитную жидкость, находящуюся в зазорах между каждым полюсным наконечником 8 и 9 и валом 11 будет действовать всегда одинаковое давление.

Такая конструкция электродвигателя "сухого" типа позволяет ему безаварийно работать при затоплении.

Недостатками таких двигателей является ограниченная область применения и низкая надежность, обусловленные трудностями технического обслуживания и ремонта, а также малый ресурс герметичности уплотнения вращающегося вала.

Известны также асинхронные двигатели для привода устройств, работающих в герметичных объектах или агрессивных средах, со статором, вынесенным за пределы объекта (среды), в котором вращается ротор, и отделенным от ротора герметичной перегородкой - экраном.

Герметичный экранированный электродвигатель [2] включает в себя (см. рис. 3): статор 1, расположенный в станине 2 между подшипниковыми щитами 3 и 4 и защищенный по внутренней проточке герметизирующим экраном (гильзой) 5.

Экран герметично закреплен к подшипниковым щитам. Внутри экрана статора 5 на валу 6 расположен ротор 7, также защищенный от воздействия жидкости, протекающей в зазоре между статором и ротором, экраном 8.

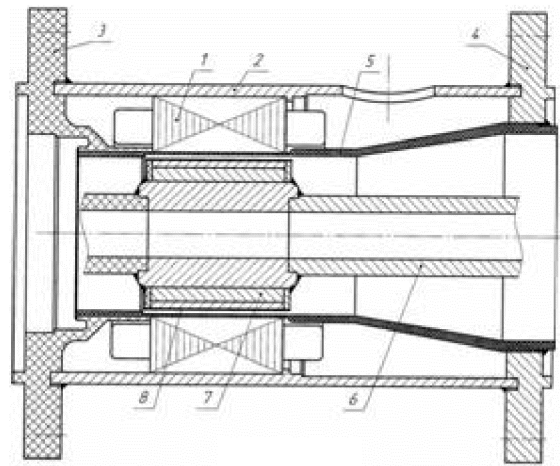


Рис. 3. Герметичный экранированный электродвигатель.

При работе герметичного экранированного электродвигателя статор 1 благодаря закрепленному на подшипниковых щитах 3 и 4 экрану 5 и ротор 7, установленный на валу 6, с закрепленным на кольцах ротора экраном 8, защищены от воздействия протекающей в зазоре между пакетами статора и ротора жидкости.

Сухие способы использования серийных электродвигателей под водой

В описанных конструкциях имеемые проблемы удалось решить только частично, поскольку такие двигатели имеют сложную конструкцию, высокую стоимость и сложности в техническом обслуживании. При работе в воздушной среде у таких электродвигателей ухудшается охлаждение.

Целью данной статьи является разработка новых «сухих» способов использования электродвигателей, как в воздушной среде, так и под водой путём доработки существующих конструкций серийных двигателей в совокупности с применением новых технических решений, защищённых патентами.

Сущность предлагаемого авторами способа заключается в том, что каждый электродвигатель общепромышленных серий с воздушным охлаждением, обеспечивающий живучесть различных систем в затопляемых помещениях, размещается под индивидуальным колпаком - колоколом.

Для предотвращения заполнения электродвигателя водой при аварийном затоплении воздушная подушка колокола сообщается с источником воздуха среднего давления. Давление воздуха в колоколе автоматически

поддерживается равным давлением вне колокола посредством автоматического регулятора.

В этом случае электродвигатель, работающий в затопленном помещении, постоянно находится в воздушной среде, а автоматический регулятор поддерживает неснижаемый уровень воз-душной подушки.

При осушении затопленного помещения с уменьшением внешнего давления автоматическая подача воздуха прекращается, а избыток расширяющегося воздуха стравливается из под колпака.

В простейшем случае роль такого индивидуального колпака может выполнять корпус водозащищенного электродвигателя вертикального исполнения при соответствующей доработке его конструкции [3].

Достоинствами данного погружного возду-хонаполненного электродвигателя являются упрощение конструкции, возможность применения в качестве погружных общепромышленных электродвигателей постоянного и переменного тока вертикального исполнения, снижение их стоимости проектирования, производства и эксплуатации.

Пример реализации способа, предложенного авторами, поясняется на рис. 4.

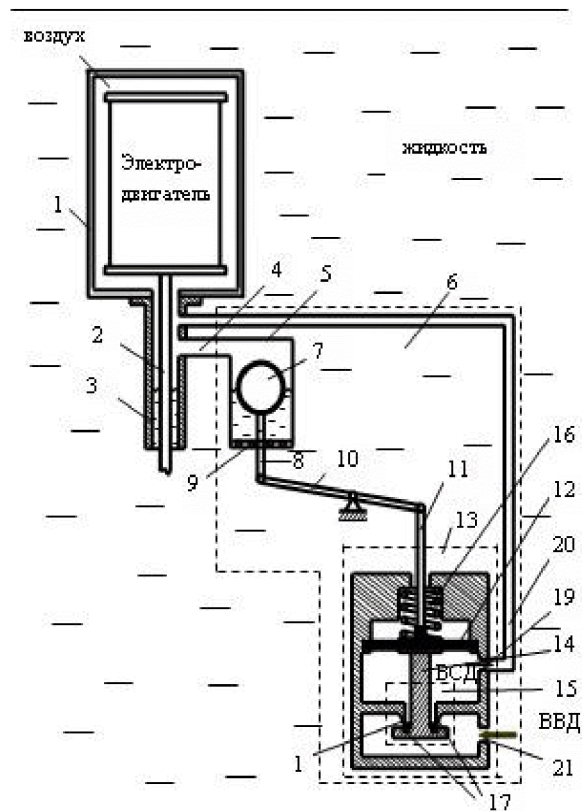


Рис. 4. Пример реализации способа, предложенного авторами

Коаксиально выступающему валу 2 герметично с колпаком 1 установлена трубка с фланцем 3, выполненная несколько короче удлинённого вала. Внутренний объем коаксиальной трубки сообщен воздухопроводом 4 с поплавковой камерой 5 регулятора уровня компенсатора 6.

Поплавок 7 регулятора уровня посредством штока 8, свободно проходящим через ограничительную сетку 9, шарнирно связан с рычажным механизмом 10. В свою очередь рычажный механизм шарнирно связан с нажимным штоком 11, воздействующим на мембрану 12 противоточного мембранного воздушного редуктора 13. Мембрана с помощью жёстко связанного штоком 14 клапана 15 и демпферной пружины 16 предназначена для регулирования подачи ВСД с помощью изменения зазора между подушкой клапана 17 и седлом клапана 18. Редуктор своим портом ВСД 19 соединён воздухопроводом 20 с внутренним объемом коаксиальной трубки, а портом ВВД 21 - с источником ВВД.

Устройство работает следующим образом. При затоплении электродвигателя с колпаком 1 увеличивается внешнее давление, уменьшается объем воздушной подушки в двигателе и колпаке, поднимается уровень жидкости в коаксиальной трубке 3 и поплавковой камере 5 регулятора уровня 6.

Это приводит к тому, что поплавок 7, отрываясь от ограничительной сетки 9, предохраняющей выпадение поплавка, всплывает и через шток 8 воздействует на рычажный механизм 10.

Это приводит к тому, что при превышении верхнего уровня шток 11 нажимает на мембрану 12 противоточного мембранного воздушного редуктора 13, что приводит к движению вниз штока 14 клапана 15, подушка клапана 17 отходит от седла клапана 18 и воздух высокого давления от источника ВВД, дросселируясь до среднего давления, поступает через порт среднего давления 19 по воздухопроводу 20 во внутренний объем коаксиальной трубки.

Подача ВСД приводит к стабилизации объема воздушного пространства в двигателе и колпаке, понижению уровня жидкости в коаксиальной трубке и поплавковой камере 5 регулятора уровня.

При достижении заданного давления поплавок опускается до установленного уровня и через рычажный механизм прекращается нажатие штока 11 на мембрану редуктора.

Это приводит к тому, что мембрана за счёт упругости возвращается в своё первоначальное

положение, шток 14 клапана движется вверх, подушка клапана садится на седло клапана и подача ВСД в воздушную полость коаксиальной трубки прекращается.

При осушении помещения давление жидкости уменьшается, вследствие этого объём воздушной подушки под колпаком увеличивается, уровень жидкости в коаксиальной трубке и поплавковой камере понижается, поплавок регулятора опускается вплоть до посадки на ограничительную сетку 9.

Это приводит к тому, что правое плечо рычажного механизма поднимается вверх и шток 11 не воздействует на мембрану редуктора, а избыток воздуха в двигателе стравливается в окружающую среду через нижние отверстия коаксиальной трубки и поплавковой камеры.

Для обеспечения длительной работы общепромышленных электродвигателей с самовентиляцией как в воздушной, так и в жидкой средах авторами предлагается дополнительное к двигателю устройство [4].

Техническая сущность этого устройства поясняется на примере асинхронного двигателя с внешним обдувом, изображенного на рис. 5, 6.

Двигатель 1 с внешним обдувом, создаваемым крылаткой 2, размещённой на верхней части вала 3, накрыт цельным колоколом 4 с отверстием коаксиальным выходному валу 5. Внутри колокола размещены вентиляционные каналы 6, вход каждого из них 7 расположен в нижней части колокола вне его, а выход 8 сообщен с входными окнами 9 кожуха 10 системы самовентиляции двигателя.

В нижней части каждого вентиляционного канала выполнено окно 11 с переключающей заслонкой 12, установленной на оси вращения 13 так, что рабочая часть заслонки 14 расположена внутри канала с возможностью перекрытия окна или канала.

Вспомогательная её часть 15 расположена снаружи канала с возможностью воздействия на неё вентиляционного потока, при этом нижняя часть колокола соединена воздухопроводами 16, 17 с поплавковой камерой и выходным портом воздуха среднего давления воздушного редуктора компенсатора.

Охлажденный воздух из помещения засасывается крылаткой 2 через входы 7 вентиляционных каналов 6, далее он по каналам поступает к выходам 8, сообщенным с входными окнами 9 кожуха 10 и затем прогоняется между кожухом и корпусом двигателя 1, осуществляя теплосъём. Нагретый воздух

выбрасывается в помещение через отверстие в нижней части колокола 4.

При этом переключающие заслонки 12, находясь в положении, показанном рис. 5 б.

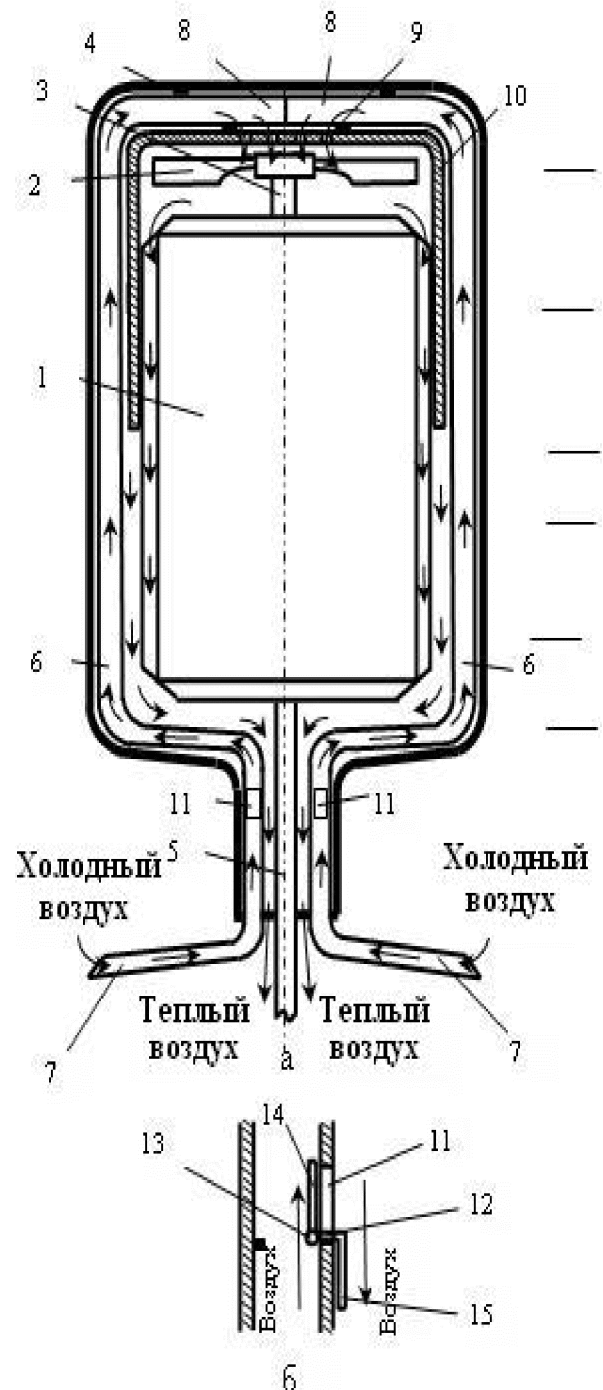


Рис. 5. Охлаждение и вентиляция двигателя.

Всасываемый поток воздуха прижимает рабочую часть заслонки 14 к окну 11 вентиляционного канала тем самым открывая канал и закрывая окно.

Выходящий поток воздуха, воздействуя на

вспомогательную часть 15 переключающей заслонки, усиливает прижатие рабочей части заслонки к окну.

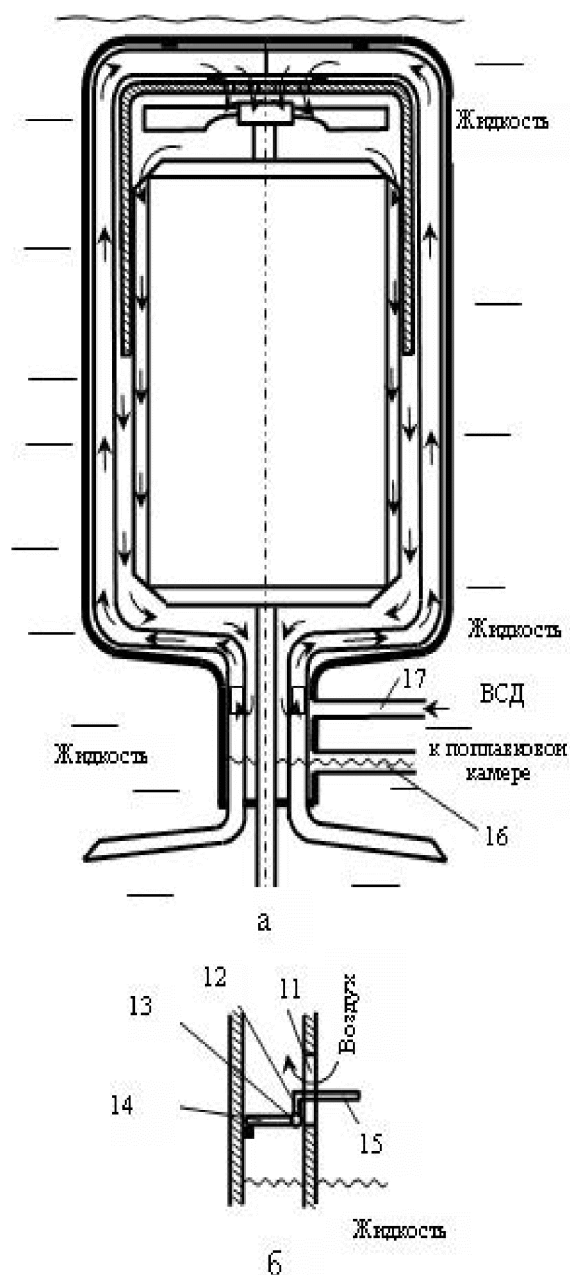


Рис. 6. Охлаждение и вентиляция двигателя.

При затоплении помещения вентиляция двигателя осуществляется по замкнутому циклу. При этом уровень жидкости в колоколе и вентиляционных каналах поддерживается компенсатором за счёт создания соответствующего давления воздуха в колоколе.

Охлаждение и вентиляция двигателя показаны на рис. 6 а. Так как нижние части вентиляционных каналов заполнены жидкостью, в каналах за счёт вращения

крылатки создаётся незначительный вакуум, а в пространстве под колоколом – незначительное давление.

Это приводит к тому, что переключающие заслонки под действием перепада давления устанавливаются в положение, показанное на рис. 6. б, при котором открывается окно и перекрывается вентиляционный канал. Это обеспечивает циркуляцию воздушного потока под колоколом, воздух при этом за счёт теплопроводности колокола охлаждается жидкой средой, заполнившей помещение, где находится двигатель.

При осушении помещения жидкость из нижней части колокола и вентиляционных каналов сливается, переключающие заслонки под действием всасывающего потока воздуха в каналах и выходящего потока через нижнее отверстие колокола снова устанавливаются в положение показанном на рис. 6 б, осуществляя вентиляцию по разомкнутому циклу.

Заключение

Разработан новый способ повышения работоспособности электродвигателей, длительно работающих как в воздушной среде, так и в затопленном состоянии, позволяющий применять электродвигатели общепромышленных серий для судовых электроустановок различных типов, систем вентиляции и осушения шахт, электроприводов гидротехнических сооружений.

Реализация данного способа в различных технических областях позволяет получать перспективные конструкторские решения технических устройств с электрическими двигателями, работающими как в воздушной так и в жидких средах, снизить стоимость проектирования, производства и эксплуатации.

Список литературы

1. Родкин В.В., Ларионов В.К., Лепеха А.И. Герметизированный электродвигатель погружной "сухого" типа для скважинного насоса. Патент Российской Федерации RU2083047 (Россия) // Оpubл. 11.11.1992. – "ОКБ БН-Коннас".
2. Пат. 2476973 РФ, МПК H02K5/132, H02K9/19, Герметичный экранированный электродвигатель. Медведев Владислав Савельевич (RU), Зюкин Игорь Михайлович (RU), Ломовцев Иван Васильевич (RU), Бекчив Павел Георгиевич (MD), Герштога Михаил Федорович (MD). Оpubл. 27.02.2013.
3. Пат. 101180 UA Украина, МПК H02K5/04, 5/10, 5/128, 13/08. Погружной воздушнонаполненный электродвигатель вертикального исполнения.

Шайтор Н.М., Рясков Ю.И., Бужан В.Г., Склярчук В.Л. Опубл. 11.03.2013, Бюл. №5. - 6 с.

4. Пат. 102356 UA Украина, МПК H02K5/04, K5/10, 5/12, 9/02, 9/02, 9/02, 9/04, 9/06, 9/08, 9/14, 9/19, Воздухо-наполненный самовентилируемый электродвигатель, охлаждаемый воздушной или жидкой средой. Рясков Ю.И., Шайтор Н.М., Бужан В.Г., Склярчук В.Л. Опубл. 25.06.2013, Бюл. №12. - 5 с.

References

1. Rodkin V.V., Larionov V.K., Lepcha A.I. Sealed submersible motor dry for downhole pump. RU2083047 Patent Of The Russian Federation (Russia) // Publ. 11.11.1992-"OKB BN-Konnas".
2. Pat. 2476973 Russia, IPC/132 H02K5, H02K9/19. Hermetic shielded electric motor. Medvedev V.S. (RU), Zyukin I.M. (RU), Ivan Lomovcev I.V. (RU), Bekchiv P.G. (MD), Gershtoga M.F. (MD). Publ. 27.02.2013.
3. Pat. 101180 UA Ukraine, IPC H02K5/04, 5/10, 5/12, 13/08. Filled with air off vertical response electric motor. Shajtor N.M. Ryaskov Y.I., Buzhan V.G., Sklyaruk V.L. Published. 11.03.2013, Director. No. 5. - 6 p.
4. Pat. 102356 UA Ukraine, IPC H02K5/04/10, K5, 5/12, 9/02, 9/02, 9/02, 9/04, 9/06, 9/08, 9/14, 9/19. Filled with air my self ventilate electroengine, cooled by air or liquid. Ryaskov Y.I., Shajtor N.M., Buzhan V.G., Sklyaruk V.L. Published. 25.06.2013, Director. No. 12. - 5 p.

УДК.629.313.323

Анализ переходного процесса при синхронизации синхронного генератора на параллельную работу с энергосистемой

А.В. Углов, М.Б. Углова

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская-33,
г. Севастополь, 299053, Россия, marina.uglova.1963@mail.ru

Статья поступила 25.08.2017 г.; после доработки 30.08.2017 г.

Аннотация

В статье выполнен анализ функции огибающей напряжения биений, дающий объяснение явлению «зависание», присущее существующим автосинхронизаторам, позволяющий избежать динамических воздействий на элементы генераторного агрегата при его включении на параллельную работу с мощной сетью способом точной автоматической синхронизации.

Ключевые слова: синхронный генератор, энергосистема, огибающая напряжения биения, частота скольжения, угол включения, автосинхронизатор.

Analysis of transitional process synchronization of synchronous generator on parallel work with a network

A.V. Uglov, M.B. Uglova

Sevastopol state university, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia,
marina.uglova.1963@mail.ru

Received 25.08.2017 y.; received in final form 30.08.2017 y.

Abstract

The analysis of function of rounding tensions of beatings is executed in the article, giving explanation to the phenomenon «hanging» up, inherent to the existent autosynchronizers, allowing to avoid dynamic influences on the elements of generator aggregate at his including on parallel work with a powerful network by the method of exact automatic synchronization

Keywords: synchronous generator, grid rounding tensions of beating, frequency of sliding, corner of including, autosynchronizer.

Введение

Основным режимом использования синхронных генераторов (СГ) тепловых и атомных электрических станций является режим параллельной работы с электроэнергетической системой (ЭС), который обеспечивает максимальную эффективность генерирования электроэнергии. С этим режимом связана проблема включения СГ на параллельную работу с ЭС.

В настоящее время при включении СГ на параллельную работу с ЭС наиболее широко

используется способ точной синхронизации, реализуемый автосинхронизаторами различного типа УСГ-1п, УСГ-35, БСГ [1], СА-1, АС-М, СПРИНТ [2] и другие.

Существующие автосинхронизаторы в соответствии с выбранным алгоритмом работы обеспечивают контроль и выполнение трёх условий точной синхронизации [1, 2]:

- равенство амплитуд напряжения СГ U_g и напряжения ЭС U_c ;
- незначительную ($\pm 0,4$ Гц) разность частот

- ЭС и синхронизируемого СГ;
- совпадение по фазе вышеуказанных напряжений СГ и напряжения ЭС в момент включения (замыкания контактов) выключателя СГ.

С целью выполнения третьего условия автосинхронизатор выдаёт управляющее воздействие на включение привода выключателя СГ с опережением момента времени совпадения по фазе вращающихся векторов $\underline{U}_c$ и $\underline{U}_e$ на величину собственного времени включения выключателя СГ. Совпадение по фазе указанных векторов контролируется по мгновенной разности одноименных линейных напряжений СГ и ЭС. Эту разность напряжений в электротехнике называют напряжением биений и записывают в виде

$$u_s = u_e - u_c, \quad (1)$$

где u_e и u_c – мгновенные значения одноименных линейных напряжений СГ и ЭС.

Общим недостатком в соответствии с выбранным алгоритмом работы существующих автосинхронизаторов является зависимость точности определения необходимого времени опережения от частоты огибающей напряжения биения, которая должна быть постоянной. Например, для выключателя с собственным временем включения 0,3 с частота напряжения биения в момент включения СГ на параллельную работу должна быть около $f_s = 0,5$ Гц [2]. Поэтому включение СГ на параллельную работу с ЭС выполняется существующими автосинхронизаторами с разностью частот вращения, что вызывает динамические воздействия на элементы генераторного агрегата после включения выключателя СГ.

По этой же причине из-за сложности определения необходимого времени опережения в технической литературе отмечается, что в реальных условиях включение СГ на параллельную работу практически всегда происходит при некотором угле сдвига между векторами напряжения ЭС $\underline{U}_c$ и синхронизируемого генератора $\underline{U}_e$ – угле включения, обозначаемом δ_e . Даже современные достаточно совершенные автоматические устройства точной синхронизации полностью не исключают его [2]. По этим причинам СГ после включения на параллельную работу подвергается менее или более интенсивным динамическим воздействиям даже при точной автоматической синхронизации.

Расчёты показывают, что интегральное динамическое воздействие на элементы генераторного агрегата при включении СГ на парал-

лельную работу с ЭС, например, с разностью частот вращения 0,4 Гц составляет 0,3 номинального момента СГ в секунду ($M_n \cdot c$) за время переходного процесса.

При наличии в этих условиях незначительного угла включения δ_e , например, равного 6 градусов, суммарное динамическое воздействие увеличивается на $0,2 M_n \cdot c$.

Кроме этого из-за сложности и отсутствия наглядности реальных процессов синхронизации к недостаткам в работе существующих автосинхронизаторов следует отнести возможность попадания в явление «зависания», не имеющего пока теоретического объяснения [1, 2, 3]. При наступлении такого явления рекомендуется либо прервать процесс синхронизации и повторить его сначала, либо воздействовать на регулятор частоты вращения СГ с целью увеличения разности частот СГ и ЭС, так как «в этом случае автосинхронизатор теряет информацию и функционировать не может» [2].

На наш взгляд, учитывая отмеченное, является актуальным возвратиться к теории процесса синхронизации СГ, чтобы понять и объяснить, а по возможности и преодолеть указанные недостатки в работе автосинхронизаторов и устоявшееся в электротехнике представление о явлении «зависания». Несмотря на значительное количество научно-технической литературы по проблеме синхронизации СГ до настоящего времени так и не выполнен теоретический анализ функции напряжения биений, что необходимо сделать в первую очередь.

В общем случае реальной синхронизации СГ с ЭС функция напряжения биений (1) может быть записана в следующем виде:

$$u_s = \underline{U}_e - \underline{U}_c = U_e \sin \omega_e t - U_c \sin(\omega_c t - \varphi_0) \quad (2)$$

где: ω_e , ω_c – угловые частоты напряжения СГ и напряжения ЭС;

φ_0 – угол между векторами $\underline{U}_c$ и $\underline{U}_e$ в момент начала суммирования (далее «начальный угол суммирования»).

Постановка цели научной работы

Задачей исследования является определение факторов синхронизации при включении синхронного генератора на параллельную работу с мощной энергосистемой без динамических воздействий.

Анализ функции напряжения биений

Анализ функции напряжения биений выполним методом последовательного упрощения

математического выражения функции с учётом реальных условий синхронизации, принятием упрощений по факторам, затрудняющим анализ, с последующей оценкой принятых допущений.

Преобразование уравнения (2) при равенстве напряжения генератора U_g напряжению ЭС U_c в реальных условиях синхронизации даёт следующее выражение для функции напряжения биений

$$u_s = 2 \cdot U_c \cdot \cos\left(\omega_{cp}t - \frac{\Phi_0}{2}\right) \cdot \sin\left(\frac{\omega_s}{2} \cdot t + \frac{\Phi_0}{2}\right), \quad (3)$$

где $\omega_s = |\omega_g - \omega_c|$ – угловая частота напряжения биений;

$$\omega_{cp} = \frac{\omega_g + \omega_c}{2} \quad \text{– средняя угловая частота}$$

напряжений СГ и ЭС.

Математическое описание функции содержит три сомножителя. Проанализируем их с целью определения влияния каждого на поведение функции относительно выполнения условий синхронизации и возможности принятия дополнительных упрощений.

Первый сомножитель функции напряжения биений – двойная амплитуда напряжения ЭС является величиной с учетом работы современных регуляторов напряжения практически постоянной, которая в реальных условиях синхронизации СГ может изменяться на величину не более 1-2% от номинального значения U_c . Кроме этого, как правило, при синхронизации оператором производится визуальное сравнение и подгонка значений синхронизируемых напряжений. Следовательно, первый сомножитель функции на поведение функции напряжения биений относительно выполнения условий синхронизации не влияет и упрощение его возможно только введением относительных единиц.

Второй сомножитель функции напряжения биений – косинус средней угловой частоты напряжений ЭС и СГ, начального угла суммирования и времени. В реальных условиях синхронизации средняя угловая частота изменяется незначительно от значения основной угловой частоты равной $100 \cdot \pi$. Следовательно, этот сомножитель функции напряжения биений можно считать функцией двух переменных: начального угла суммирования и времени. При принятии дополнительного упрощения о равенстве нулю начального угла суммирования он становится функцией одной переменной – времени. В этих условиях можно считать, что на поведение функции напряжения биений относительно выполнения условий синхронизации

СГ этот сомножитель также не влияет.

Третий сомножитель функции напряжения биений – синус угловой частоты биений, начального угла суммирования и времени. С учетом того, что включение СГ на параллельную работу должно осуществляться в момент совпадения напряжений СГ и ЭС по фазе этот сомножитель является главным членом функции. Поскольку только при равенстве его нулю напряжения ЭС и СГ совпадают по фазе. По форме записи этого сомножителя с учётом диапазона и интенсивности изменения угловой частоты биений при синхронизации СГ можно сделать вывод, что он является самостоятельной сложной функцией трёх аргументов: начального угла суммирования, угловой частоты биений и времени: $\sin(a, b, t)$, где $a = \Phi_0$, $b = \omega_s = 2\pi \cdot f_s$.

Для приближения наглядности математического анализа к реальным условиям синхронизации, учитывая, что угловая частота биений отличается от частоты биений на $2 \cdot \pi$, перейдём к записи этого аргумента функции через частоту биений f_s . Отметим, что в реальных условиях синхронизации частота биений f_s , как правило, изменяется в диапазоне примерно равном $\pm 0,5$ Гц, а Φ_0 может принимать любые значения от 0 до $2 \cdot \pi$ рад. Кроме этого, учитывая, что в практике синхронизации СГ и ЭС могут иметь различные значения номинального напряжения, приведем функцию напряжения биений к записи в относительных единицах. Для этого разделим уравнение (3) на принятое базисное значение напряжения, равное в нашем случае U_c .

Дальнейший анализ функции напряжения биений, учитывая изложенное, выполним с условием обеспечения нулевого значения начального угла суммирования напряжений ЭС и СГ $\Phi_0 = 0^\circ$ и без учёта второго сомножителя в записи (3).

Таким образом, проведенное выше упрощение математического выражения позволяет записать анализируемую функцию напряжения биений, определяющую выполнение основного условия точной синхронизации – совпадение по фазе напряжения ЭС и напряжения СГ, в виде

$$U_s = 2 \sin(\pi \cdot f_s \cdot t). \quad (4)$$

Очевидно, что при принятых условиях функция напряжения биений является функцией синуса двух аргументов f_s и t .

При одновременном изменении двух аргументов, что характерно для реальных процессов синхронизации СГ, поведение функции сложно

и определить его возможно рассмотрением значений функции в трёхмерном пространстве u_s , f_s и t . В соответствии с выбранными алгоритмами работы существующих автосинхронизаторов [1 – 3] примем диапазоны изменения частоты биений от $-0,4$ до $+0,4$ Гц и времени от 0 до 40 с. Напряжение биений при этом в соответствии с принятыми относительными единицами и значениями синуса будет изменяться в диапазоне от -2 до $+2$ о.е.

В общем виде для принятых диапазонов изменения аргументов график функции напряжения биений в трёхмерном пространстве изображён на рис. 1.

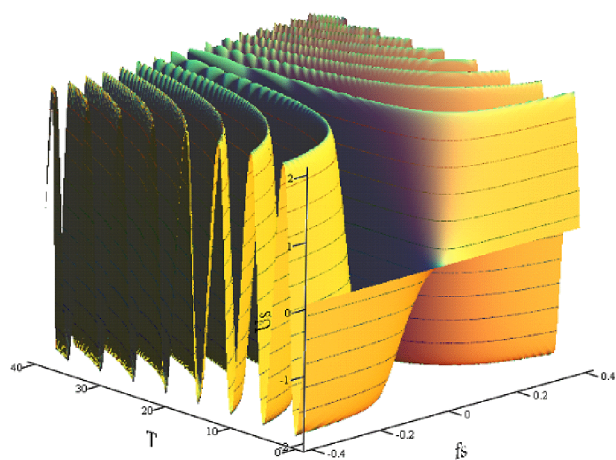


Рис. 1. Функция напряжения биений в пространстве диапазонов изменений частоты биений от $-0,4$ до $+0,4$ Гц и времени от 0 до 40 с при $\varphi_0 = 0^\circ$.

На основании графика U_s , приведённого на рис. 1, можно отметить, что функция напряжения биений состоит из симметричных со сдвигом на π относительно плоскости $U_s = 0$, t_i синусоидальных поверхностей, изменяющихся по гиперболическому закону каждая в плоскости $f_{si}(t_i)$ и являющихся симметричными относительно плоскости $f_s = 0$, t_i . Гиперболический характер изменения синусоидальных поверхностей по времени можно объяснить общим решением уравнения (4). $U_s = 0$ только при выполнении равенства $\sin(\pi \cdot f_s \cdot t) = 0$.

Как известно, уравнение (5) является гиперболой.

Ниже на рис. 2 и 3 приведены графики изменения частоты биений при различных законах изменения аргументов f_{si} , t_i и, следовательно, при различных поверхностях пересече-

ния множества значений U_s и соответствующие им графики функции напряжения биений. Как видно из приведённых рисунков поведение функции напряжения биений является сложным и определяется законом изменения частоты биений f_s по времени.

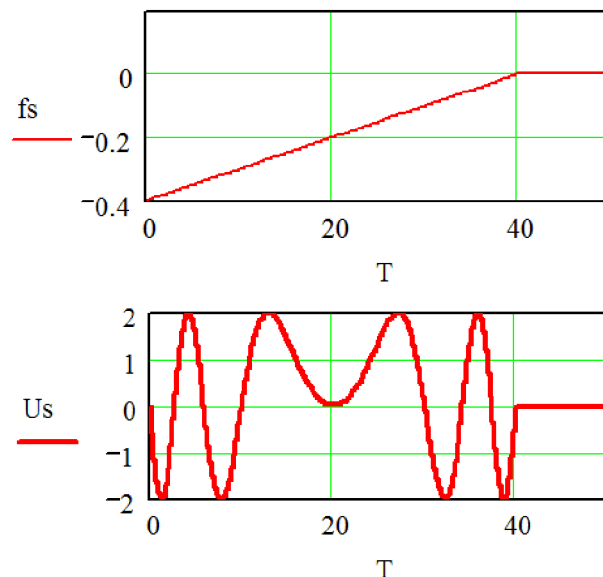


Рис. 2. График функции напряжения биений при линейном законе изменения частоты биений от минус $0,4$ Гц до 0 во времени от 0 до 40 с при $\varphi_0 = 0^\circ$.

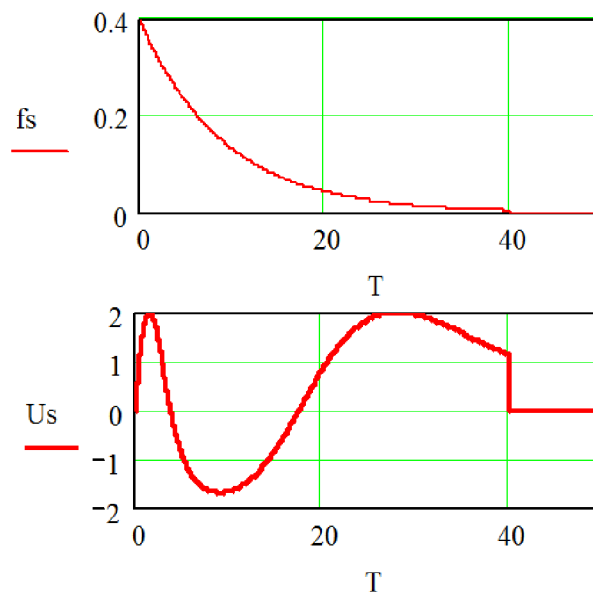


Рис. 3. График функции напряжения биений при экспоненциальном законе изменения частоты биений от минус $0,4$ Гц до 0 во времени от 0 до 40 с при $\varphi_0 = 0^\circ$.

Таким образом, в общем случае все возможные значения функции напряжения биений

располагаются в пространственных синусоидальных поверхностях, определяемых числом n и изменяющихся во времени по гиперболическому закону. На рис. 4 приведён топографический график функции напряжения биений $U_s(f_s, t)$ линий уровня равных напряжений при $U_s = 0$. Распределение возможных равных значений функции во времени происходит по кривым, которые можно назвать в соответствии с законом изменения «изоволтами».

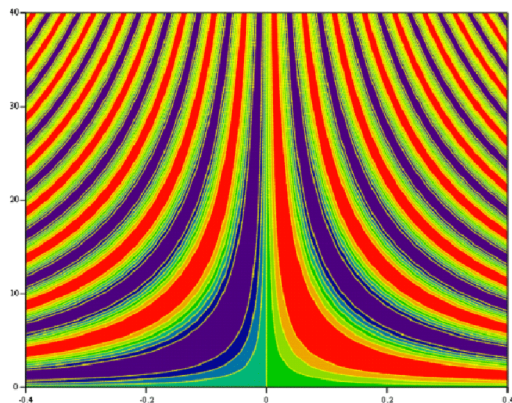


Рис. 4. «Изоволты» функции напряжения биений в плоскости $U_s = 0$, t_i при $\varphi_0 = 0^\circ$.

Оценка принятых упрощений

При учёте второго сомножителя функции напряжения биений в уравнении (3) – косинуса средней угловой частоты напряжений ЭС и СГ плоскости пересечения синусоидальных поверхностей заполняются напряжением, описываемым периодической функцией, изменяющейся с практически постоянной частотой, равной средней частоте суммируемых напряжений. В зависимости от значения начального угла суммирования эта функция может быть как косинусом, так и синусом. Амплитудные значения этого напряжения ограничиваются синусоидальными поверхностями, что математически реализуется в уравнении (3) умножением на третий сомножитель функции.

Отметим теперь важное свойство третьего сомножителя функции. В связи с тем, что он получен при математических преобразованиях функции напряжения биений и является пространственной функцией двух аргументов, на приборах, измеряющих значения функции, он не фиксируется. На приборах измеряется и фиксируется только разность напряжений СГ и ЭС, т.е. напряжение, описываемое вторым сомножителем функции напряжения биений. В практике синхронизации значение синуса угловой

частоты биений получают как огибающую амплитудных значений периодической функции средней угловой частоты напряжений ЭС и СГ.

При введении в анализ функции начального угла суммирования, например, $\varphi_0 = 1 \text{ рад}$ (рис. 5) значение функции напряжения биений в момент начала суммирования равно $U_s = 2 \sin(0,5 \text{ рад}) \approx 1,0 \text{ о.е.}$ в отличие от предыдущего варианта, где оно равнялось нулю (см. рис. 1 при $\varphi_0 = 0$).

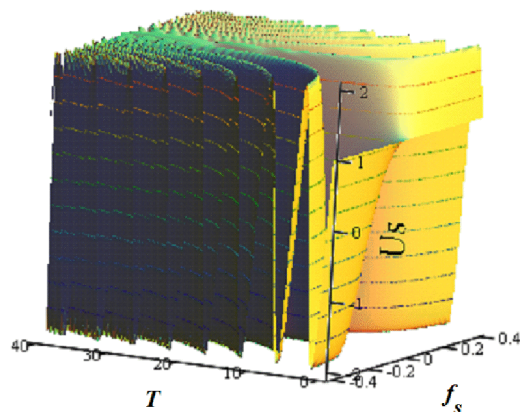


Рис. 5. Функция напряжения биений в пространстве диапазонов изменений частоты биений от минус 0,4 до 0,4 Гц и времени от 0 до 40 с при $\varphi_0 = 1 \text{ рад}$.

Нарушается симметрия «изоволт» относительно оси $f_s = 0$ (рис. 6), что сдвигает все «изоволты» относительно этой оси, а далее они также как и в предыдущем случае изменяются во времени по гиперболическому закону. Естественно при этом изменяется взаимное расположение «изоволт» и плоскости f_{si} , t_i и, следовательно, график функции напряжения биений будет другим, чем в варианте с $\varphi_0 = 0$ (рис. 7).

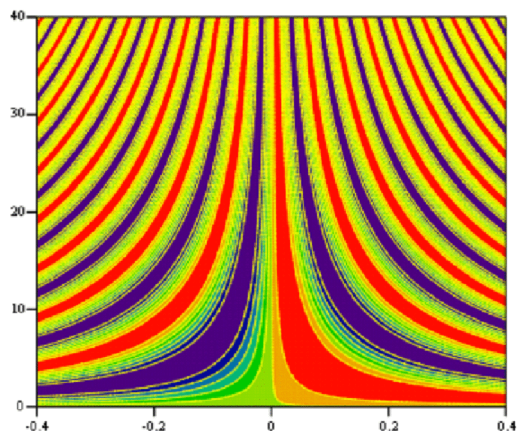


Рис. 6. «Изоволты» функции напряжения биений в плоскости $U_s = 0$, t_i при $\varphi_0 = 1 \text{ рад}$.

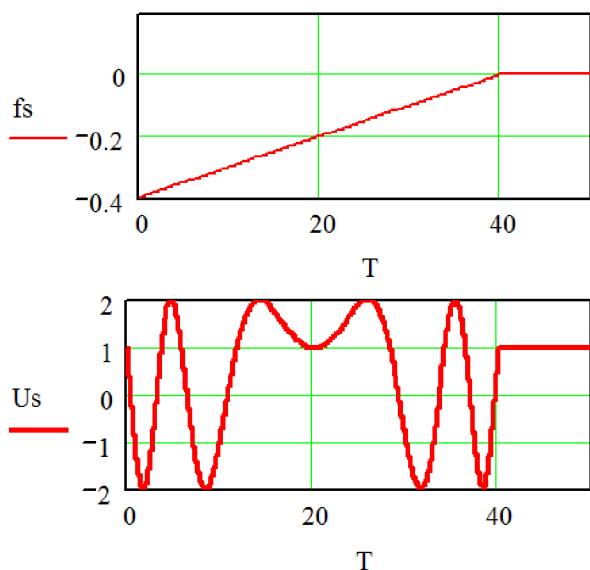


Рис. 7. График функции напряжения биений при линейном законе изменения частоты биений от $-0,4$ Гц до 0 во времени от 0 до 40 с и $\varphi_0 = 1$ рад.

Как уже указывалось к недостаткам в работе существующих автосинхронизаторов относится возможность попадания в явление «зависания», когда значение U_s не изменяется длительное время.

Таким образом, явление «зависания», может наступить только в двух случаях:

При $f_s = 0$ и $\varphi_0 \neq 0$. В этом случае значение функции напряжения биений будет определяться синусом половинного значения начального угла суммирования φ_0 и оставаться сколь угодно долго, так как СГ и ЭС могут длительно работать с равными частотами даже до включения выключателя СГ. Этот вариант «зависания» в общем виде представлен на рис. 8. Учитывая, что φ_0 в условиях существующего процесса автоматической синхронизации может изменяться от 0 до 2π , значения функции напряжения биений и амплитуд косинуса средней угловой частоты при этом могут изменяться в диапазоне от -2 до $+2$ о.е.

При гиперболическом законе изменения частоты биений f_s во времени. В этом случае напряжение биений может принимать любое значения от 2 до -2 о.е. в диапазоне изменения частоты биений по гиперболическому закону (см. рис. 4 и 6) и оставаться таковым сколь угодно долго до момента прекращения изменения частоты биений по гиперболическому закону.

В практике синхронизации наиболее вероятен первый вариант «зависания», так как суще-

ствующие автосинхронизаторы не учитывают начальный угол суммирования.

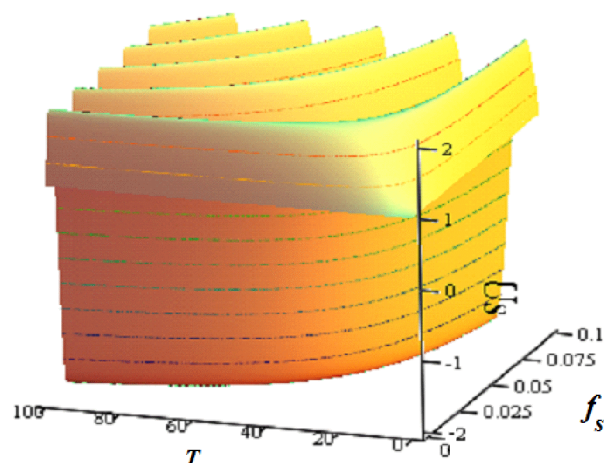


Рис. 8. Функция напряжения биений в пространстве диапазонов изменений частоты биений от 0 до $0,1$ Гц и времени от 0 до 100 с при $\varphi_0 = 1$ рад.

Результаты теоретического анализа функции напряжения биений

- Функция напряжения биений, как разность одноименных напряжений синхронизируемых источников, представляет собой синусоидальные поверхности, расположенные в трехмерном пространстве U_s , f_s и t симметрично относительно плоскости $f_s = 0$, t_i и изменяющиеся по гиперболическому закону во времени.
- Значения напряжений биения во времени определяются пересечением плоскости f_{si} , t_i с синусоидальными поверхностями, заполненными по плоскости пересечения напряжением, изменяющимся по периодической функции средней частоты напряжений СГ и ЭС с ограничением амплитуды пересекаемыми синусоидальными поверхностями.
- Прогнозирование поведения и расчет значений функции, возможно, выполнить, если известен закон изменения частоты биений во времени и начальный угол суммирования напряжений СГ и ЭС.
- Никакой «потери информации» при синхронизации для автосинхронизаторов не может быть, все при синхронизации происходит по законам физики с необходимым математическим описанием. А указанные выше недостатки существующих автосинхронизаторов объясняются выбранными алгоритмами работы.

Заключение

На основании полученных результатов по анализу функции напряжения биений, возможно, пересмотреть принципы и алгоритмы работы существующих автосинхронизаторов с целью устранения отмеченных недостатков. Дальнейшее изучение поведения функции напряжения биений в реальных условиях синхронизации СГ может привести к созданию новых автосинхронизаторов, обеспечивающих выполнение условий точной синхронизации при включении СГ на параллельную работу и, следовательно, отсутствие динамических воздействий на элементы генераторных агрегатов. Детальное рассмотрение поведения функции напряжения биений при «зависании» показывает, что только при этом, возможно, идеально выполнить условия точной синхронизации СГ и ЭС: $\varphi_0 = 0$, $f_s = 0$, $\delta_\sigma = 0$ и, следовательно, $U_s = 0$.

Список литературы

1. Баранов А.П. Судовые автоматизированные электроэнергетические системы / А.П. Баранов. – М.: Транспорт, 1988. – 328 с.
2. Овчаренко Н.И. Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем / Н.И. Овчаренко. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2000. – 504 с.
3. Электроэнергетические установки и силовая электроника транспортных средств. /Под ред. Ю.А. Лукомского./ Санкт-Петербург. «Элмор», 2001. – 384 с.

References

1. Baranov A.P. Ship automated electroenergy systems / A.P. Baranov. M.: Transport, 1988. – 328 p.
2. Ovcharenko N.I. Automation of the electric stations and electroenergy systems / N.I. Ovcharenko. M.: NTS ENAS, 2000. – 504 p.
3. Lukomski Ju.A. Electroenergy options and power electronics of transport vehicles. / Ju.A. Lukomski. Saint Petersburg. «Elmor», 2001. – 384 p.

УДК 346.7:621.3

Законодательные основы энергосбережения в Крымском регионе

Н.М. Шайтор¹, А.В. Горпинченко², Ю.И. Рясков³

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская 33,
г. Севастополь, 299053, Россия, ¹Shaytor1950@mail.ru, ²algornew@mail.ru, ³rjaskoff@mail.ru

Статья поступила 10.07.2017 г.; после доработки 17.07.2017 г.

Аннотация

Рассматриваются вопросы законодательного обоснования энергосбережения и повышения энергоэффективности электроэнергетики Крымского региона с учётом её развития в будущем. На основе государственной программы энергосбережения и повышения энергетической эффективности предложены направления проектирования региональной и муниципальных программ энергосбережения.

Ключевые слова: энергетика, электроэнергетика, энергоэффективность, энергосбережение, программа.

The legislative basis of energy saving in the Crimean region

N.M. Shaytor¹, A.V. Gorpichenko², Y.I. Rjaskoff
Sevastopol, State University, 33 Vniversitetskaya str., Sevastopol, 299053, Russia.
¹shaytor1950@mail.ru, ²algornew@mail.ru, ³rjaskoff@mail.ru

Received 10.07.2017 y.; received in final form 17.07.2017 y.

Abstract

Discusses the legislative rationale of energy saving and increase of energy efficiency of power industry of the Crimean region, taking into account its development in the future. On the basis of the state program of energy saving and energy efficiency proposed directions for the design of regional and municipal programs of energy saving.

Keywords: energy, electric energy, energy efficiency, energy saving, program.

Введение

Целью энергетической политики России является максимально эффективное использование природных энергетических ресурсов и потенциала энергетического сектора для устойчивого роста экономики, повышения качества жизни населения страны и содействия укреплению ее внешнеэкономических позиций.

Энергетическая политика РФ реализуется на федеральном и региональном уровне, и предусматривает правовое регулирование отношений в сфере топлива и энергообеспечения при решении энергетических проблем. Новая региональная энергетическая политика учитывает принципиальные раз-

личия условий энергоснабжения и структуры топливно-энергетического баланса северных, южных, центральных и восточных районов России.

При этом электрическая энергия продолжает оставаться самым удобным и распространённым видом энергии, предназначенным для её производства, передачи и потребления.

Особенности электроэнергетики Крымского региона

Проблемы энергосбережения и повышения энергоэффективности необходимо рассматривать с учётом основных тенденций возрастания энергопотребления региона. Применение тра-

диционных способов получения энергии приводит к ухудшению экологии и истощению природных энергетических ресурсов, поэтому исключительно перспективным направлением развития электроэнергетики в Крыму является возобновляемая и интеллектуальная энергетика.

По аналогии с зарубежной концепцией Smart Grid, переход российской электроэнергетики на интеллектуальный уровень предусматривает создание новой технологической платформы ЕЭС России - интеллектуальной энергосистемы с активно-адаптивной сетью (ИЭС ААС).

В нормативном виде этот процесс закреплен в Энергетической стратегии России на период до 2030 года, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р, в Стратегии развития электросетевого комплекса РФ, утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации от 3 апреля 2013 г. № 511-р.

Для собственной генерации Крым располагает четырьмя основными тепловыми электростанциями суммарной мощностью 162 МВт (Симферопольская - 103 МВт; Камыш-Бурунская - 18 МВт; Севастопольская - 25 МВт; Сакская - 16 МВт); семью ветровыми электростанциями мощностью 86 МВт (Останинская ВЭС - 25,0 МВт; Сакская ВЭС - 19 МВт; Тарханкутская ВЭС - 15,9 МВт; Донузлавская ВЭС - 10,9 МВт; Судакская ВЭС - 6,3 МВт; Пресноводненская ВЭС - 6 МВт; Восточно-Крымская ВЭС - 2,8 МВт); семью солнечными электростанциями мощностью 417 МВт («Владиславовна» - 110 МВт; «Перово» - 105,56 МВт; «Охотниково» - 82,65 МВт; «Николаевка» - 69,7 МВт; «Митяево» - 31,55 МВт; «Родниковое» - 7,5 МВт; «Севастопольская» - 10 МВт).

Для удовлетворения всех потребностей в электроэнергетике региону требуется не менее 1300-1400 МВт электрических мощностей. При этом общая установленная мощность собственной генерации в Крыму составляет 665 МВт, то есть не более 50%. (тепловых электростанций – 12%, солнечных – 32%, ветровых – 6% от требуемой генерации), а выработка энергии, получаемой от СЭС и ВЭС, зависит от времени суток и погодных условий. К тому же необходимо учитывать выведенное из действия, неисправное и находящееся в ремонте оборудование. В результате этих факторов фактическая выработка от собственных источников полуострова в 2015 году составила не многим более 20%.

С вхождением Крыма и Севастополя в состав Российской Федерации в качестве основно-

го комплексного программно-целевого механизма решения проблемных задач утверждена федеральная целевая программа «Социально-экономическое развитие Республики Крым и г. Севастополя до 2020 года». Мероприятия Программы сконцентрированы на снятии инфраструктурных ограничений и развитии экономического потенциала территории полуострова, в том числе за счет развития энергетического комплекса посредством устранения сетевых ограничений, создания собственной генерации и обеспечения надежного и бесперебойного электроснабжения потребителей Крымского полуострова.

Строительство Энергомоста, включающего кабельный переход через Керченский пролив, позволило в 2016 году довести переток электрической мощности в Крым со стороны Краснодарского края до 850 МВт.

Полная энергетическая независимость Крыма возможна только после строительства ПГУ-ТЭС в Симферополе и Севастополе, каждая из которых будут состоять из 2-х энергоблоков. Сроки завершения строительства первых энергоблоков, мощностью по 235 МВт, намечены на 2017 год. Окончательное введение в действие двух энергоблоков обоих ПГУ-ТЭС на полную мощность 940 МВт планируется на 2018 год. При этом тарифы на электроэнергию будут доведены до экономически обоснованной цены на электроэнергию за счёт их роста на 15% каждое полугодие для населения и 6% для промышленности.

Общая характеристика нормативно-правовых актов по энергосбережению

Нормативно-правовая база энергосбережения представляет собой свод юридических документов, определяющих политику государства в области энергосбережения и энергетической эффективности.

По своей юридической силе все нормативно-правовые документы можно построить по следующей иерархии:

- Конституция Российской Федерации;
- Федеральные законы, принимаемые Государственной Думой Российской Федерации;
- Указы Президента Российской Федерации;
- Постановления и решения Правительства Российской Федерации;
- Региональные законы, постановления и решения администрации регионов;

- Постановления и решения муниципальных образований;
- Приказы и распоряжения руководителей предприятий и организаций всех форм собственности.

Конституция Российской Федерации (12 декабря 1993 г.) разделила полномочия между федеральными и иными органами власти. Согласно Конституции РФ субъекты РФ обладают всей полнотой государственной власти.

Гражданский кодекс РФ играет важную роль в регулировании отношений по энергосбережению, он предусматривает:

- правила договорных отношений при энергоснабжении;
- требования к учёту и качеству поданной потребителю энергии;
- обязанности по содержанию и эксплуатации сетей и оборудования;
- ответственность за ущерб потребителю при перерыве энергоснабжения;
- ответственность руководителей за расточительное расходование энергии.

Правоотношения в области энергосбережения регулируются также федеральным законом «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [1]. Во исполнение федеральных законов принят ряд постановлений правительства, в том числе постановление Правительства РФ «О требованиях к региональным и муниципальным программам в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности» [2].

Государственная программа по энергосбережению и повышению энергетической эффективности

Государственная программа Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» [3] включает следующие разделы:

- I. Характеристика текущего состояния сферы энергосбережения и уровня эффективности использования энергии в Российской Федерации, основные показатели и анализ социальных, финансово-экономических и прочих рисков реализации Программы.
- II. Приоритеты и цели государственной политики в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности в Российской Федерации, прогноз развития энергосбережения и повышения энергетической эффективности и

планируемые макроэкономические показатели по итогам реализации Программы.

III. Конечные результаты реализации Программы.

IV. Срок и этапы реализации Программы.

V. Перечень основных мероприятий Программы.

VI. Основные меры правового регулирования в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности.

VII. Перечень и краткое описание подпрограмм Программы.

VIII. Целевые индикаторы и показатели Программы.

IX. Обоснование состава и значений целевых индикаторов и показателей Программы и оценка влияния внешних факторов и условий на их достижение.

X. Информация по ресурсному обеспечению Программы за счет средств федерального бюджета.

XI. Меры государственного регулирования и минимизации рисков, управление реализацией Программы и контроль за ходом ее выполнения.

XII. Методика оценки эффективности Программы.

В Программе дана сравнительная характеристика энергосбережения и эффективности использования энергии в Российской Федерации в сравнении с развитыми странами.

Выход России на стандарты благосостояния развитых стран на фоне усиления глобальной конкуренции и исчерпания источников экспортно-сырьевого типа развития требует кардинального повышения эффективности использования всех видов энергетических ресурсов.

Уровень энергоемкости производства важнейших отечественных промышленных продуктов выше среднемировых в 1,2-2 раза и выше лучших мировых образцов в 1,5-4 раза.

Потенциал энергосбережения оценивается в миллионах тонн условного топлива по двум направлениям: в сфере производства и преобразования энергетических ресурсов и в сфере их потребления.

В сфере производства и преобразования энергетических ресурсов общая возможная экономия оценивается в размере 403,89 млн т у.т., из которых наибольший удельный вес занимает газ - 257,43 млн т у.т. или 63,7 %. На долю угля приходится 83,5 млн т у.т. или 20,7 %, нефтепродуктов - 49,53 млн. т у.т. или 12,3%.

Единый топливно-энергетический баланс Российской Федерации за 2007 год свидетельствует о потреблении первичных энергетических ресурсов в объеме 955,3 млн т у.т. Наибольший удельный вес в нем принадлежит природному газу - 529 млн т у.т. или 55,3 %; на

долю сырой нефти приходится 337,3 млн т у.т. или 35,3 %; угля - 156,6 млн т у.т. или 16,4 %; атомной энергии - 60,55 млн т у.т. или 6,3 %.

В целом по промышленности основным видом потребляемых ресурсов также является тепловая энергия. Ее удельный вес составляет 32,3 % (79,0 млн т у.т.), доля природного газа составляет 25,5% (62,5 млн т у.т.), электрической энергии - 21,3 % (52,2 млн т у.т.), угля - 18,2% (44,5 млн т у.т.).

Оценка технического потенциала повышения энергетической эффективности в Российской Федерации позволяет сделать вывод о том, что он является одним из самых значительных в мире. Он составляет более 40 % уровня потребления энергии.

Основные цели Программы:

- снижение энергоемкости ВВП РФ на 13,5%, что в совокупности с другими факторами позволит обеспечить решение задачи по снижению энергоемкости валового внутреннего продукта на 40 % в 2007-2020 гг.;
- формирование в России энергоэффективного общества.

Основные задачи программы:

- существенное снижение доли энергетических издержек, обеспечение населения качественными энергетическими услугами по доступным ценам;
- снижение выбросов парниковых газов и вредных выбросов;
- повышение энергетической эффективности на основе комплексного развития инфраструктуры и повышения квалификации персонала.

Срок реализации Программы - 2011-2020 гг., реализация Программы будет осуществляться поэтапно:

- на I этапе (2011-2015 гг.) предполагается осуществить переход на энергоэффективный путь развития экономики Российской Федерации;
- на II этапе (2016-2020 гг.) предполагается обеспечить развитие экономики Российской Федерации по энергоэффективному пути.

Интегральным (обобщенным) целевым показателем энергосбережения и повышения энергетической эффективности для экономики Российской Федерации в целом является снижение энергоемкости валового внутреннего продукта на 13,5%, что в совокупности с другими факторами позволит обеспечить достижение цели по снижению энергоемкости валового внутреннего про-

дукта на 40 % в 2007-2020 гг.

Субъекты Российской Федерации и муниципальные образования в соответствии с требованиями законодательства об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности разрабатывают свои целевые показатели энергосбережения и повышения энергетической эффективности в составе соответствующих региональных и муниципальных программ.

В Программе предусмотрены стимулирующие механизмы и меры государственной поддержки проектов в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности:

- стимулирование региональных программ за счет софинансирования из федерального бюджета;
- стимулирование энергоэффективных технологий на основе предоставления государственных гарантий по кредитам;
- стимулирование проектов за счет мер государственной поддержки;
- финансирование мероприятий на объектах государственных (муниципальных) учреждений;
- финансирование НИР, образовательной деятельности и информационного обеспечения.

Проектирование региональной и муниципальных программ энергосбережения

Региональная программа должна представлять собой комплекс организационных, технических, экономических и иных мероприятий, направленный на решение задач энергосбережения, с определением приоритетных направлений реализации государственной политики в этой области, а также путей максимального использования возобновляемых источников энергии – гелиоустановок, солнечных и ветровых электростанций.

При разработке программ необходимо учитывать достаточно большое количество требований, установленных в документах, утвержденных на федеральном уровне.

Разработку региональных программ энергосбережения и повышения энергоэффективности рекомендуется выполнять в 6 основных этапов:

1. Сбор исходных данных.
2. Составление топливно-энергетического баланса (ТЭБ) региона, определение потенциала и резервов энергосбережения в разных

секторах экономики.

3. Выбор приоритетных направлений энергосбережения, формирование структуры программы.
4. Подбор эффективных технических решений энергосбережения и повышения энергоэффективности и их увязка между собой.
5. Выбор мотивирующих механизмов для реализации технических мероприятий по энергосбережению и повышению энергоэффективности.
6. Мониторинг программ энергосбережения при их разработке и реализации.

Основным результатом первого этапа разработки региональной программы энергосбережения является анализ и сопоставление комплекса выявленных особенностей региона с Государственной программой, утвержденной распоряжением Правительства РФ № 2446-р от 27 декабря 2010 г.

На первом этапе сбора исходных данных основной целью является определение ключевых особенностей региона, оказывающих важнейшее влияние на энергопотребление, и затрат, связанных с ресурсообеспечением территории.

К числу важнейших особенностей, определяющих качественную картину Крымского региона относятся:

- природно-климатические особенности и экология региона;
- важнейшие географические параметры (общая площадь, численность населения) и распределение потребителей разных видов энергии по территории;
- обеспеченность региона энергоресурсами и инфраструктурой для их использования (характеристики энергоисточников и энергосетей, наличие дефицита пиковой электрической мощности);
- динамика потребления различных видов энергоресурсов по секторам (и подсекторам) экономики;
- структура промышленного производства и уровень валового регионального продукта (ВРП).

Основным результатом второго этапа разработки региональной программы энергосбережения является составление ТЭБ региона, оценка потенциалов энергосбережения в различных секторах экономики и территории в целом.

Результатами разработки ТЭБ являются данные по фактической структуре производства и потребления энергоресурсов, фактические потери, потенциал энергосбережения, резервы мощности.

Исходной информацией для составления ТЭБ являются формы статотчетности, фактические данные от энергоснабжающих организаций по отпуску, потреблению и потерям энергии, данные по нормативам потерь, результаты энергоаудита и другая официальная информация.

Основным результатом на третьем этапе является выбор приоритетных направлений энергосбережения и формирование структуры программы по результатам оценки потенциала региона. При формировании этого комплекса необходимо учитывать потенциал системных решений, который может дать существенно больший эффект, чем частные оптимизационные решения.

Региональные программы энергосбережения должны включать целевые индикаторы и показатели энергосбережения и повышения энергоэффективности, содержащиеся в Государственной программе, утвержденной Правительством РФ от 27 декабря 2010 года № 2446-р.

Подбор эффективных технических решений энергосбережения и повышения энергоэффективности и их увязка между собой выполняются на четвертом этапе.

Формирование наиболее эффективного комплекса мер и мероприятий для региональных программ энергосбережения осуществляется путем решения двух основных задач:

- выбор технических и организационных решений (подходов) для поэтапной реализации потенциала и резервов энергосбережения, определенных на втором этапе;
- формирование благоприятной мотивационной среды для реализации подобранных технических мер (нормативно-правовое поле, экономические стимулы, запреты и др.).

Основным результатом четвертого этапа разработки региональной программы энергосбережения является выбор из всего комплекса мер наиболее эффективных и быстрореализуемых по сравнению с остальными мерами в применении к конкретному региону.

Выбор мотивирующих механизмов для реализации технических мероприятий по энергосбережению и повышению энергоэффективности производится на пятом этапе.

Реализация ряда технических мероприятий, необходимых для развития энергосистемы региона и повышения уровня энергоэффективности, требует совершенствования нормативно-правового поля, создания благоприятной мотивационной среды и формирования различных стимулирующих механизмов:

- финансово-экономических механизмов;

- нормативно-правовой базы, регламентов и стандартов;
- информационно-пропагандистских мер;
- рычагов тарифного и иного стимулирования.

Основным результатом пятого этапа является сформированная комплексная региональная программа энергосбережения с обязательным определением необходимых мотивационных механизмов, в зависимости от особенностей территории.

На шестом этапе осуществляется мониторинг программ энергосбережения и повышения энергоэффективности при их разработке и реализации.

В качестве индикаторов выполнения программных мероприятий могут использоваться удельные расходы энергоресурсов, потери при транспортировке энергоносителей, удельные показатели в разных секторах потребления и др.

Основным результатом шестого этапа является обеспечение в рамках региональной программы энергосбережения комплексного непрерывного мониторинга в первую очередь показателей энергопотребления в регионе. Результаты мониторинга являются основанием для корректировки региональных программ энергосбережения и повышения энергоэффективности региона.

В состав региональной программы энергосбережения рекомендуется включать следующие разделы:

1. Паспорт Программы.
2. Анализ текущего состояния проблемы.
3. Цель и задачи программы.
4. Система программных мероприятий.
5. Сроки (этапы) реализации Программы.
6. Важнейшие целевые индикаторы и показатели.
7. Нормативно-правовое обеспечение.
8. Финансирование и стимулирование реализации мероприятий.
9. Ожидаемые социально-экономические результаты реализации программы.

В паспорте программы рекомендуется указывать ее наименование, основание для разработки, разработчика и исполнителей, сроки реализации, цели, основные задачи, важнейшие целевые показатели и индикаторы, краткое изложение основных мероприятий, объемы и источники финансирования по годам реализации Программы, ожидаемые социально-экономические результаты.

Программы энергосбережения предприятий и организаций региона

Программы предприятий и организаций с участием государства или муниципальных образований в области энергосбережения и повышения энергоэффективности рекомендуется разрабатывать на основе данных, полученных в ходе энергетического обследования. В соответствии со ст. 16 Закона № 261-ФЗ для организаций с участием государства или муниципального образования проведение энергетического обследования является обязательным.

Первое энергетическое обследование должно было быть проведено до 31 декабря 2012 года, последующие энергетические обследования должны проводиться не реже, чем один раз в пять лет.

Согласно ч. 4 ст. 15 Закона № 261-ФЗ деятельность по проведению энергетического обследования вправе осуществлять только лица, являющиеся членами саморегулируемых организаций (СРО) в области энергетического обследования.

Энергетическое обследование организации включает в себя комплексный анализ исходной ситуации по потреблению энергетических ресурсов, эффективности их использования, выявление потенциала энергосбережения.

Результатом энергетического обследования является энергетический паспорт, который составляется по форме в соответствии с требованиями, утвержденными Приказом Министерства энергетики Российской Федерации от 19 апреля 2010 г. № 182.

Помимо энергетического паспорта по результатам энергетического обследования, должен быть разработан перечень типовых, общедоступных мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности и проведена их стоимостная оценка. Согласно ч. 3 ст. 15 Закона № 261-ФЗ по соглашению между лицом, заказавшим проведение энергетического обследования, и лицом, проводящим энергетическое обследование, может предусматриваться разработка по результатам энергетического обследования отчета, содержащего перечень мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности, отличных от типовых, общедоступных мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности.

В случае если энергетическое обследование не было проведено, то для разработки Программы необходимо самостоятельно собрать

соответствующую базовую информацию об объекте обследования.

Минимально необходимый перечень разделов программы охватывает:

- анализ текущего состояния энергосбережения и повышения энергетической эффективности;
- цели и задачи с указанием сроков и этапов реализации программы и целевых показателей;
- перечень программных мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности;
- объем и источники финансирования;
- ожидаемые результаты.

В Программу могут быть включены и иные разделы, в том числе введение и механизм реализации Программы.

Программа также должна содержать паспорт программы, в котором указываются те же сведения, что и в паспорте региональной программы.

Для разработки отдельных разделов программы можно рекомендовать тот же алгоритм, основные положения которого изложены в рекомендациях по разработке региональной программы. Это связано с тем, что программы организаций с участием государства или муниципального образования, как правило, являются составной частью региональной программы.

Интегральным целевым показателем энергосбережения и повышения энергетической эффективности для экономики Российской Федерации в целом является снижение энергоемкости валового внутреннего продукта (ВВП) на 13,5 %, что в совокупности с другими факторами позволит обеспечить снижение энергоемкости ВВП к 2020 году на 40 %.

Целевые индикаторы энергосбережения определяют задания по суммарной экономии основных видов энергетических ресурсов в натуральном выражении: природного газа, электроэнергии, тепловой энергии, нефти и нефтепереработки, а также годовой экономии первичной энергии и суммарному снижению выбросов парниковых газов.

Повышение квалификации в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности

На кафедре Возобновляемые источники энергии и электрические системы и сети разработана программа повышения квалификации кадрового состава «Практические вопросы реа-

лизации государственной политики в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности».

Категория слушателей, поступающих на обучение - представители организаций и учреждений бюджетной и внебюджетной сферы, ответственные за энергосбережение и повышение энергетической эффективности:

- лица сводного органа, который реализует программу по энергосбережению и повышению энергетической эффективности, в том числе отраслевые специалисты (в области транспорта, промышленности, сельского хозяйства, образования, здравоохранения и пр.);
- муниципальные служащие, сотрудники организаций бюджетной и внебюджетной сферы независимо от организационно-правовых форм собственности (учреждения, фонды и т.п.);
- организаций, имущество которых принадлежит на праве собственности Российской Федерации, субъектам Российской Федерации или муниципальным образованиям.

Данная программа охватывает все актуальные направления в сфере энергоэффективности и позволяет сформировать у слушателей целостную картину реализации потенциала энергосбережения и повышения энергетической эффективности с учетом специфики деятельности органов управления, организаций, учреждений и предприятий различных форм собственности.

Заключение

С вхождением Крыма и Севастополя в состав Российской Федерации в качестве основного комплексного программно-целевого механизма решения проблемных задач утверждена федеральная целевая программа «Социально-экономическое развитие Республики Крым и г. Севастополя до 2020 года».

Реализацию этой программы необходимо осуществлять одновременно с другой Государственной программой Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года». Для определения приоритетных направлений реализации государственной политики энергосбережения в Крымском регионе, проработки и реализации региональной и муниципальных программ энергосбережения необходима подготовка кадров, повышение их квалификации.

Кафедра Возобновляемые источники энергии и электрические системы и сети осуществ-

ляет повышение квалификации кадрового состава, способного к реализации задач государственной политики в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности.

Список литературы

1. Российская Федерация. Законы. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации [Текст]: Федер. закон: [Принят Гос. Думой 11. 11. 2009 г.; одобрен Советом Федерации 18. 11. 2009 г.] // Собрание законодательства РФ. -2009. -№48. -С.571.
2. Российская Федерация. Правительство. О требованиях к региональным и муниципальным программам в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности. [Текст]: Постановление Правительства РФ от 31 декабря 2009 г. № 1225 // Собрание законодательства РФ. -2010. -№6. -С.645.
3. Российская Федерация. Правительство. Государственная программа Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» [Текст]: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 декабря 2010 г. № 2446-р // Собрание законодательства РФ. -2011. -№4. -С.622.

References

1. Of The Russian Federation. Laws. On energy saving and on increasing energy efficiency and on amendments to certain legislative acts of the Russian Federation [Text]: Feder. the law: [Adopted by the State. Duma 11. 11. 2009; approve. The Council Of The Federation 18. 11. 2009] // meeting of the legislation of the Russian Federation. -2009. - No. 48. -P. 571.
2. Of The Russian Federation. The government. About requirements to regional and municipal programs on energy saving and increasing energy efficiency. [Text]: Resolution of the RF Government dated 31 December 2009 No. 1225 // meeting of the legislation of the Russian Federation. -2010. - No. 6. P. 645.
3. Of The Russian Federation. The government. State program of the Russian Federation "energy Saving and energy efficiency for the period till 2020" [Text]: the order of the Government of the Russian Federation from December, 27th, 2010 № 2446-r // meeting of the legislation of the Russian Federation. -2011. - No. 4. -P. 622.

НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

УДК 620.9:33

**Исследование сезонной работы промышленного
фотоэлектрического модуля PS 250**В.В. Кувшинов¹, Е.Г. Какушина², А.Г. Косий³*ФАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33,
г. Севастополь, 299053, Россия, ¹kuvshinov.vladimir@gmail.com, ²littie@mail.ru, ³kosiy@mail.ru*

Статья поступила 04.09.2017 г.; после доработки 07.09.2017 г.

Аннотация*Приведены результаты экспериментальных исследований фотоэлектрического модуля PS 250, используемого на сетевых и автономных станциях. Полученные данные предполагается использовать при расчетах фотоэлектрических станций.**Ключевые слова:* фотоэлектрический модуль, фотоэлектрическая станция.**Seasonal study of industrial
photoelectric module PS 250**V.V. Kuvshinov¹, E.G. Kakyshina², A.G. Kjsiy³*Sevastopol state university, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia.
¹kuvshinov.vladimir@gmail.com, ²littie@mail.ru, ³kosiy@mail.ru*

Received 04.09.2017 y.; received in final form 07.09.2017 y.

Abstract*The results of experimental studies of the PS-250 photovoltaic module, used at network and autonomous stations, are presented. The obtained data are supposed to be used in the calculation of photo-electric stations.**Keywords:* photoelectric module, photovoltaic station.**Введение**

В настоящее время на юге России и в Крыму работает большое количество солнечных фотоэлектрических станций, суммарная мощность которых составляет сотни мегаватт (рис. 1). Также наряду с этими системами существует большое количество автономных фотоэлектрических установок для обеспечения индивидуальных потребителей (рис. 2).

Выработка электроэнергии солнечными станциями напрямую зависит от интенсивности, падающей на рабочую поверхность кремниевых фотоэлементов, солнечной радиации.



Рис. 1. Солнечная электростанция, Перово, Крым, мощность: 105,56 МВт, площадь: 2000 г.



Рис. 2. Автономные фотоэлектрические системы.

Повышение энерговыработки станций возможно за счёт повышения мощностных характеристик модулей.

Постановка задачи исследования

Для повышения мощности фотоэлектрических модулей предлагается использовать плоские низкопотенциальные концентраторы типа фоклинов, их различные типы используются в маломощных фотоэлектрических установках для автономных потребителей.

Основное преимущество фоклинов, это равномерное распределение всей сконцентрированной солнечной энергии по поверхности плоского фотоэлектрического модуля. Малый коэффициент концентрации не допускает перегрева рабочей поверхности. Сами фоклины, за счет своей конструкции, позволяют длительное время работать без использования системы солнечной ориентации [1, 2]. Увеличить мощность можно при помощи солнечных концентраторов, которые повышают плотность потока солнечной энергии в плоскости модуля (рис. 3).



Рис. 3. Солнечный концентратор для фотоэлектрического модуля.

Цель и задачи исследования

Целью данной работы являлось исследование мощностных характеристик промышленного фотоэлектрического модуля в натурных

условиях. Исследование рабочих характеристик модуля даст возможность оценить эффективность его работы, и как следствие возможность увеличения выработки электроэнергии сетевыми станциями [3].

Для достижения поставленной цели необходимо провести натурные исследования сетевого модуля в условиях максимальной освещенности (близкой к 1000 Вт/м^2), а также в условиях облачности, низкой атмосферной температуры и при наличии снегового покрова [4]. При проведении исследования используется метод прямых измерений тока и напряжения, при заданных нагрузочных характеристиках [5].

Результаты исследований

На экспериментальной площадке кафедры Возобновляемые источники энергии и электрические системы и сети Севастопольского государственного университета в течение 2016-2017 года проводились натурные испытания серийных фотоэлектрических модулей типа PS 250 (рис. 4). Модуль состоит из поликремневых элементов с характеристиками сходными с элементами других типовых модулей, используемых на сетевых фотоэлектрических станциях. Мощность модуля составляет 250 Вт, КПД солнечных элементов составляет 17%. Его вольт-амперные характеристики также близки к другим промышленным модулям.



Рис. 4. Натурные испытания фотоэлектрических модулей PS 250.

Исследования проводились на открытой территории в ясные солнечные дни при постоянной освещенности.

Главной целью данного исследования было получение зависимостей изменения выходной мощности фотоэлектрического модуля в разные месяцы года. На графиках приведены усредненные вольт-амперные (рис. 5) и мощностные (рис. 6) характеристики модуля PS 250, полученные при испытаниях за 2015 – 2017 годы.

Заводские значения номинальной мощности модуля PS 250 соответствуют значениям 30,6 В и 8,21 А.

Однако при натурных испытаниях значение напряжения в рабочей точке с уменьшением температуры увеличивается до 36 В, при этом мощностные характеристики сохраняются.

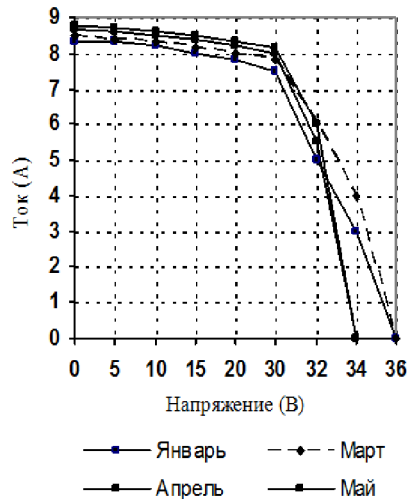


Рис. 5. Вольт-амперные усредненные характеристики модуля PS 250 для разных месяцев года.

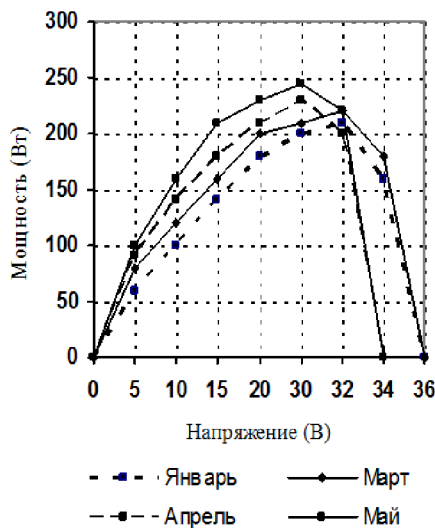


Рис. 6. Мощностные усредненные характеристики модуля PS 250 для разных месяцев года.

Экспериментальные значения вольт-амперных (рис. 7) и мощностных (рис. 8) характеристик модуля были получены при различных температурных показателях. На графиках видно, что при одинаковых значениях освещенности, мощность модуля была наибольшей при низких температурах, также увеличивались значения напряжений и менялась форма вольт-амперной характеристики.

Коэффициент преобразования модуля, в зависимости от освещенности, улучшается в холодную ясную погоду, особенно эффективно работал модуль зимой при $T = 0^{\circ}\text{C}$, и снижается в весенние месяцы при повышении температуры рабочей поверхности. Как видно из результатов, наилучший режим работы модуля наблюдался при низких температурах.

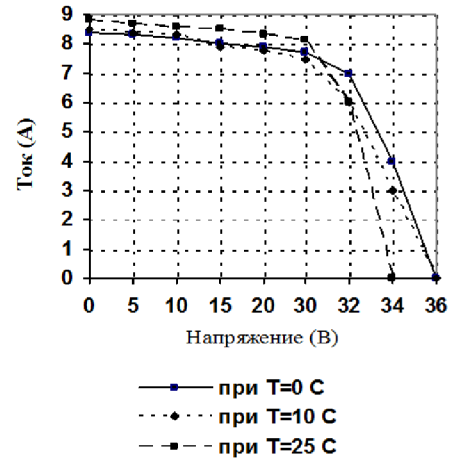


Рис. 7. Вольт-амперные характеристики модуля PS 250 при различной атмосферной температуре (получены в разное время года при одинаковой освещенности около 900 Вт/м^2)

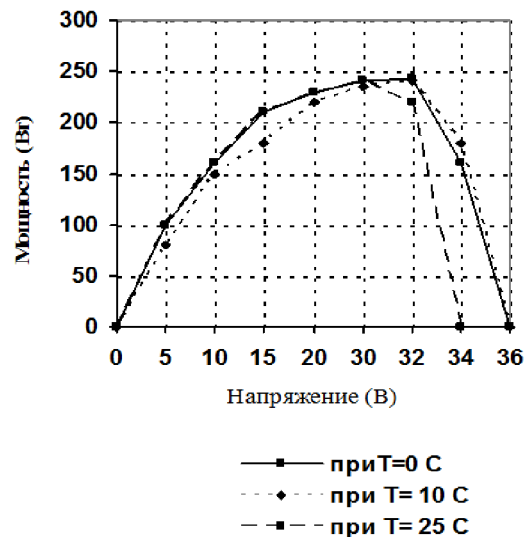


Рис. 8. Мощностные характеристики модуля PS 250 при различной атмосферной температуре (получены в разное время года при одинаковой освещенности около 900 Вт/м^2)

Холодная температура воздуха положительно сказывается на работе модуля [4,6], причем хорошо видно увеличение коэффициента преобразования модуля, в отличие от плюсовых температур.

В условиях облачности (освещенность менее 200 Вт/м^2), зависимость мощностных характеристик модуля от угла наклона меняется по другим характеристикам (рис. 9).

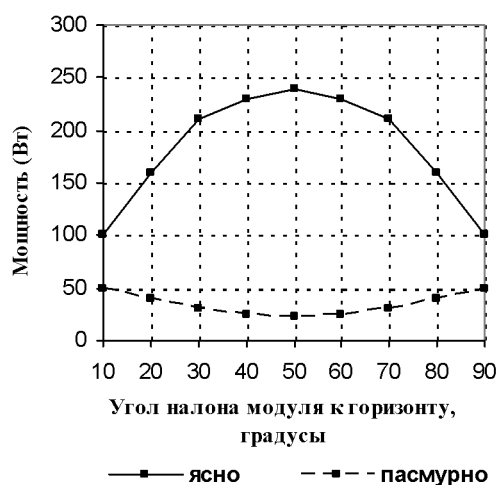


Рис. 9. Мощностная характеристика модуля PS 250, при изменении угла наклона при различной облачности.

При отклонении плоскости модуля от перпендикулярного направления на точку, в которой находится Солнце, фототок и вырабатываемая мощность начинают расти, и достигают своего максимума при горизонтальном расположении модуля. Это происходит в момент, когда солнечный диск полностью закрыт облаками и модуль преобразовывает только рассеянное излучение, приходящее со всех сторон небосвода [4]. При высокой облачности угол установки модуля к горизонту составляет 0° , при ясной погоде, наоборот, угол установки плоскости модуля соответствовал направлению на Солнце, т.е. равнялся углу солнечного склона. При этом, при равной освещенности коэффициент преобразования модуля был выше в ясную погоду, чем при высокой облачности, т.е. на работу модуля влияет спектр солнечного излучения, который различен в пасмурную и ясную погоду [3,4]. При выходе Солнца из-за облаков, из-за небольшой облачности, возможно резкое повышение мощностных показателей модуля (до 20%). Это повышение наблюдается около 2 минут, после мощность снижается до значения соответствующего постоянной освещенности для ясной погоды.

Повышение мощности связано с увеличением освещенности, которая при небольшой облачности в некоторых точках земной поверхности может быть выше, за счет суммирования прямого и отраженного от облаков потока солнечной радиации [4,7].

Представляет интерес зависимость работы модуля при наличии снегового покрова. Вольт-амперные (рис. 10) и мощностные (рис. 11) характеристики модуля PS 250 получены при наличии снегового покрова (мощность падающего солнечного излучения 700 Вт/м^2). Значительное увеличение мощности происходило при отражении света от снежного покрытия, т.е. при увеличении альбедо. В этот день освещенность без учета снегового покрова была 700 Вт/м^2 .

За счет отражения света от поверхности снега прибавка в освещенности составляла более 30%, т.е. освещенность составляла около 1000 Вт/м^2 . При этом модуль вырабатывал меньшую мощность, чем при освещенности 1000 Вт/м^2 без снегового покрова.

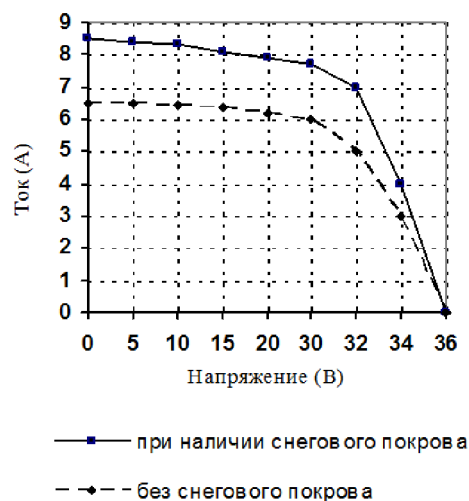


Рис. 10. Вольт-амперные характеристики модуля PS 250 при наличии снегового покрова (мощность падающего солнечного излучения 700 Вт/м^2).

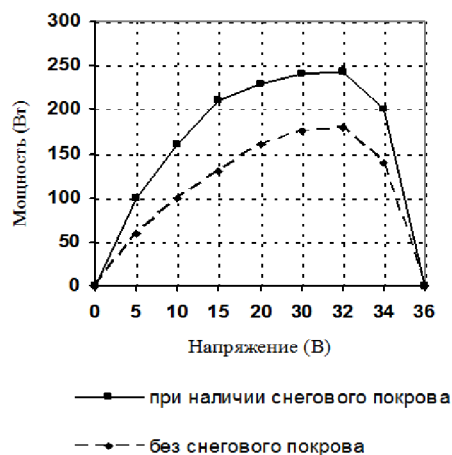


Рис. 11. Мощностные характеристики модуля PS 250 при наличии снегового покрова (мощность падающего солнечного излучения 700 Вт/м^2).

На графиках (рис. 10 и рис. 11) заметно увеличение мощности модуля за счет отраженного потока от снеговой поверхности, однако коэффициент преобразования падает. Это можно объяснить отличной спектральной составляющей отраженного от снегового покрова света, которая хуже преобразовывается модулем [3, 4, 7].

Данные, полученные в результате проведения настоящих экспериментов, необходимы при расчетах годовой выработки электроэнергии солнечными электростанциями [1, 3]. Как видно из данных, конечные значения выработки электроэнергии, при учете указанных в данной статье факторов, могут различаться более, чем на 30 %, как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения.

При движении солнца по небосводу угол падения лучей на плоскую поверхность, установленную под углом, постоянно меняется в течение суток. Ориентировав модуль перпендикулярно солнечным лучам, и изменяя его угол наклона к горизонту, можно имитировать работу модуля в зависимости от изменения угла падения солнечных лучей на его поверхность.

На рис. 8 приведены теоретические и экспериментальные значения различных параметров фотоэлектрического модуля RS 250 в зависимости от угла установки. Экспериментальные данные, полученные для модуля RS 250, показали различие с теоретическими данными при изменении угла установки плоскости модуля относительно горизонта.

Для расчетов вырабатываемой мощности солнечной фотоэлектрической батареи используется известная формула [3]:

$$P_{\text{мод.}} = E_o \eta_{\text{эл.}} S_{\text{мод.}} F \cos \alpha_o \quad (1)$$

где $\eta_{\text{эл.}}$ – КПД элементов,

E_o – солнечная освещенность,

$S_{\text{бат.}}$ – площадь солнечной батареи,

F – фактор, учитывающий особенности солнечной батареи (заполнении элементами и возможную деградацию её параметров),

α_o – суммарный угол между нормалью к плоскости модуля и падающими солнечными лучами.

По экспериментальным данным угол наклона модуля по отношению к падающим солнечным лучам сильно влияет на показатели модуля, в результате изменяются энергетические и мощностные характеристики, только при перпендикулярном падении лучей на рабочую поверхность экспериментальные и теоретические данные совпадают.

Как видно, из графиков (рис. 12), при определенных углах падения реальные значения мощности могут падать в два раза.



Рис. 12. Зависимость изменения выходной мощности фотоэлектрического модуля PS 250 при изменении угла наклона модуля к горизонту.

Формула (1) подходит только для теоретических расчетов. Для фотоэлектрического модуля, имеющего поверх элементов несколько видов защитных покрытий, где каждый тип прозрачного защитного покрытия имеет определенный оптический коэффициент преломления, непосредственно для расчетов фотоэлектрических модулей, целесообразно использовать формулу (2):

Для расчетов вырабатываемой мощности солнечной фотоэлектрической батареи используется известная формула [3]:

$$P_{\text{мод.}} = E_o \eta_{\text{эл.}} S_{\text{мод.}} F \cos K \alpha_o \quad (2)$$

где K – суммарный коэффициент ослабления светового потока, зависящий от конкретной конструкции и количества защитных покрытий модуля.

Коэффициент K отвечает за ослабление солнечной интенсивности, при прохождении солнечных лучей через защитные покрытия модуля [8]. Этот коэффициент зависит от конкретной конструкции модуля, а также от количества и формы защитных покрытий [3,9].

Выводы

На основе проведенных натурных испытаниях, при различных климатических условиях, получены данные о наиболее эффективных режимах работы серийного фотоэлектрического модуля PS 250, показано изменение мощностных характеристик и коэффициента преобразования модуля.

Проведенные испытания промышленных фотоэлектрических модулей RS 250 показали, что при учете климатических факторов, мощность, вырабатываемая солнечным модулем, может изменяться на 30% и более.

Используя при проектировании солнечных электростанций полученные экспериментальные данные, можно значительно поднять выработку электрической энергии.

Список литературы

1. Кувшинов В. В. Перспективы развития солнечной энергетики в Крыму / В. В. Кувшинов // Сборник научных трудов СЧУЭиП. – 2013. – Вип. 1 (45). – С.182 - 189.
2. Андреев В. М. Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения / Андреев В. М., Грилихес В. А., Румянцев В. Д. – Л: Наука, 1989. – 405 с.
3. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей / Г. Раушенбах. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 397 с.
4. Колтун М. М. Оптика и метрология солнечных элементов / Колтун М. М. – М.: Наука, 1985. – 300 с.
5. Арбузов Ю. Д. Основы фотоэлектричества / Ю. Д. Арбузов, В. М. Евдокимов – М.: ГНУ ВИ-ЭСХ, 2007. – 292 с.
6. Кондратьев К. Я. Актинометрия / К. Я. Кондратьев – Л.: Гидрометеиздат, 1965. – 220 с.
7. Кувшинов В. В. Измерение прозрачности стёкол для солнечных установок / В. А. Сафонов, В. В. Кувшинов, А. С. Головин // Системы контроля окружающей среды: сб. науч. тр. – НАН Украины, МГИ: Севастополь. – 2006. – С. 73 - 77.
8. Ж.И. Алферов, В.М. Андреев Перспективы фотоэлектрического метода преобразования солнечной энергии. \ Под ред. Н.Н. Семенова. Черноголовка: Изд. ИХФ АН СССР, 1981.

References

1. Kuvshinov V.V. The prospects of development of solar energy in Crimea. *Sbornik nauchnykh trudov SNUNE&I*. Sevastopol, SNUNE&I, 2013, No. 1 (45). pp. 182 - 189.
2. Andreev V.M. *Fotoelektricheskoe preobrazovanie koncentrirovannogo solnechnogo izlychenia* [Photoelectric Conversion of Concentrated Solar Radiation], Nauka Publ., 1983, 405 p.
3. Rauschenbach G. *Spravochnik po proektirovaniu solnechnykh batarei* [Guide for the design of solar panels], Moscow, Energoatomizdat Publ., 1983, 397 p.
4. Koltun M.M. *Optika i metrologia solnechnykh elementov* [Optics and Metrology of solar cells]. Moscow, Nauka Publ., 1985, 300 p.
5. Arbuzov U.D. Basics of photovoltaics. Moscow, GNU VIES, Publ., 2007, 292 p.

6. Kondratev K.Y. Actinometry. L.: Gidrometeoizdat, 1965, 220 p.
7. Kuvshinov V.V. Measuring the transparency of glass for solar installations *Sbornik nauchnykh trudov NAN Ukraine*. Sevastopol, MSU, 2006. No. pp. 73 – 77.
8. Alferova J.I. *Ptsppektivi fotoelektricheskogo metoda preobrazovania solnechnoi energii*. ICPAS USSR, Publ., 1981.

ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ

УДК 621.182.12:621.1.003

Исследование изменения β -активности модельных растворов при использовании нанопорошка диоксида кремния в присутствии катионов Na^+ , Mg^{2+} и Fe^{3+} С.А.Федорова¹, Е.А.Магдыч², Ю.А.Кухта³¹Севастопольский государственный университет, г.Севастополь, 299033, Россия, s.a.fedorova@sevsu.ru,²Севастопольский государственный университет, г.Севастополь, 299033, Россия, eamacdych@sevsu.ru,³Севастопольский государственный университет, г.Севастополь, 299033, Россия

Статья поступила 31.08.2017 г.; после доработки 04.09.2017 г.

Аннотация

В работе приведены данные исследования по определению изменения β -активности модельных растворов. Модельные растворы представляют собой различные компоновки по концентрации и наличию нанопорошка диоксида кремния, катионов Na^+ , Mg^{2+} и Fe^{3+} .

Ключевые слова: β -активность, Na^+ , Mg^{2+} , Fe^{3+} , модельный раствор.

A study of the change in the beta activity of model solutions using nanopowder silicon dioxide in the presence of cations of Na^+ , Mg^{2+} and Fe^{3+} S.A.Fedorova¹, E.A. Magdych², Yu.A.Kukhta³¹Sevastopol State University, Sevastopol, 299033, Russia, s.a.fedorova@sevsu.ru,²Sevastopol State University, Sevastopol, 299033, Russia, eamacdych@sevsu.ru,³Sevastopol State University, Sevastopol, 299033, Russia

Received 31.08.2017 y.; received in final form 04.09.2017 y.

Abstract

This paper presents data on the study of the change in the beta activity of model solutions. Model solutions are different layouts for the concentration and the presence of silicon nanopowder, Na^+ , Mg^{2+} and Fe^{3+} cations.

Keywords: β -activity, Na^+ , Mg^{2+} and Fe^{3+} model solution.

Введение

Актуальность выбранной темы обусловлена в рамках задания по снижению радиоактивной нагрузки на окружающую среду, в соответствии с Положением о Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору, утвержденному постановлением Правительства Российской Федерации от 30 июля

2004 г. N 401. «Основные правила учета и контроля снижения активности радиоактивных растворов» (НП-067-11) [1]. Снижение активности технологических сред позволит как снизить дозовые нагрузки на окружающую среду, так и высвободить средства, выделяемые на эти мероприятия.

В работах [2-6] показана целесообразность

использования нанопорошка диоксида кремния для снижения активности технологических сред. Представляет интерес исследовать влияние компонентов технологической среды, в частности разнозарядных катионов, на снижение активности модельных растворов.

Объектом исследования является β -активность модельных растворов. Модельные растворы представляют собой насыщенный раствор KCl с различными концентрациями нанопорошка диоксида кремния и разнозарядных катионов.

Постановка задачи.

1. Разработать методику экспериментального исследования снижения активности модельной среды нанопорошком диоксида кремния, в присутствии разноименных катионов.
2. Исследовать изменение β -активности модельных растворов с течением времени.

Описание исследования. Разработка методики экспериментального исследования определения β -активности модельной среды

Исследование изменения β -активности модельных сред проводилось с использованием полного факторного эксперимента (ПФЭ). Были поставлены 3 серии опытов, в которых базовый состав модельного раствора представлял собой насыщенный раствор хлорида калия с различной концентрацией диоксида кремния (1%, 3%, 5%). В каждой серии варьировались концентрации разнозарядных катионов. В качестве факторов, влияющих на изменение целевой функции (β -активности), выбрали концентрации Na^+ (2%, 7%), Mg^{2+} (5%, 10%), Fe^{3+} (10%, 15%).

Составили матрицу планирования (таблица 1) для трех факторов. Фактор X_1 это катион Na^+ , X_2 - Mg^{2+} , X_3 - Fe^{3+} . Нижний уровень -1, соответствует минимальным значениям концентрации катионов Na^+ (2%), Mg^{2+} (5%), Fe^{3+} (10%). Верхний уровень +1, соответствует максимальным значениям концентрации катионов Na^+ (7%), Mg^{2+} (10%), Fe^{3+} (10%, 15%).

Таким образом, каждая серия опытов содержит 8 измерений с катионами Na^+ (2%, 7%), Mg^{2+} (5%, 10%), Fe^{3+} (10%, 15%) и 1% нанопорошком диоксида кремния, при постоянной концентрации KCl, с диапазоном времени 1, 3, 7, 21 дней. 8 измерений с катионами Na^+ (2%, 7%), Mg^{2+} (5%, 10%), Fe^{3+} (10%, 15%) и 3 % нанопорошком диоксида кремния, при постоянной

концентрации KCl, с диапазоном времени 1, 3, 7, 21 дней. И 8 измерений с катионами Na^+ (2%, 7%), Mg^{2+} (5%, 10%), Fe^{3+} (10%, 15%) и 5% нанопорошком диоксида кремния, при постоянной концентрации KCl, с диапазоном времени 1, 3, 7, 21 дней.

Таблица 1. Матрица планирования для трехфакторного эксперимента

Опыт	X1	X2	X3
1	+1	+1	+1
2	+1	+1	-1
3	+1	-1	+1
4	+1	-1	-1
5	-1	+1	+1
6	-1	+1	-1
7	-1	-1	+1
8	-1	-1	-1

Кроме того, были проведены контрольные замеры β -активности модельных растворов, содержащих различные комбинации исследуемых компонентов.

Таким образом, методика проведения эксперимента:

1. Определить базовый и варьируемый состав модельных сред.
2. В качестве факторов ПФЭ выбрать варьируемый состав модельных растворов.
3. Определить периодичность замеров для определения β -активности (целевой функции).
4. Составить пробы для контрольных замеров.
5. Приготовить модельные растворы с учетом параллельных проб.
6. Для повышения надежности экспериментальных данных использовать рандомизацию опытов.

Результаты выполнения экспериментального исследования

Измерения для определения β -активности проводили на радиометре УМФ – 2000.

Из каждой склянки с модельным раствором отбирали на металлическую подложку пробу 0,2мл, сушили в сушильном шкафу. Затем определяли количество импульсов на радиометре УМФ – 2000.

Для того чтобы рассчитать β -активность, необходимо знать среднее значение счета от счетного образца без фона:

$$N = N_{сч} - N_{ф}$$

где: $N_{сч}$ – счет от i -го измерения, имп.,
 $N_{ф}$ – счет от i -го фона, имп.

В нашем эксперименте N_{β} составил 32 имп.

Рассчитывали β -активность счетного образца в Бк для β -канала по формуле:

$$A_{\beta} = \frac{N_{\beta}}{t \cdot E_{\beta\beta}}, \text{ Бк.}$$

где: N_{β} - счет для β -канала, имп.,

$E_{\beta\beta}$ - чувствительность к β -излучению (табличное значение $8,2 \cdot 10^{-3}$),

t - время измерения (1000сек).

Результаты определения β -активности модельного раствора первой серии опытов приведены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты определения β -активности модельного раствора

Опыт	KCl	н/п	Na ⁺	Mg ²⁺	Fe ³⁺	1 день	3 день	7 день	21 день
1	13	1	7	10	15	11,59	10,40	8,96	8,66
2	13	1	7	10	10	11,16	10,10	8,72	8,54
3	13	1	7	5	15	10,43	8,41	8,17	7,87
4	13	1	7	5	10	9,76	8,29	8,17	7,80
5	13	1	2	10	15	9,39	8,29	7,86	7,62
6	13	1	2	10	10	9,33	8,11	7,74	7,43
7	13	1	2	5	15	8,78	7,99	7,74	7,25
8	13	1	2	5	10	8,17	7,26	7,01	7,01

В таблице 2 использованы следующие обозначения:

- KCl - β -активность насыщенного раствора KCl, Бк,
- н/п - концентрация нанопорошка диоксида кремния в модельном растворе,
- Na⁺ - концентрация катионов натрия в модельном растворе,
- Mg²⁺ - концентрация катионов магния в модельном растворе,
- Fe³⁺ - концентрация катионов железа в модельном растворе,
- 1 день - β -активность модельного раствора, измерение через 1 день после приготовления раствора, Бк (3, 7, 21 день - измерения через указанные сроки после приготовления пробы).

Результаты первой серии опытов представлены на рис. 1.

Как следует из приведенных данных, на изменения активности раствора KCl совместно с катионами Na⁺(2%,7%), Mg²⁺(5%,10%), Fe³⁺(10%,15%), при добавление 1% нанопорошка диоксида кремния, существенное влияние оказывают катионы Mg²⁺ и Fe³⁺ с максимальной

концентрацией. При содержании катиона Na⁺ с максимальной концентрацией и Mg²⁺ с минимальной концентрацией происходит незначительное снижение активности раствора KCl.

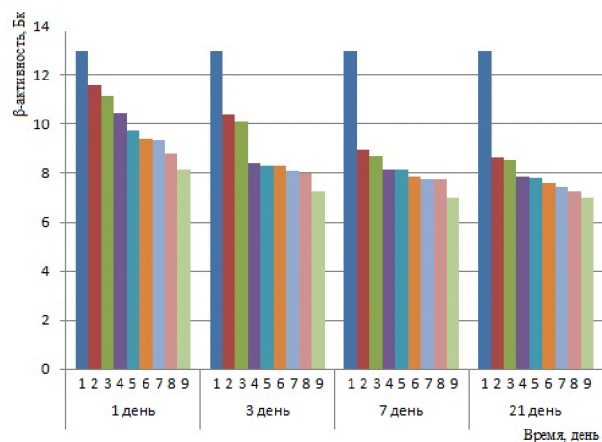


Рис. 1. Результаты определения β -активности модельных растворов в первой серии опытов

1 - KCl; 2 - KCl+7%Mg+15%Fe;
3 - KCl+7%Mg+10%Fe; 4 - KCl+7%Mg+15%Fe;
5 - KCl+2%Mg+10%Fe; 6 - KCl+2%Mg+15%Fe;
7 - KCl+2%Mg+10%Fe; 8 - KCl+2%Mg+15%Fe;
9 - KCl+2%Mg+10%Fe.

С течением времени β -активность растворов, содержащих нанопорошок диоксида кремния и катионы Na⁺, Mg²⁺ и Fe³⁺ с минимальными концентрациями плавно уменьшается.

Результаты второй серии опытов, которая отличается от предыдущей содержанием нанопорошка диоксида кремния - 3 %, представлена на рис. 2.

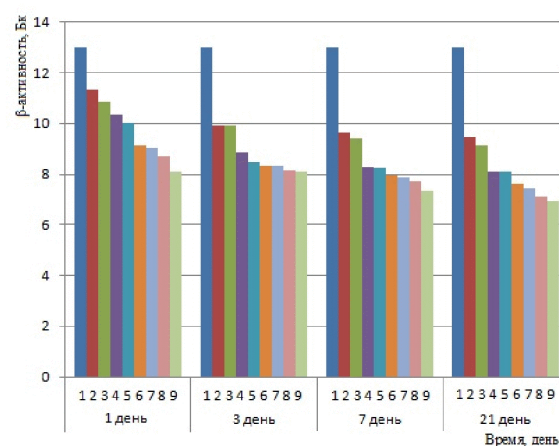


Рис. 2. Результаты определения β -активности модельных растворов во второй серии опытов.

1 - KCl; 2 - KCl+7%Mg+15%Fe;
3 - KCl+7%Mg+10%Fe; 4 - KCl+7%Mg+15%Fe;
5 - KCl+2%Mg+10%Fe; 6 - KCl+2%Mg+15%Fe;
7 - KCl+2%Mg+10%Fe; 8 - KCl+2%Mg+15%Fe;
9 - KCl+2%Mg+10%Fe.

Анализ результатов показывает, что на изменение β -активности модельных растворов KCl с различной концентрацией разнозарядных катионов - Na^+ (2%, 7%), Mg^{2+} (5%, 10%), Fe^{3+} (10%, 15%), при добавлении 5% нанопорошка диоксида кремния, заметно влияние катионов Na^+ с максимальной концентрацией, которые в период с 7 по 21 день, выравнивают свои значения. В первой и во второй сериях опытов, влияние содержания катионов натрия не отмечалось.

Можно отметить, что на изменения β -активности модельных растворов, содержащих KCl совместно с катионами Na^+ (2%, 7%), Mg^{2+} (5%, 10%), Fe^{3+} (10%, 15%), при добавлении 3% нанопорошка диоксида кремния, влияют катионы Fe^{3+} с максимальной концентрацией. В отличие от первой серии опытов с концентрацией нанопорошка диоксида кремния 1%, влияние катионов Mg^{2+} не наблюдается. В периоде с 1 по 3 день активность раствора с использованием катионов Na^+ с максимальной концентрацией и Mg^{2+} с минимальными концентрациями имеет резкий скачок снижения β -активности модельных растворов.

Совместное присутствие всех катионов с минимальной концентрацией в присутствии нанопорошка диоксида кремния существенно снижает β -активность на 21 день исследования.

Результаты третьей серии опытов, которая отличается от предыдущей содержанием нанопорошка диоксида кремния - 5 %, представлена на рис. 3.

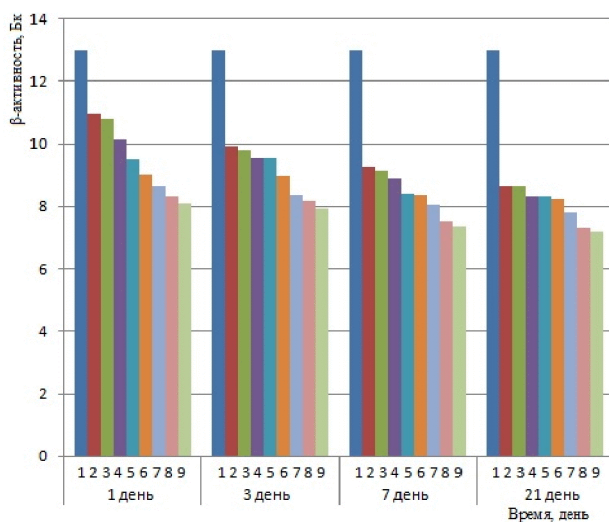


Рис. 3. Результаты определения β -активности модельных растворов в третьей серии опытов.

- 1 - KCl; 2 - KCl+7%Mg+15%Fe;
3 - KCl+7%Mg+10%Fe; 4 - KCl+7%Mg+15%Fe;
5 - KCl+2%Mg+10%Fe; 6 - KCl+2%Mg+15%Fe;
7 - KCl+2%Mg+10%Fe; 8 - KCl+2%Mg+15%Fe;
9 - KCl+2%Mg+10%Fe.

Кроме того, резкое снижение β -активности наблюдалось в модельных растворах с минимальными концентрациями Fe^{3+} и Mg^{2+} . С течением времени на снижение активности в период с 3 по 21 день влияют катионы Fe^{3+} с максимальной концентрацией.

Результаты измерений β -активности модельных сред контрольных замеров представлены на рис. 4.

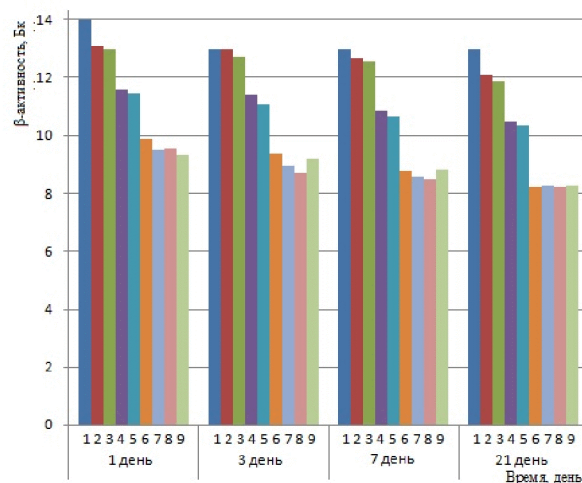


Рис. 4. Результаты определения β -активности контрольных замеров модельных растворов.

- 1 - KCl; 2 - KCl+7%Mg+15%Fe;
3 - KCl+7%Mg+10%Fe; 4 - KCl+7%Mg+15%Fe;
5 - KCl+2%Mg+10%Fe; 6 - KCl+2%Mg+15%Fe;
7 - KCl+2%Mg+10%Fe; 8 - KCl+2%Mg+15%Fe;
9 - KCl+2%Mg+10%Fe.

Контрольные замеры проводились через 1, 3, 7, 21 день для следующих модельных растворов:

- KCl - β -активность насыщенного раствора KCl, Бк,
- KCl+5% н/п - β -активность модельного раствора, состоящего из KCl и нанопорошка диоксида кремния, Бк,
- KCl+ 5% н/п+Na - β -активность модельного раствора, состоящего из KCl, нанопорошка диоксида кремния, и соли натрия, Бк,
- KCl+ 5% н/п+Mg - β -активность модельного раствора, состоящего из KCl, нанопорошка диоксида кремния, и соли магния, Бк,
- KCl+ 5% н/п+Fe - β -активность модельного раствора, состоящего из KCl, нанопорошка диоксида кремния, и соли железа, Бк,
- KCl+ 5% н/п+Na+Mg - β -активность модельного раствора, состоящего из KCl, нанопорошка диоксида кремния, и солей натрия и магния, Бк,
- KCl+ 5% н/п+Na+Fe - β -активность мо-

дельного раствора, состоящего из KCl, нанопорошка диоксида кремния, и солей натрия и железа, Бк,

- KCl+ 5% н/п+Mg+Fe - β -активность модельного раствора, состоящего из KCl, нанопорошка диоксида кремния, и солей магния и железа, Бк,

KCl+ 5% н/п+Na+Mg+Fe - β -активность модельного раствора, состоящего из KCl, нанопорошка диоксида кремния, и солей натрия, магния и железа, Бк.

В ходе проведения эксперимента наблюдали изменение β -активности раствора KCl в присутствии нанопорошка диоксида кремния совместно с катионами Na^+ (7%), Mg^{2+} (10%), Fe^{3+} (15%). Отмечено, значительно снижение активности при наличии в растворе катионов магния или железа. Наибольшее уменьшение β -активности отмечено при содержании в растворе хлорида калия с нанопорошком диоксида кремния двух и трех катионов одновременно.

Заключение

В ходе проведенных исследований предложена методика проведения эксперимента. Она предполагает определение базового и варьируемого состава модельных сред. Компановка исследуемых проб проводится с использованием ПФЭ. Опыты рандомизированы.

Были проведены экспериментальные исследования по определению изменения β -активности модельных растворов с различными концентрациями нанопорошка диоксида кремния совместно с катионами Na^+ , Mg^{2+} , Fe^{3+} .

Отмечено, что на снижение активности модельных растворов с течением времени влияют такие катионы, как Mg^{2+} и Fe^{3+} . В присутствии катионов Na^+ активность модельного раствора снижается незначительно. Совместное присутствие всех исследуемых катионов и 5% содержание нанопорошка диоксида кремния в растворе за 21 день снижает β -активность раствора на 46% от начального значения. Совместное присутствие всех катионов и наличие 1% нанопорошка диоксида кремния снижает β -активность модельного раствора на 38%.

Список литературы

1. Положение о Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору, утвержденное постановлением Правительства Российской Федерации от 30 июля 2004 г. N 401. "Основные правила учета и контроля снижения активности радиоактивных растворов" (НП-067-11).

2. Федорова С.А. Исследование влияния ионов меди, никеля, кальция, магния и pH на определение железа (III) в питьевой воде / С.А.Федорова, Д.И.Безбородова // Энергетические установки и технологии. - 2016. - Т. 2. - № 2. - С. 78-82.
3. Федорова С.А.. Использование нанопорошка диоксида кремния при дезактивации модельных растворов / С.А.Федорова, Е.А.Магдыч, Е.П.Вовк // Экология и развитие общества. МАНЭБ. - 2016. - № 2(17). - С. 45-48.
4. Федорова С.А. Использование нанопорошка оксида кремния для снижения активности технологических сред. / С.А.Федорова, А.Н.Стрюк // Материалы научно-технической конференции «Актуальные вопросы ядерно-химических технологий и экологической безопасности», г. Севастополь, 15-18 июня 2016 г. – Севастополь: СевГУ - 2016. - С. 66-70.
5. Федорова С.А. Использование нанопорошка оксида кремния для очистки водных сред, загрязненных радионуклидами. / С.А.Федорова, Е.П.Вовк // НИР «Использование нанопорошка оксида кремния для очистки водных сред, загрязненных радионуклидами», шифр «Кремний», ч.1, 52с. Зарегистр. В СЧУЯЭиП от 03.12.14г., №9.
6. <http://nano-info.ru/nanotechnologies>

References

1. The regulations on the Federal service for ecological, technological and nuclear supervision, confirmed by the governmental order of the Russian Federation of 30 July 2004 N 401. "The basic rules of accounting and control of reducing the activity of radioactive solutions" (NP-067-11).
2. Fedorova S. A., Bezborodova D. I. The Study of influence of ions of copper, nickel, calcium, magnesium and pH on the determination of iron (III) in drinking water. *Energy and technology*. - 2016. - T. 2. - No. 2. - pp. 78-82.
3. Fedorova S. A., Magdych E. A., Vovk E. P. The Use of nanopowder of silicon dioxide decontamination of model solutions. *Ecology and society. MANEB* - 2016. - № 2(17). - pp. 45-48.
4. Fedorova S. A., Stryuk A. N. The Use of nanopowder of silicon oxide for reducing the activity of technological media. *Materials of scientific conference "Topical issues of nuclear-chemical technologies and ecological safety"*, Sevastopol, June 15-18, 2016 – Sevastopol: Sevgi - 2016. - pp. 66-70.
5. Fedorova S. A., Vovk E. P. the Use of nanopowder of silicon oxide to clean vodnih environments, pollution the United radionuclides. *NIR "Using nanopowder of silicon oxide to clean vodnih environments, for strongly contaminated with radionuclides"*, code "Silicon", part 1, 52s. Reg. In Sunei from 03.12.14, №9.
6. <http://nano-info.ru/nanotechnologies>

ISSN 2413-5526

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
«ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ТЕХНОЛОГИИ»
Том 3 № 3**

**SCIENTIFIC MAGAZINE
«POWER PLANTS AND TECHNOLOGIES»
Vol. 3 No 3**

Учредитель и издатель:

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»
ул. Университетская, 33. Севастополь, 299053, Российская Федерация

Адрес редколлегии:

ИЯЭиП, ул. Курчатова, 7. Севастополь, 299015, Российская Федерация
E-mail nauchnyyzhurnal@mail.ru
тел. +7(8692) 71-01-64.

Редакция не несет ответственности за нарушение авторами исключительных прав на результаты интеллектуальной деятельности третьих лиц. Мнения, высказываемые авторами в публикуемых статьях, не всегда совпадают с мнением редакции. При перепечатке материалов ссылка на научный журнал «Энергетические установки и технологии» обязательна.

Научный журнал «Энергетические установки и технологии» издается в авторской редакции.

Компьютерная верстка: *Е.А. Нестерова, А.А. Чуклин*

Подписано к печати 02.10.2017. Изд. № 80/17. Зак. 49/17. Тираж 65 экз.
Объем 10,5 п.л. Усл. печ. л. 9,76. Уч.-изд. л. 10,29. Формат бумаги 60 x 84 1/8

РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»