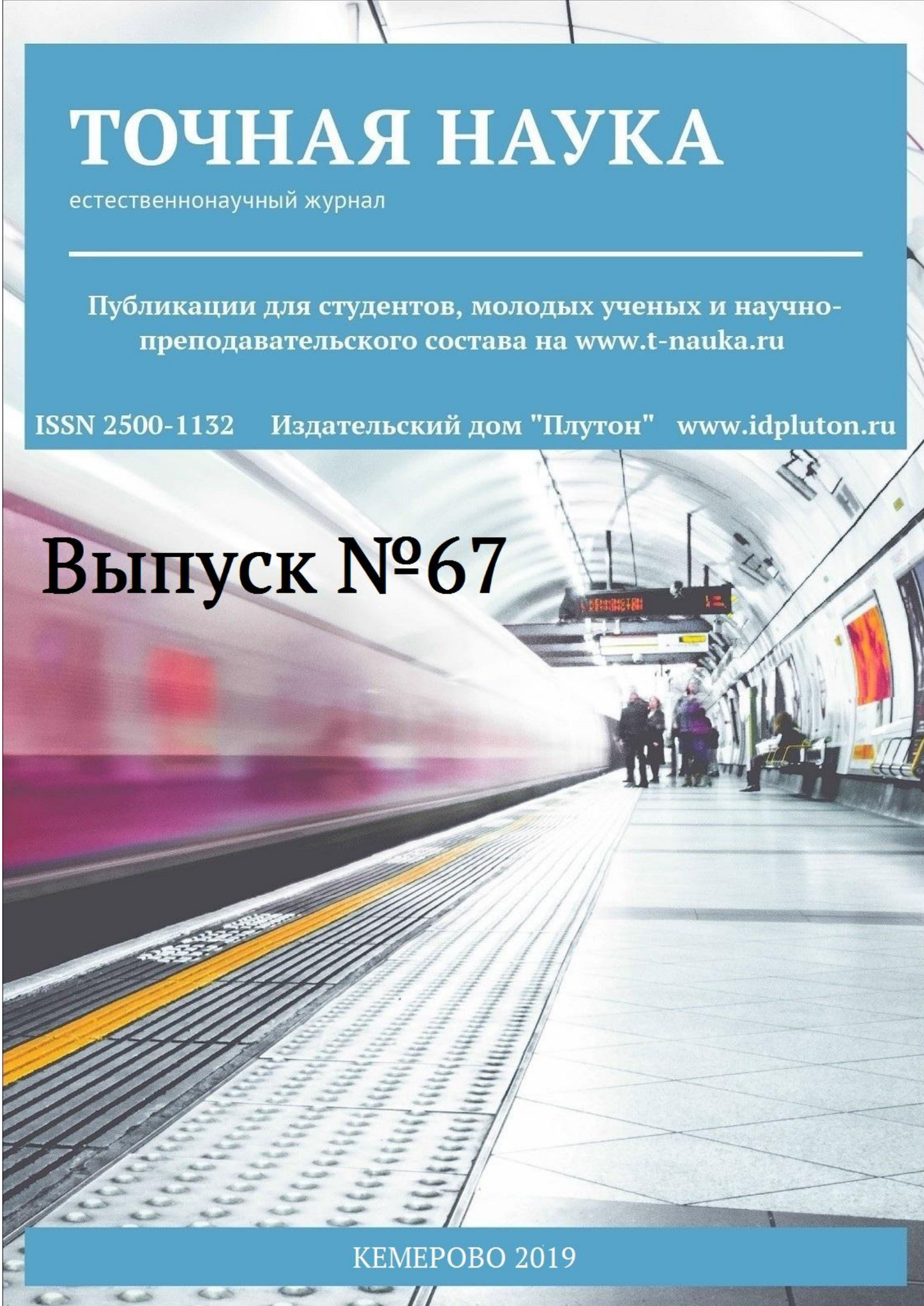
ТОЧНАЯ НАУКА

естественнонаучный журнал

Публикации для студентов, молодых ученых и научно-преподавательского состава на www.t-nauka.ru

ISSN 2500-1132 Издательский дом "Плутон" www.idpluton.ru



Выпуск №67

КЕМЕРОВО 2019

23 декабря 2019 г.
ББК Ч 214(2Рос-4Ке)73я431
ISSN 2500-1132
УДК 378.001
Кемерово
Журнал выпускается ежемесячно, публикует статьи по естественным наукам. Подробнее на www.t-nauka.ru
За точность приведенных сведений и содержание данных, не подлежащих открытой публикации, несут ответственность авторы.
Редкол.:
Никитин Павел Игоревич - главный редактор, ответственный за выпуск журнала
Баянов Игорь Вадимович - математик, специалист по построению информационно-аналитических систем, ответственный за первичную модерацию, редактирование и рецензирование статей
Артемасов Валерий Валерьевич - кандидат технических наук, ответственный за финальную модерацию и рецензирование статей
Зимина Мария Игоревна - кандидат технических наук, ответственный за финальную модерацию и рецензирование статей
Нормирзаев Абдукаюм Рахимбердиеви - кандидат технических наук, Наманганский инжинерно-строительный институт (НамМПИ)
Безуглов Александр Михайлович - доктор технических наук, профессор кафедры математики и математического моделирования, Южно-российский государственный политехнический университет (Новочеркасский политехнический институт) им. М.И .Платова,
Наджарян Микаел Товмасович - кандидат технических наук, доцент, Национальный политехнический университет Армении
Шушлебин Игорь Михайлович - кандидат физико-математических наук, кафедра физики твёрдого тела Воронежского государственного технического университета
Равшанов Дилшод Чоршанбиевич - кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Технология, машины и оборудования полиграфического производства», Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими
Крутякова Маргарита Викторовна – доцент, кандидат технических наук, Московский политехнический университет
Гладков Роман Викторович - кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации вооружения и военной техники Рязанского гвардейского высшего воздушно-десантного командного училища
Моногаров Сергей Иванович - кандидат технических наук доцент Армавирского механико-технологического института (филиал) ФГОУ ВО КубГТУ
Шевченко Сергей Николаевич - кандидат технических наук, доцент кафедры СЭУ, Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота РФ
Отакулов Салим - Доктор физико-математических наук, профессор кафедры высшей математики Джизакского политехнического института
А.О. Сергеева (ответственный администратор)[и др.];

Естественнонаучный журнал «Точная наука», входящий в состав «Издательского дома «Плутон», был создан с целью популяризации естественных наук. Мы рады приветствовать студентов, аспирантов, преподавателей и научных сотрудников. Надеемся подарить Вам множество полезной информации, вдохновить на новые научные исследования.

Издательский дом «Плутон» www.idpluton.ru e-mail: admin@idpluton.ru
Подписано в печать 23.12.2019 г. Формат 14,8×21 1/4. | Усл. печ. л. 2.2. | Тираж 500.
Все статьи проходят рецензирование (экспертную оценку).
Точка зрения редакции не всегда совпадает с точкой зрения авторов публикуемых статей.
Авторы статей несут полную ответственность за содержание статей и за сам факт их публикации.
Редакция не несет ответственности перед авторами и/или третьими лицами и организациями за возможный ущерб, вызванный публикацией статьи.
При использовании и заимствовании материалов ссылка обязательна.

Содержание

1. ТЕОРЕМА СУЩЕСТВОВАНИЯ РЕШЕНИЯ БЕСКОНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ ОБЫКНОВЕННЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ……..……...2
Танкиев И.А., Кодзоева А.А., Газдиева М.А., Шадиева А.С.
2. ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ.……...6
Мулюкова А.Ф.
3. К ПРОБЛЕМЕ МИКРОВОЛНОВОГО ФОНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ВО ВСЕЛЕННОЙ……..…..22
Ломашевич С.А..
4. УСТАНОВКИ ПОЖАРОТУШЕНИЯ НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ…….....27
Бизюкова Е.Е., Яковлева А.Е.
5. СРАВНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ОПТОВОГО РЫНКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ПУТИ СНИЖЕНИЯ ЦЕН НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ ДЛЯ ПОКУПАТЕЛЕЙ.…….…..…… ……..……....30
Черниченко А.В., Шурупов В.В.
6. УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМИ СЛОЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ В СИСТЕМАХ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ…….……..……....34
Каюков И.Ю., Константинов А.В., Жалилова А.А.
7. ИННОВАЦИИ В НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ……..……..……....40
Кузьмин А.С.
8. СТРОИТЕЛЬСТВО СКВАЖИН В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ……...42
Кузьмин А.С
9. ГЛАВНОЕ О СУДАХ С МАЛОЙ ПЛОЩАДЬЮ ВАТЕРЛИНИИ……..……...44
Дубровский В.А.

Танкиев Исмаил Аюпович
Tankiev Ismail Ayupovich
профессор
математических наук, научный руководитель статьи
Ингушский Государственнный Университет

Кодзоева Амина Асламбековна
Kodzoeva Amina Aslambekovna
студентка физико-математического факультета
Ингушский Государственнный Университет
E-mail: aminat.kodzoeva18@yandex.ru

Газдиева Марьям Алиевна
Gazdieva Maryam Alievna
студентка физико-математического факультета
Ингушский Государственнный Университет
E-mail: gazdieva_maryam@mail.ru

Шадиева Ашат Салмановна
Shadieva Ashat Salmanovna
студентка физико-математического факультета
Ингушский Государственнный Университет
E-mail: aisha.shadieva.98@bk.ru

УДК 517.926.4

ТЕОРЕМА СУЩЕСТВОВАНИЯ РЕШЕНИЯ БЕСКОНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ ОБЫКНОВЕННЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

THEOREM OF EXISTENCE OF SOLUTION OF INFINITE SYSTEM OF ORDINARY DIFFERENTIAL EQUATIONS

Аннотация: В статье актуальность решения систем дифференциальных уравнений.
Abstract: the article deals with the relevance of solving systems of differential equations. equations'.
Ключевые слова: теорема, доказательство, система, пространство.
Key words: theorem, proof, system, space.

Первой по времени теоремой существования и единственности решения бесконечной системы нелинейных дифференциальных уравнений

$$\frac{dy_k}{dx} = f_k(x, y_1, y_2, \dots) \quad (k = 1, 2, \dots) \tag{1}$$

была теорема, принадлежащая А. Н. Тихонову.

Относительно правых частей системы (1) предполагается, что:

1) функции $f_k(x, y_1, y_2, \dots)$ определены при $0 \le x - x_0 \le a$ в области D: $\left|y - y_k^0\right| \le b \quad (k = 1, 2 \dots)$,

2) функции $f_k(x, y_1, y_2, \dots)$ непрерывны по совокупности переменных $y_1, y_2, \dots$ при фиксированном x,

3) при фиксированных $y_1, y_2, \dots$ функции $f_k(x, y_1, y_2, \dots)$ измеримы по x,

4) при произвольном выборе переменных $y_1, y_2, \dots$ из области D функции $f_k(x, y_1, y_2, \dots)$ удовлетворяют условиям

$$|f_k(x, y_1, y_2, \dots)| \le M(x) \tag{2}$$

для всех $k = 1, 2, \dots$, где $M(x) -$ функция положительная, суммируемая в отрезке: $0 \le x - x_0 + a$,

5) интеграл Лебега от функции $M(x)$ ограничен

$$\int_{x_0}^{x_0+a} M(x)dx < h.$$

Итак, рассмотрим бесконечную систему (1).

Теорема. (А. Н. Тихонов). Если выполняются условия 1)–5), то существует, по крайней мере, одна система решений $y_1(x), y_2(x), \dots$ системы уравнений (1), удовлетворяющая начальным условиям

$$y_k(x_0) = y_0^k \quad (k = 1, 2 \dots), \tag{3}$$

где $y_0^k -$ произвольная система начальных значений.

Доказательство: Заметим, что если в функции $f_k(x, y_1, y_2, \dots)$ вместо $y_1, y_2, \dots$ подставить измеримые функции $\varphi_1(x), \varphi_2(x), \dots$, определенные в промежутке $x_0 \le x \le x_0 + a$, то в результате получим измеримые и ограниченные функции

$$\varphi_k(x) = f_k[x, \varphi_1(x), \varphi_2(x), \dots] \quad (k = 1, 2 \dots),$$

которые, следовательно, являются интегрируемыми по x.

Заменим систему дифференциальных уравнений (1) системой интегральных уравнений

$$y_k(x) = y_0^k + \int_{x_0}^{x} f_k(\tau, y_1(\tau), y_2(\tau), \dots)d\tau \quad (k = 1, 2 \dots) \tag{4}$$

и рассмотрим соответствующее ей функциональное преобразование

$$z_k(x) = y_0^k + \int_{x_0}^{x} f_k(\tau, y_1(\tau), y_2(\tau), \dots)d\tau \quad (k = 1, 2 \dots), \tag{5}$$

ставящее в соответствие всякой счетной системе непрерывных функций $y_1(x), y_2(x), \dots$ другую систему функций $z_1(x), z_2(x), \dots$.

Если существует система, инвариантная при этом преобразовании, то она представляет собой решение интегральных уравнений (4), а следовательно, и системы дифференциальных уравнений (1), удовлетворяющее начальным условиям (3).

Рассмотрим пространство C^∞, за точку которого возьмем счетную совокупность непрерывных функций $\{\varphi_k(x)\}$, равноограниченных некоторым числом K, называемых компонентами или координатами этой точки. Пусть точки P и Q этого пространства имеют соответственно координаты $\varphi_j(x),\ \psi_j(x)\ (j = 1, 2 \dots)$. Запишем это так:

$$P = (\varphi_1(x), \varphi_2(x), \dots), \qquad Q = \psi_1(x), \psi_j(x), \dots).$$

Введем теперь в пространстве C^∞ метрику, т.е. определим расстояние $\rho(P, Q)$ между двумя точками этого пространства следующим образом:

$$\rho(P, Q) = \sup_{k,t} |\varphi_k(x) - \psi_k(x)|, \quad (x_0 \le x \le x_0 + a,)\ (k = 1, 2 \dots).$$

Пространство C^∞ будет полным метрическим пространством. Норму элементов $\Phi(x) = (\varphi_1(x), \varphi_2(x), \dots)$ пространства C^∞ определим следующим образом:

$$\Phi(x) = \sup_k \max_t |\varphi_k(x)| \quad (x_0 \le x \le x_0 + a,)\ (k = 1, 2 \dots).$$

Пространство C^∞ будет полным линейным нормированным пространством.

Возьмем в пространстве C^∞ множество B, состоящее из точек $y(x) = (y_1(x), y_2(x), \dots)$, координаты которых удовлетворяют условиям:

$$1°. \quad |y_k(x) - y_k^0| \le \int_{x_0}^{x} M(\tau)d\tau \qquad (k = 1, 2 \dots);$$

$$2°. \quad |y_k(x') - y_k(x'')| \le \int_{x'}^{x''} M(\tau)d\tau \qquad (k = 1, 2 \dots).$$

Покажем, что множество B является замкнутым, выпуклым и компактным. Действительно, пусть $P_i\left(y_1^{(i)}, y_2^{(i)}, \dots\right)(i = 1, 2, \dots)$ счетная последовательность точек из B, координаты которых функции $y_k^{(i)}(x)$, согласно 1° и 2°, равномерно ограничены и равностепенно непрерывны. Тогда по теореме Арцела из последовательности $\left\{y_k^{(i)}(x)\right\}$ можно выбрать подпоследовательность $\left\{y_1^{n_1(i)}\right\}$, равномерно сходящуюся к некоторой функции $y_1(x)$.

Аналогично из последовательности $\left\{y_2^{n_1(i)}\right\}$ можно выбрать подпоследовательность $\left\{y_2^{n_2(i)}\right\}$, равномерно сходящуюся к $y_2(x)$ и т.д. Таким образом, последовательность точек $\left\{P_{n_k}^{(k)}\right\}$ сходится к точке $P=(y_1(x),y_2(x),\dots)$, так как

$$y_m(x)=\lim_{k\to\infty} y_m^{n_k(k)}$$

равномерно для всякого m.

Итак, для любого i совокупность координат $\left\{y_k^{(i)}(x)\right\}$ оказалась компактной.

Если точки $P_i\left(y_1^{(i)},y_2^{(i)},\dots\right)(i=1,2,\dots)$ принадлежат множеству B, то и точка $P(y_1(x),y_2(x),\dots)$ принадлежит множеству B, так как условия 1° и 2° допускают предельный переход. Так что условие замкнутости множества B выполняется.

Если $P'=(y_1',y_2',\dots)$, $P''=(y_1'',y_2'',\dots)$ – две точки множества B, то точка

$$\alpha P'+\beta P''=(\alpha y_1'+\beta y_1'',\alpha y_2'+\beta y_2'',\dots)\ (\alpha+\beta=1,\alpha>0,\beta>0)$$

принадлежит тому же множеству, так как она соответствует системе функций

$$\alpha y_1'(x)+\beta y_1''(x),\alpha y_2'(x)+\beta y_2''(x),\dots,$$

определяющей точку множества B. Отсюда следует, что множество B выпуклое.

Докажем теперь, что преобразование (5) непрерывно.

Пусть $P=(y_1,y_2,\dots)$ – предел последовательности точек

$$P_i\left(y_1^{(i)},y_2^{(i)},\dots\right),A(P)=(z_1,z_2,\dots),\qquad A(P_i)=\left(z_1^{(i)},z_2^{(i)},\dots\right),$$

т. е. $A(P)$ –оператор, определяемый уравнениями (2.5). Тогда получим:

$$\rho\left(A(P),A(P_i)\right)=\sup_{n,x}\left|z_n-z_n^{(i)}\right|\le$$

$$\le\sup_n\int_{x_0}^{x_0+a}\left|f_n(\tau,y_1,y_2,\dots)-f_n(\tau,y_1^{(i)},y_2^{(i)},\dots)\right|d\tau. \qquad (6)$$

Согласно условиям теоремы, для $\forall\ \mathcal{E}>0$ существуют такие $\delta>0$ и N_0, что из условий

$$|y_k-y_k'|<\delta\quad(k=1,2,\dots,N_0)$$

следует

$$|f_n(x,y_1,y_2,\dots)-f_n(x,y_1',y_2',\dots)|<\mathcal{E}. \qquad (7)$$

Выбирая i достаточно большим в силу (7), получаем

$$\left|z_n-z_n^{(i)}\right|<a\mathcal{E},$$

что доказывает непрерывность преобразования (5).

Покажем теперь, что система функций $z_1(x),z_2(x),\dots$, определяемая равенствами (5), принадлежит вновь множеству B.

Действительно, условия 1° и 2° выполняются и для этих функций:

$$\left|z_k(x)-y_k^0\right|\le\int_{x_0}^{x}M(\tau)d\tau,$$

$$|z_k(x')-z_k(x'')|\le$$

$$\le\int_{x'}^{x''}|f_k(\tau,y_1,y_2,\dots)|d\tau\le\int_{x'}^{x''}M(\tau)d\tau\ (k=1,2,\dots,x''\ge x').$$

Таким образом, в полном линейном нормированном пространстве C^∞ непрерывный оператор $A(P)$ отображает замкнутое, выпуклое и компактное множество B в его часть. Пользуясь теоремой Шаудера, можно заключить, что при этом отображении существует хотя бы одна неподвижная (инвариантная) точка P^*. Система функций $y_1(x),y_2(x),\dots$, соответствующая этой точке P^*, и будет являться решением системы интегральных уравнений (4) или задачи (1)–(3).

Библиографический список:

1. Исраилов С. В., Юшаев С. С. Многоточечные и функциональные краевые задачи для обыкновенных дифференциальных уравнений. Нальчик, «Эль-Фа» 2014 г.

2. Исраилов С. В. Исследование некоторых многоточечных краевых задач для обыкновенных дифференциальных уравнений с непрерывными правыми частями и с сингулярностью: Дис. канд. физ.- мат. наук. Баку. 1964 г.

3. Валеев К. Г., Жаутыков О. А. Бесконечные системы дифференциальных уравнений. Алма – Ата, 2012 г.
4. Н. М. Матвеев. Методы интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений. Москва, 2015 г.

Мулюкова Алсу Фазыловна
Mulyukova Alsu Fazylovna
Студентка Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, Инженерно-строительный институт, направление «Строительство уникальных зданий и сооружений»

УДК 620.9

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

INCREASE OF ENERGY EFFICIENCY OF TRANSLUCENT STRUCTURES

Аннотация. Выявлены тенденции роста объемов остекления в общем объеме ограждающих конструкций, что связано с необходимостью повышения архитектурной выразительности зданий и решения задач инсоляции. Определено, что увеличение светового проема положительно сказывается на повышении инсоляции помещений, но требует большего расхода энергоресурсов на их обогрев в связи с увеличением зон теплопотерь. Установлена актуальность исследований, направленных на повышение энергоэффективности светопрозрачных конструкций (СК). Определена возможность снижения теплопотерь за счет увеличения слоев остекления и повышения качества стекол. Показана перспективность использования металлизированных и полимерных покрытий для повышения уровня теплозащиты в зимний период и применения термо-, фото- электрохромных пленок во внутренних слоях конструкции для экономии энергии на кондиционирование в летний. Установлена недостаточность комплексных исследований систематизирующих направления, результативность и практическую применимость способов повышения энергоэффективности СК. Систематизированы представления о перспективных направлениях повышения энергоэффективности СК и выявлены наиболее эффективные материалы и конструктивные решения для последующих экспериментальных исследований.

Annotation. Tendencies in the growth of glazing volumes in the total volume of enclosing structures are revealed, which is connected with the need to increase the architectural expressiveness of buildings and solve the problems of insolation. It is determined that the increase in the light opening has a positive effect on increasing the insolation of the rooms, but requires a greater expenditure of energy resources for their heating in connection with the increase in heat loss zones. The relevance of research aimed at improving the energy efficiency of translucent structures (TS) is established. The possibility of reducing heat loss due to the increase in the glazing layers and the improvement of the quality of the glasses is determined. The prospects of using metallized and polymer coatings for increasing the level of thermal protection in winter and the use of thermo-, photo-electrochromic films in the inner layers of the structure to save energy for air conditioning in the summer are shown. The inadequacy of complex studies of systematizing trends, effectiveness and practical applicability of ways to increase the energy efficiency of the TS is established. The views on the future directions of improving the energy efficiency of the TS are systematized and the most effective materials and design solutions for subsequent experimental studies are identified.

Ключевые слова: Светопрозрачные конструкции, стекло, энергоэффективность, тепловые потери, низкоэмиссионное покрытие, пленка, обрамление, коэффициент теплопередачи, эмисситент, инсоляция.

Key words: Translucent structures, glass, energy efficiency, heat losses, low-emissive coating, film, framing, heat transfer coefficient, emission, insolation.

1. Введение

Современное строительство характеризуется необходимостью возведения энергоэффективных зданий и минимизации теплопотерь через ограждающие конструкции (ОК). Одним из направлений повышения энергоэффективности зданий является снижение теплопотерь через оконные системы, также называемые светопрозрачными конструкциями (СК). Известно, что именно через СК регистрируется наибольший уровень теплопотерь – до 50% (в зависимости от года постройки, срока эксплуатации, этажности и др. характеристик здания) от общего объема теплопотерь через ОК [1].

В настоящее время наблюдается рост объемов остекления в общем объеме ОК, что связано с необходимостью повышения архитектурной выразительности зданий и решения задач инсоляции. Увеличение светового проема положительно сказывается на повышении инсоляции помещений, но

требует большего расхода энергоресурсов на их обогрев. Устранение данного противоречия возможно за счет оптимизации размеров оконных проемов методами математического моделирования на этапе проектирования здания, так, чтобы достигалось снижение теплопотерь через СК и обеспечение требований инсоляции [2].

Проектирование СК требует учета размеров и дизайна остекления, ориентации здания, климатических условий и термооптических свойств СК [3]. При этом сохраняется проблема недостаточной теплозащиты зданий, что требует использования современных материалов и перспективных конструктивных решений при возведении СК [4]. Соответственно, актуальность данного исследования связана с необходимостью выявления способов снижения теплопотерь за счет повышения энергоэффективности СК.

В общем виде объем теплопотерь через СК определяется составом и толщиной остекления, особенностями рамных конструкций, свойствами герметизирующих материалов (пен) и качеством заполнения ими при установке. Энергоэффективность СК связана с суммарным коэффициентом теплопередачи остекления, рам, изоляции, но также зависит от потерь тепла через мостики холода в местах соединения СК с элементами ОК [5].

Повышение энергоэффективности СК возможно за счет использования материалов остекления с улучшенными свойствами, в связи со значительными теплопотерями непосредственно через стекла. В качестве примера можно отметить К-стекла с твердым покрытием оксидов металлов и еще более энергоэффективные I-стекла с послойным напылением серебра и диэлектриков и пр. [6]. Кроме того, СК на основе современных энергоэффективных стекол в виде однослойной конструкции позволяют экономить на 25% больше теплоэнергии, также, при масштабном освоении технологии и организации массового производства энергоэффективных однокамерных пакетов их стоимость будет незначительно выше двухкамерных стандартных стеклопакетов [7].

Для оценки годового энергосбережения СК на основе коэффициента пропускания солнечной энергии и показателя эмисситента поверхности для окон с различным числом остекления, различными покрытиями, с переменным коэффициентом пропускания и переключаемых окон разработаны различные математические модели, позволяющие прогнозировать энергоэффективность ОК [8].

Комплекс мероприятий по повышению энергоэффективности представлен в зарубежных изданиях следующими способами: многослойностью остекления, использованием металлизированных и полимерных покрытий, высокоэффективными стеклами с низким эмисситентом, высокопроизводительными конструкциями рам, заполнением низкоконцентрированными газами, использованием подвесных пленок во внутренних слоях конструкции. При этом суспензионные пленки исключают необходимость трехслойного остекления, что снижает вес СК, а также являются теплостойкими и устойчивыми к УФ-деградации. Такие низкоэмиссионные покрытия снижают длинноволновую теплопередачу до 10 раз, уменьшая общий теплообмен и теплопотери [9].

Для сокращения теплопотерь через СК используются дополнительные воздушные прослойки и экраны из теплозащитных материалов в межстекольном пространстве. Известны разработки конструкций вакуумных СК, препятствующих конвективному выносу тепла и позволяющих снизить вес оконных изделий с повышением их энергоэффективности [10].

В случае суперизолированных высокозастекленных домов в условиях жаркого климата существует потребность в СК с пониженным коэффициентом пропускания дневного света, для чего используются покрытия, воспринимаемые как серые, так чтобы помещения были более затемненными. При этом для достижения оптимального баланса между инсоляцией и энергоэффективностью, снижения затрат на кондиционирование помещений и обеспечение комфортного микроклимата, могут использоваться затеняющие устройства и многослойные покрытия на стеклах [11, 12]. С другой стороны, низкоэмиссионные оптические покрытия для повышения энергоэффективности стекол способствуют прохождению внешнего ИК-излучения внутрь помещения, но препятствуют выходу ИК-излучения отопительных приборов, что гарантирует теплозащиту, но также приводит к снижению комфортности микроклимата, за счет повышения температуры вблизи остекления. В этой связи перспективно создание электрообогреваемых оконных систем [13, 14].

Известна возможность получения высокоэнергетических стекол путем заполнения межстекольного пространства гранулированным диоксидом кремния (аэрогелем), что позволяет

повышать энергосбережение при реконструкции зданий. Установка таких СК снижает потребление энергии как на кондиционирование в летний период, так и на обогрев - в зимний [15]. Также разработаны фотохромные и термохромные СК, которые автономно регулируют свой оттенок в зависимости от изменений освещенности и температуры соответственно [16-19]

Энергоэффективность СК также зависит от вида материала обрамляющих конструкций. Так, кроме традиционных деревянных, алюминиевых и поливинилхлоридных конструкций, склонных к усадке и старению, перспективным материалом обрамления СК является стеклокомпозит на основе стекловолокна и полиэфирных смол, отличающийся стойкостью к атмосферным и температурным колебаниям, низкой теплопроводностью и возможностью изготовления рам в различных дизайнерских и цветовых решениях, со сроком эксплуатации до 70 лет [20-22].

Оценка теплозащитных свойств СК для принятия решения о необходимости повышения энергоэффективности производится с применением тепловизионного контроля, расчета теплопотерь по стандартным методикам и сравнениях их с нормативными значениями [23-25].

Анализ литературных данных свидетельствует о наличии исследований направленных на повышение энергоэффективности СК отдельными способами, в частности посредством создания многослойного остекления, использования металлизированных и полимерных покрытий, разработки высокоэффективных стекол с низким эмисситентом, применения термо-, фото-, электрохромных пленок во внутренних слоях конструкции, а также использования различных материалов обрамления СК. Однако не выявлено комплексных аналитических исследований, систематизирующих направления, результативность и практическую применимость способов повышения энергоэффективности СК, что требует проведения дополнительных теоретико-методологических изысканий.

Целью данного исследования является систематизация представлений о перспективных направлениях повышения энергоэффективности СК, с выявлением наиболее эффективных материалов и конструктивных решений для последующих экспериментальных исследований. Задачами исследования являются:

- установление эффективности снижения теплопотерь за счет материалов стекол и объема стеклопакета;
- определение результативности металлизированных, полимерных покрытий в повышении энергоэффективности СК;
- обобщение результатов влияния термо-, фото- электрохромных покрытий, межстекольных заполнителей и лучепоглощающих газов на энергосбережение;
- выявление перспективных материалов обрамления и особенностей изменения конструкции стеклопакетов и оснастки, повышающих энергоэффективность СК.

Материалы и методы исследования

Материалами исследования служили научные публикации, диссертационные исследования, нормативные документы, патенты на изобретения российских и зарубежных авторов. Общие проблемы энергосбережения зданий, в том числе за счет СК и фасадных систем рассмотрены в работах Ватина Н.И., Горшкова А.С., Гагарина В.Г., Козлова В.В., Немовой Д.В., Берегового А.М. и др., где показана эффективность отдельных инженерно-технических решений, технологий, устройств и конструкций в энергосбережении [26-30], комплексное использование которых в ОК позволит снизить энергопотребление до 80% [31,32].

Согласно российским и иностранным нормативным документам выявлены различия в требуемых значениях приведенного сопротивления теплопередаче, служащего основой для сравнения энергоэффективности СК (окон и балконных дверей). Так, по СП 50.13330.2012 [33] – 0,49 $м^{2}{}^{0}С/Вт$; СНиП 23-02-2003 [34] – 0,52 $м^{2}{}^{0}С/Вт$; по стандарту Финляндии - National Building Code of Finland, Part D3 (NBC D3) [35] – 1,0 $м^{2}{}^{0}С/Вт$ [36]. Соответственно, интерес представляли исследования, направленные на снижение теплопередачи и повышение энергоэффективности СК.

В материалах Стерлигова В.В., Слажневой К.С., Стратия П.В., Тарасовой Д.С., Karlsson J., Carmody J., Bullow-Hube H., Cheong C.H. и других российских и зарубежных ученых рассмотрены различные преобразования стеклопакета, связанные с изменением числа камер и межстекольного расстояния, применения энергоэффективных стекол и заполнителей, использованием материала профиля с низкой теплопроводностью [8, 9, 11, 12, 37-39].

В качестве методов данного исследования использовались эмпирические и теоретические методы. Теоретическими методами исследования служили – анализ, синтез, сравнение, обобщение,

выявление противоречий. В качестве эмпирических методов использованы: метод-операция – изучение литературы, документов и результатов; методы-действия – изучение и обобщение опыта, ретроспективный анализ [40].

3. Объем стеклопакета и покрытия стекол в снижении теплопотерь

Важность повышения энергоэффективности за счет СК подчеркивается Feng G. с соавторами, указывающими на нецелесообразность бесконечного увеличения толщины стен в холодных регионах, и, соответственно, на необходимость выбора СК с минимальным коэффициентом теплопередачи, не более 0,5 Вт/м^{2}ᵡК [41].

Наиболее традиционными конструкциями оконных систем различных стран являются либо двухстекольные раздельно-спаренные, либо однокамерные окна, сопротивление теплопередаче которых составляет 0,32-0,38 м^{2}ᵡК/Вт, что является недостаточным значением. С другой стороны, исследователи отмечают, что при применении трех- и 4-стекольных окон, снижается светопропускание. Так, теплозащитные свойства трехстекольных окон в раздельно-спаренных переплетах значительно выше и сопротивление теплопередаче составляет 0,46-0,6 м^{2}ᵡК/Вт, однако, одновременно, светопропускание понижается на 15-25%. Увеличение площади остекления для повышения освещенности также приводит к противоречию, т.к. повышенная площадь СК, снижает теплоизолирующий эффект тройного остекления [39].

При этом в исследованиях зарубежных авторов показано, что снижение теплопотерь в СК с тройным стеклопакетом менее выражено, чем в трехстекольном соединенном окне по принципу 1+2, с двумя рамами, где внутренняя рама имеет двойной стеклопакет. В такой конструкции СК снижаются теплопотери по краю СК, за счет сокращения «мостиков холода» [11].

Так, в традиционных оконных системах, коэффициент теплопередачи СК с одинарным стеклопакетом составляет 5,6 Вт/м^{2}ᵡК, с двойным – 2,3 Вт/м^{2}ᵡК, с тройным – 0,8 Вт/м^{2}ᵡК. Дополнительное сокращение теплопередачи через ОК в многоквартирном доме на 2-3% возможно за счет устранения мостиков теплопотерь по периметру СК и на 10-12% посредством остекления балконов и лоджий [5]. Несмотря на наличие лабораторных и опытно-промышленных разработок СК с приведенным сопротивлением теплопередаче 0.8-0.9 м^{2}ᵡК/Вт, их масштабное внедрение в производство зачастую требует дорогостоящих технологических решений.

Для достижения повышенных значений сопротивления теплопередаче, кроме изменения числа стекол и объема стеклопакета, перспективно использование энергоэффективных стекол, с напылениями, повышающими теплосберегающий эффект. В данном случае снижение теплопотерь достигается за счет уменьшения излучательных потерь через остекление. Кроме того, существует возможность снижения числа стекол в стеклопакете, что при том же значении сопротивления теплопередаче понизит стоимость окна на 18-25% [39].

Для оценки энергосбережения стекол используется показатель эмисситента поверхности (Е), характеризующий способность поверхности стекла к отражению длинноволнового теплового излучения внутрь помещения. Если обычное стекло имеет Е=0,83, то энергоэффективное обладает показателем меньше 0,04. Так, специальные стекла с оптическим покрытием отражают до 90% тепла в помещение и имеют Е=0,004. Соответственно, вес однослойной СК с энергоэффективным стеклом ниже, что понижает общую нагрузку остекления на другие элементы ОК [7].

Наибольшее распространение получили энергоэффективные К-стекла с твердым и I-стекла с мягким покрытием. При получении К-стекла на горячую поверхность флоат-стекла на флоат-линии наносится тонкий металлооксидный слой методом пиролиза, образующий при спекании твердое высокопрочное покрытие. К-стекла имеют излучательную способность около 0,2, обладают нейтральным цветом, что способствует комфортности пребывания в помещении. Используется в стеклопакете в качестве внутреннего стекла, с размещением стороны с покрытием в межстекольном пространстве. В качестве преимуществ К-стекла отмечают улучшение теплоизоляции, сокращение теплопотерь, затрат на отопление и конденсата, а также сохранение светопроницаемости.

Более низкими показателями эмисситента (до 0,04) обладают I-стекла, отличающиеся технологией получения и повышенным энергосбережением по сравнению с К-стеклами. В данном случае на флоат-стекло наносится оптическое низкоэмиссионное покрытие окислов металлов в вакуумных установках магнетронного распыления. Толщина покрытия составляет несколько десятков нанометров и не препятствует светопропусканию. Энергосбережение для СК с I-стеклом эквивалентно сжиганию жидкого топлива общей массой до 300 кг. Недостатком покрытия I-стекла

является его низкая абразивная стойкость в сравнении с К-стеклом, что решается обращением стороны стекла с покрытие внутрь стеклопакета [42].

Согласно зарубежным исследованиям, экономия при переходе от стандартного окна с двойным остеклением к окну с энергоэффективными стеклами составляет около 100-150 кВтч/м^2 в год [43]. Так, стандартное прозрачное стекло с коэффициентом пропускания 0,84 по длинноволновой части спектра, испускает 84% энергии. Это также означает, что 84% длинноволнового излучения, поступающего на поверхность стекла, поглощается и отражается только на 16%. Энергоэффективное стекло с эмисситентом 0,04 испускает только 4% энергии и отражает 96% падающего длинноволнового инфракрасного излучения [44].

Также к достоинствам низкоэмиссионных стекол относят то, что однокамерный стеклопакет с низкоэмиссионным стеклом характеризуется меньшими теплопотерями, чем двухкамерный - с обычными стеклами; такой стеклопакет легче двухкамерного на 10 кг/м^2, что обеспечивает более низкую нагрузку на оконную фурнитуру и ОК; имеет высокое светопропускание и при массовом производстве не отличается от обычного двухкамерного стеклопакета по стоимости [45].

4. Влияние термо-, фото- электрохромных покрытий, межстекольных заполнителей и лучепоглощающих газов на энергосбережение

Совместное использование стекла, внутренних пленок с дополнительным покрытием с низким коэффициентом пропускания и газового наполнителя позволяет получить СК с минимальным Е-фактором [9]. Так, при внедрении двойного окна с затеняющим покрытием и различной отражательной способностью поверхностей, охлаждающая нагрузка в помещении снизилась до 60%, а затраты на электроэнергию до 24% [12].

Например, термохромные окна (с покрытием, меняющим оттенок в зависимости от температуры) в среднем позволяют экономить до 5% тепловой энергии и до 20% энергии на охлаждение помещения летом, не снижая при этом требуемый уровень инсоляции [16, 17], а пассивное термохромное интеллектуальное окно RavenWindow позволяет экономить до 30% общегодового расхода энергии и окупается за 3-5 лет [46].

Известен ряд исследований термохромных СК с постепенным процессом изменения оптики пленки оксида ванадия (VO_2) [47-49]. Для повышения энергоэффективности термохромных покрытий используют композитные соединения ванадия с другими наночастицами, например, молибдена [50]. Конструкция предполагает фазовые переходы пленки в период изменения температур, при этом энергосберегающие эффекты зарегистрированы как в холодное время года, при необходимости отопления, так и в жаркие периоды, при необходимости охлаждения помещений [51]. Для данной СК потребление охлаждающей энергии снижается не более чем на 81,7% и 70,5% по сравнению с белым стеклом и низкоэмиссионным стеклом, соответственно [18].

Также существуют разработки стекол с электропроводящим покрытием для пропускания тока. В данном случае, для выравнивания температуры стекла и помещения вблизи стеклопакета, используют стекло с сеткой проводящих электродов, наносимых методом шелкографии [13]. Электрообогрев подается через блок питания и регулируется с помощью термодатчиков, контроллеров и может быть включен в систему автоматизированного управления «умный дом» [14].

Так, с помощью пульта управления или выключателя системы ток подводится к электрохромному стеклу, преобразуясь из 220В в 2В [52]. С воздействием тока активный полимерный слой внутри триплекса окрашивается в оттенки синего, сохраняя прозрачность; отключение тока возвращает электрохромное стекло в исходное состояние. Состав покрытия включает комплекс нетоксичных и безопасных органических соединений. Электрохромные СК позволяют сохранить в 4 раза больше тепла в зимний период, чем стандартные стеклопакеты [53].

Соответственно, для снижения энергопотребления используются автоматически настраиваемые системы затенения СК, реагирующие на изменение наружных и внутренних температурных условий. Системы реагируют на показания датчиков, регистрирующих наружные и внутренние температуры, положение солнца и уровень теплового излучения [54, 55]. Однако, автоматические электрохромные СК с управляемой тонировкой в ответ на излучения и температуру и меняющие оттенок от прозрачного до тусклого (в оттенках синего/серого) [56], обладают высокой себестоимостью, что препятствует их широкому применению [19, 57].

Чтобы повысить энергоэффективность стеклопакетов, ряд производителей вместо сухого воздуха в межстекольном пространстве используют лёгкие инертные газы, такие как аргон, ксенон, криптон, что способствует удержанию тепла в помещении и препятствует проникновению

посторонних звуков [58, 59]. Газы обладают значительно большей вязкостью, по сравнению с воздухом, что минимизирует лучистый теплообмен. Повышение энергоэффективности СК возможно за счет совместного применения энергосберегающих покрытий и заполнения инертными газами [60].

При использовании низкоэмиссионного покрытия теплопередача через СК зависит от теплопроводности заполнителя межстекольного пространства и естественной конвекции. Воздух является хорошим изолятором, но аргон, диоксид углерода, криптон и ксенон имеют более низкую теплопроводность и являются менее подвижными газами, снижая конвекцию и общий перенос тепла между внутренней и внешней средой.

Производители наиболее часто используют аргон или криптон, при этом последний, обладая лучшими тепловыми характеристиками, дороже в получении, что приводит к разработке различных смесевых газовых составов. При правильном проектировании и изготовлении конструкции, утечка заполняющего межстекольное пространство газа составляет не более 0,5% в год и 10% за 20-летний период, существенно не влияя на повышение теплопроводности [61].

Для определения совместного влияния покрытий и газовых заполнителей в российских исследованиях проведен сравнительный расчет сопротивления теплопередаче трех окон с ПВХ профилями с заполнением межстекольного пространства аргоном и различными видами покрытий: окна 4М1-16-4М1-16-К4 имеют сопротивление теплопередаче - R=0,64 Вт/м^{2}°С; 4М1-Ar16-4М1-Ar16-К4 - R=0,72 Вт/м^{2}°С; 4М1-Ar16-4М1-Ar16-И4 - R=0,8 Вт/м^{2}°С [38]. Можно заметить, что наибольшим сопротивлением теплопередаче обладают СК с низкоэмиссионным внутренним стеклом и заполнением аргоном двух межстекольных пространств.

Сравнительные исследования энергоэффективности различных СК приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Варианты окон и их характеристики (размер окон 1,1 × 1,3 м, толщина стекла 12 мм) [11]

Характеристики окна	Теплопроводность окна, U_{win}, Вт/м^{2}К	Коэффициент пропускания света, g	Передача видимого излучения, T_{vis}, %
Двойной стеклопакет, обычное стекло	2,61	0,75	80
Тройной стеклопакет, обычное стекло	1,94	0,66	72
Тройной, с низкоэмиссионным покрытием 1 стекла	1,56	0,57	69
Тройной, с низкоэмиссионным покрытием 1 стекла и заполнением аргоном 1 межстекольного пространства	1,42	0,57	29
Тройной, с низкоэмиссионным покрытием 2 стекол и заполнением криптоном 2 межстекольных пространств	0,94	0,50	66

Согласно таблице 1 заполнение криптоном тройного стеклопакета и использование стекол с покрытиями, снижающими эмисситент, уменьшает теплопередачу до 3х раз относительно двухслойного стеклопакета с обычными стеклами, снижая светопропускание на 15%.

Для повышения светопропускания с сохранением энергосберегающих свойств СК используются ультрапрозрачные стекла с низким содержанием железа и противоотражающие (просветляющие) полимерные покрытия. Такие окна со значением теплопередачи ниже 1 Вт/м^{2}К будут иметь более высокий коэффициент пропускания света, чем общий блок с двойным остеклением [62] (рисунок 1).

Согласно рисунку 1, низколегированное стекло и противоотражающая обработка AR применяются для окна с тройным остеклением с низким уровнем эмисситента. Коэффициент пропускания будет выше при изменении конструкции слева направо. Коэффициент пропускания

света увеличится почти на 0,09, если все три стекла имеют низкое содержание железа, а центральное стекло обрабатывается противоотражающим покрытием с двух сторон [63].

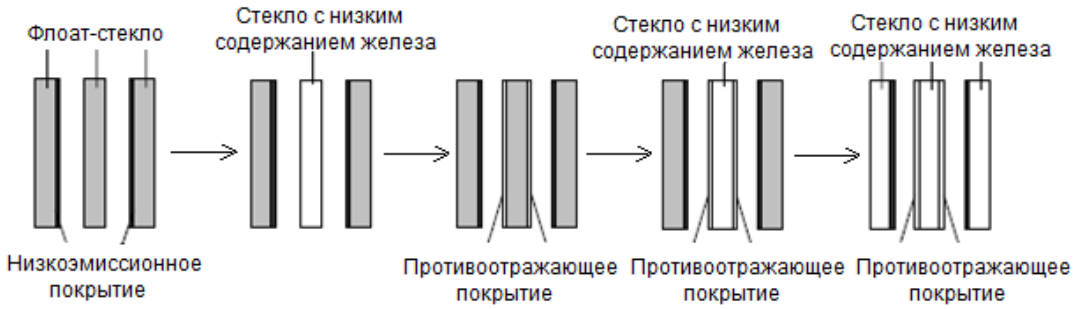


Рисунок 1 – Изменение вида стекла и покрытия для повышения светопропускания СК (слева направо): тройной блок с двумя низкоэмиссионными покрытиями и заполнением аргоном; центральное стекло заменено на ультрапрозрачное с низким содержанием железа; нанесено двусторонне противоотражающее покрытие; центральное остекление с низким содержанием железа и покрытием; все стекла с низким содержанием железа и центральное с покрытием [8].

Дополнительному повышению энергоэффективности, одновременно со светопропусканием, способствует использование фотохромных окон с управлением по длине волны падающего света. В данном случае, спектральные оттенки внутренних покрытий или подвижные спектрально-селективные глазури, отражающие большую часть инфракрасной области спектра, используются как средство уменьшения теплового потока из внешней среды в летний период [64]. Такие покрытия из полимерных материалов снижают проникновение тепловой энергии солнечного излучения примерно на 30%, способствуя экономии затрат на охлаждение помещений [65].

Несколько слоев стеклянных или пластиковых пленок улучшают термическое сопротивление и уменьшают потери тепла, связанные с конвекцией между слоями. Добавление низкоэмиссионного покрытия на поверхность или на несколько поверхностей увеличивает энергетические характеристики СК [66]. Возможность использования суспендированной пленки вместо внутреннего стекла снижает количество стекол в стеклопакете и вес СК [67, 68]. Легкий вес тонкой пластиковой пленки позволяет использовать ее в несколько слоев, не превышая веса стекла [69].

Окна с использованием пластиковых пленок имеют пониженную теплопередачу, разделяя внутреннее воздушное пространство на несколько камер. Пленки обладают высокой прочностью и долговечностью, защищены от царапин, износа, выветривания и визуальных искажений со стороны внутренних и наружных стеклянных панелей, а также обработаны, чтобы противостоять ультрафиолетовой деградации [70]. Как и на стекло, так и на пластиковую пленку может быть нанесено низкоэмиссионное покрытие, чтобы снизить теплопередачу через СК. Дополнительно пленка может быть обработана спектрально-селективными покрытиями для уменьшения потока солнечной энергии (снижения потока излучения в 5-10 раз), без потери теплозащитных свойств [71-73].

Другим направлением повышения энергоэффективности СК является их заполнение аэрогелем, слоем толщиной 15 мм, что позволяет снизить теплопередачу на 63%, одновременно сокращая на 30% пропускание света [15]. Рядом иностранных исследователей рассматривается потенциал высокоэнергетических окон с гранулированным диоксидом кремния (аэрогелем) для повышения энергосбережения при реконструкции зданий [74, 75]. Изучены различные системы остекления, два вида гранулированного аэрогеля и различные слои стекла [76], оценены теплопроводность и оптические свойства образцов для моделирования зданий [77]. Определено, что при использовании мелкоразмерного аэрогеля уменьшение теплопередачи ниже (31%), но снижение светопроницаемости (около 10%) также не значительно, по сравнению с крупными частицами заполнителя [78]. Показано, что в условиях различного климата (жаркого, умеренного, холодного) снижается потребность в энергии как для обогрева, так и для охлаждения, при использовании систем с двуокисью кремния, по сравнению с обычными СК [79-82]. Однако технология изготовления данных СК остается на стадии научных исследований и разработок, без широкого рыночного использования [83].

5. Материалы обрамления и конструкции оконных систем в повышении энергоэффективности

Для определения влияния различных материалов обрамления СК на энергоэффективность здания в литературных источниках произведен расчет энергоэффективности здания при использовании оконных блоков со стеклопакетом 4М1-10-4М1-10-4М1 и тремя типами профилей: алюминиевым, где получено сопротивление теплопередаче - R=0,43 Вт/м^2·^{o}С, ПВХ - R=0,51 Вт/м^2·^{o}С и деревянным R=0,53 Вт/м^2·^{o}С [38]. Соответственно, наибольшее сопротивление теплопередаче получено для деревянных профилей.

Одновременно, использование деревянных рам является более экологичной и «дышащей» конструкцией, однако, несмотря на высокую прочность, низкую тепло- и звукопроводность, материал обладает горючестью, недостаточной влагостойкостью и требует проведения защитно-пропиточных мероприятий, что определило его преимущественное использование в частном домостроении с малыми площадями остекления. Алюминиевое обрамление имеет высокую прочность, что способствовало его использованию в промышленных зданиях, но обладает повышенной теплопроводностью и, как следствие низкой энергоэффективностью. Наиболее распространенные пластиковые рамы из ПВХ имеют низкую теплопроводность, высокую шумоизоляцию, долговечность, эстетичность и не требовательны к уходу.

Доля рынка ПВХ рам составляет 78%, в сравнении с 12% и 9% для алюминиевых и деревянных конструкций соответственно. Профиль ПВХ может быть усилен стальными, алюминиевыми, стеклопластиковыми, вспененными ПВХ вкладышами или их комбинацией [20]. Для совершенствования производства ПВХ обрамлений предлагается использовать автоматизированную систему 1С: Предприятие 8.2 для проектирования СК, определения комплектующих, оптимизации распила, расчета стоимости и пр. [21]. Однако ПВХ конструкции склонны к усадке и старению, не разлагаются при утилизации, содержат токсические компоненты, приводят к развитию грибковых поражений откосов, что делает необходимым поиск более экологичных материалов в сочетании с энергоэффективностью.

Одним из перспективных материалов обрамления СК является стеклокомпозит на основе стекловолокна и полиэфирных смол, отличающийся стойкостью к атмосферным и температурным колебаниям, низкой теплопроводностью и возможностью изготовления рам в различных дизайнерских и цветовых решениях, со сроком эксплуатации до 70 лет [22].

При этом оконные рамы могут быть изготовлены из стекловолокнистых полиэфирных или термопластичных материалов, линейные формы которых получают методом пултрузии. Данные рамы стабильны по размеру и имеют воздушные полости, аналогично ПВХ конструкциям. Полости рамы могут быть заполнены изоляцией или сконструированы с несколькими небольшими камерами для уменьшения конвекционного обмена. Поскольку волокнистые композитные материалы более прочные, чем ПВХ, то рамы могут изготавливаться с меньшим поперечным сечением и, следовательно, будут иметь меньшую площадь поверхности, что способствует лучшему удержанию более тяжелых тройных остеклений. Обычно данные высокопроизводительные рамы используются с энергоэффективными остеклениями.

Также существуют термостабилизированные деревянные и композитные окна с деревянным каркасом, с теплопроводностью 0,30-0,50 Вт/м^2·К. Несмотря на то, что отсутствие полостей рамки, в отличие от полимерных обрамлений, ограничивает возможности дальнейшего повышения теплоизоляции древесины, повышение теплозащиты может достигаться за счет более толстой конструкции рамы [9].

Анализируя конструктивные решения, можно отметить, что для стран с холодным климатом, разработаны конструкции СК, представленные на рисунке 2, причем конструкция справа является усовершенствованной СК, в более низкими значениями теплопроводности.

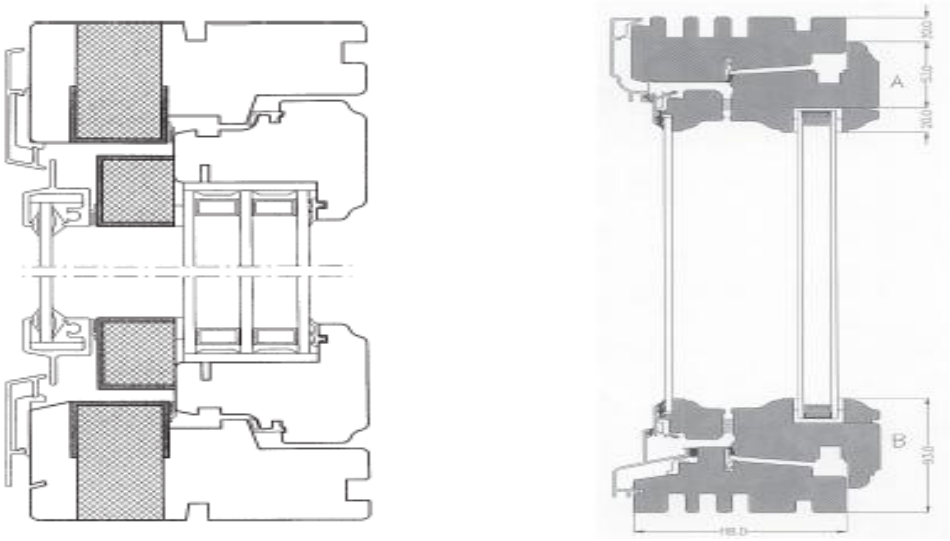


Рисунок 2 – Конструкции энергоэффективных окон.
Слева – вертикальная секция, показывающая тепловой разрыв в раме и створке с полиуретаном, вложенным в ПВХ-профиль. Четырехместное остекление: 4 мм - 94 мм Воздух - 4 мм LE - 16 мм Ar - 4 мм - 16 мм Ar - LE 4 мм. Справа - пример усовершенствованного окна с общим U-значением 1 Вт/м^{2}χК. Трехслойное остекление из: 4 мм LE - 70 мм Воздух - 3 мм - 15 мм Ar – LE 3 мм, где LE обозначает позицию низкоэмиссионого покрытия.

Модификация конструкции, представленной справа, с 2 или 3 низкоэмиссионными покрытиями и аргоновыми наполнителями имеет значения теплопроводности 0,88 Вт/м^{2}χК или 0,73 Вт/м^{2}χК соответственно (в зависимости от числа покрытий), однако, недостаточное пропускание дневного света (55-54%) и низкий коэффициент пропускания солнечной энергии (51-44%). Такие конструкции сложны в монтаже, а также воспринимаются жильцами как зеленые, затемненные, нарушая комфортность пребывания [84-86].

Соответственно, считается, что значительные конструктивные изменения не являются достаточно эффективными и требуют существенных затрат производства и монтажа, вследствие чего новые технологии, в виде аэрогелей, покрытий, вакуумных и газонаполненных стеклопакетов, рассмотренных в предыдущем разделе, являются предпочтительными [87].

Однако некоторые конструктивные дополнения позволяют повысить энергоэффективность СК. Так, одним из вариантов повышения теплозащиты окон является установка теплозащитных штор со стороны помещения. Их устройство позволяет снизить теплопотери помещения в холодное время года в результате уменьшения потока тепла через окна (рисунок 3).

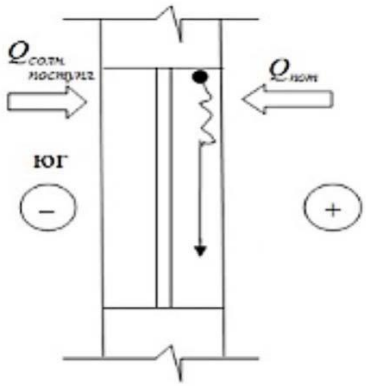


Рисунок 3 – Схема окна с теплозащитной шторой [10]

Такие шторы опускаются в темное время суток, преимущественно осенью и в зимнее время, когда световой день короток. Целесообразность использования теплозащитных штор определена в работе Дериной М.А. по сроку окупаемости, который составил 39 лет, далее предложены варианты снижения себестоимости за счет доработки более простых солнцезащитных штор применением пенополистирольных полосок и пластмассовых направляющих, что позволило повысить

сопротивление теплопередаче с 0,55 до 0,9 м^2°С/Вт для двухкамерного стеклопакета и снизить срок окупаемости до 8 лет [10].

Установка устройств затенения для дневного периода в жарком солнечном климате, снижает охлаждающую нагрузку на 43%-61%, сокращая стоимость электроэнергии в течение периода охлаждения до 24% [12]. Тем не менее, настройка устройств затенения может значительно снизить коэффициент дневного света и уровень яркости внутреннего пространства [88, 89]. Затенение с высокой отражательной способностью на всех поверхностях создает удобную тепловую и визуальную среду, в то время как устройство затенения с низкой отражательной способностью на задней поверхности может способствовать дополнительному снижению охлаждающей нагрузки на 4% [90].

Изолированные внутренние панели для ночной изоляции предлагаются для холодного климата с целью снижения нежелательных потерь тепла через остекление и область рамы. Изоляционные панели представляли собой жесткие ПВХ панели из двух слоев, которые, аналогично двойному стеклопакету, могут быть наполнены криптоном, а также могут быть сконструированы из полимерных пенопластов с закрытыми ячейками для достижения значений сопротивления теплопередаче около 2,5 м^2°С/Вт [65].

Также системы затемнения могут быть автоматическими, реагирующими на изменения наружных и внутренних температурных условий в течение дня [91]. Такие защитные шторы имеют датчики, которые измеряют внутреннюю и наружную температуру окружающей среды или положение солнца и излучение, автоматически регулируя свою высоту, чтобы управлять количеством света и тепла, поступающих в здание [92], а также могут быть интегрированы с системами освещения и управления зданием [93].

Также рост энергоэффективности зданий может быть достигнут путем совмещения площади остекления с настенными гелиоколлекторами, что одновременно повышает архитектурную выразительность фасадов [10].

Традиционными конструктивными решениями для повышения энергоэффективности СК является использование в составе обрамления металлических прокладок и герметиков. Эти прокладки, обычно алюминий, также содержат осушитель, который поглощает остаточную влагу. Однако алюминий является отличным проводником тепла, а алюминиевая распорка (дистанционная рамка), используемая в традиционных краевых системах, приводит к значительному термическому «замыканию» на краю стеклопакета, что снижает преимущества улучшенных остеклений. В дополнение к повышенным потерям тепла, холодный край более подвержен конденсации (рисунок 4, а-в).

Для решения этих проблем были разработаны инновационные краевые системы (рисунок 4, г-е), в том числе решения, предполагающие замену материалов, а также разработку новых конструкций. Один из подходов к снижению теплопотерь заключается в замене алюминиевой прокладки менее теплопроводным металлом (например, нержавеющей сталью), а также изменением формы поперечного сечения дистанционной рамки (рисунок 4, г).

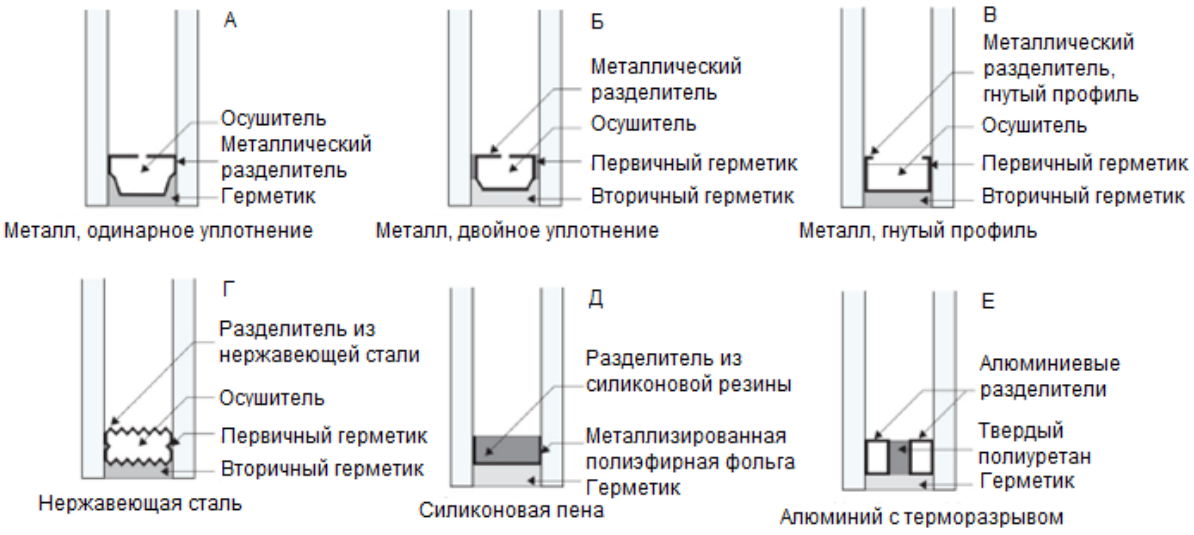


Рисунок 4 – Конструктивные решения краевой (дистанционной) рамки

Другой подход заключается в замене металлической прокладки конструкцией, на основе материалов с повышенными изоляционными свойствами. Наиболее часто используемый дизайн включает прокладку, герметик и осушитель в термопластичном соединении, которое содержит смесь из влагопоглотителей и включает тонкую металлическую прокладку из алюминия или нержавеющей стали. В другом подходе используется изоляционная прокладка из силиконовой пены, которая включает осушитель и имеет по краям высокопрочный клей для соединения со стеклом. Пена снабжена вторичным герметиком. Вместо металлических конструкций применяются экструдированные полимерные и стекловолоконные прокладки (рисунок 4, д).

Несколько гибридных конструкций включают термические разрывы (рисунок 4, е) в металлических прокладках или используют один или несколько элементов, описанных выше. Ряд из них специально разработан для размещения трех- и четырехслойных остеклений или стеклопакетов, содержащих растянутые пластиковые пленки. Все конструкции предназначены для прерывания теплопередачи на краю остекления между двумя или более слоями стекол.

Определено, что для типичного размера окна жилого дома, переход от стандартной алюминиевой кромки края к высококачественной теплой разделительной кромке уменьшит общую теплопроводность окна примерно на 0,02 Вт/м^{2}ᵡК, повышая его энергоэффективность и положительно сказываясь на энергосбережении [9]. Также при проектировании размещения СК, следует учитывать, что теплопотери, не зависимо от конструкции оконной системы, выше на 6-7% с северной стороны здания.

6. Заключение

Максимально допустимое значение теплопроводности СК зависит от общей изоляции дома, климата, ориентации окна и т.д. В южном климате возможно беспрепятственное расположение окон, трехслойное прозрачное остекление; в северном – необходимы суперизолированные окна. Кроме того, снижение значений теплопередачи зачастую сопровождаются понижением коэффициента пропускания света, не обязательно, что негативно сказывается на комфортности микроклимата помещений. Однако для энергоэффективных зданий северных регионов, значение теплопроводности всегда должно быть низким, так как отопительный сезон долгий, а эффект от солнечного пропускания мал [94].

Проблема с энергоэффективностью СК возникает при проектировании зданий с большими размерами и площадью остекления. В таких ситуациях требуется низкое значение теплопередачи для решения проблемы энергосбережения при отоплении в зимний период, а также низкое значение коэффициента пропускания света, с использованием затеняющих устройств, в летнее время [95]. Проблема дневного света также должна учитываться.

В данном аналитическом исследовании приведены возможности регулирования сопротивления теплопередаче и пропускания света за счет изменения конструкции стеклопакета, применения низкоэмиссионных стекол, использования различных термо-, фото- и электрохромных покрытий, газовых и гелевых наполнителей, затеняющих устройств и конструктивных решений краевой (дистанционной) рамки. Определено, что часть разработок по повышению энергоэффективности СК не нашли широкого промышленного применения в связи с высокой стоимостью и сложностью организации процессов их производства.

Выявлено, что повышение энергоэффективности СК и сохранение светопропускания наиболее эффективно при сочетании ряда мероприятий, например, за счет повышения числа стекол с использованием низкоэмиссионных покрытий; замены обычного стекла на ультрапрозрачные стекла с низким содержанием железа, с одновременным нанесением противоотражающих покрытий; использования межстекольных пленочных слоев, также с различными покрытиями и заполнителями межстекольного пространства и пр.

В ходе систематизации имеющихся научных результатов установлено, что в части заполнения межстекольного пространства низкоконцентрированными газами, большинство исследователей оценивают применимость инертных заполнителей (аргон, криптон и др.). Однако научный задел для использования других газов в СК освещен в патентной литературе [37], где показана перспективность применения таких лучепоглощающих газов как CO_2, NH_3, CH_4, C_3H_8 для заполнения межстекольного пространства. Соответственно, интерес представляют дальнейшие экспериментальные исследования по влиянию различных газовых заполнителей на теплопередачу и светопропускание СК.

Библиографический список:

[1]. Голованова Л.А., Блюм Е.Д. Энергоэффективные строительные конструкции и технологии // Ученые заметки ТОГУ. 2014. Т. 5. № 4. С. 71-77.

[2]. Золотозубов Д.Г., Карманова О.С. Анализ влияния инсоляции квартир на энергосбережение // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2016. Т. 7. № 1. С. 82-92.

[3]. Ah-Nieme A., Malet-Damour B., Bigot D., Guichard S., Boyer H. The influence of thermochromic glazing parameters on energy saving and comfort criteria using moment- independent measure. Australasian Building Simulation Conference 2017, Melbourne, Australia. 2017. 11 p.

[4]. Александров Б.В., Комарова С.Е., Воробьева А.М. Современные тенденции проектирования зданий с применением облицовочных фасадных материалов // Молодой исследователь Дона. 2017. № 3(6). С. 35-59.

[5]. Ступин И.А, Тараканов В.А., Золотарев А.В. Повышение энергоэффективности зданий за счет оконных систем // Форум молодых ученых. 2017. № 12(16). 6с.

[6]. Магай А.А., Дубинин Н.В. Современное стекло светопрозрачных фасадов многофункциональных высотных зданий // Вестник МГСУ. 2010. №3. С 36-42.

[7]. Суликова В.А., Силантьева М.А., Хусаинова Г.М. Применение энергосберегающего стекла в сфере ЖКХ // Вестник УГНТУ. 2014. № 1(7). С 174-176.

[8]. Karlsson J. Windows Optical Performance and Energy Efficiency. Acta Universitatis Upsaliensis. Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology. Uppsala, 2001. 49p.

[9]. Carmody J., Haglund K. Measure Guideline: Energy-Efficient Window Performance and Selection. Minnesota, 2012. 78 p.

[10]. Дерина М.А. Повышение тепловой эффективности малоэтажных гражданских зданий: Дисс. канд. техн. наук: 05.23.01. Пенза, 2017. 172 с.

[11]. Bülow-Hübe H. Energy-Efficient Window Systems. Doctoral Dissertation. Lund 2001. 248 p.

[12]. Cheong C.H, Kim T., Leigh S.-B. Thermal and Daylighting Performance of Energy-Efficient Windows in Highly Glazed Residential Buildings // Sustainability 2014. No 6. pp. 7311-7333.

[13]. Хомченко А.В., Василенко А.Н., Парашков С.О. Исследование характеристик электрообогреваемых стеклопакетов // Сб. тезисов межд. науч.-техн. конф. «Материалы,оборудование и ресурсосберегающие технологии. Могилев, 2016. С. 284-285

[14]. Телемгенова М., Зубова О. Исследование разработок энергосберегающих и электрообогреваемых окон // Journal of Geography and Environmental Management. 2017. №2 (45). С. 124-134.

[15]. Buratti C., Moretti E, Zinzi M. High Energy-EfficientWindows with Silica Aerogel for Building Refurbishment: Experimental Characterization and Preliminary Simulations in Different Climate Conditions // Buildings. 2017. Vol. 7, No. 8. doi:10.3390/buildings7010008.

[16]. Costanzo V., Evola G., Marletta L. Thermal and visual performance of real and theoretical thermochromic glazing solutions for office buildings // Solar Energy Materials & Solar Cells. 2016. No. 149. pp.110–120.

[17]. Ye H., Long L., Zhang H., Gao Y. The energy saving index and the performance evaluation of thermochromic windows in passive buildings // Renewable Energy. 2014. No 66. 215-221 pp.

[18]. Yang J., Xu Z., Ye H., Xu X., Wu X., Wang J. Performance analyses of building energy on phase transition processes of VO2 windows with an improved mode // Applied Energy. 2015. No 159. 502–508 pp.

[19]. King J., Perry C. Smart Buildings: Using Smart Technology to Save Energy in Existing Buildings. Washington. 2017. 55 p.

[20]. Куренкова А.Ю. Кононова А.Н. Сравнительный анализ путей развития энергоэффективного остекления // Вестник МГСУ. 2011. № 7. С 187-195.

[21]. Петрова И.Ю., Пучкова А.А. Программный комплекс для автоматизации проектирования и производства светопрозрачных строительных конструкций из ПВХ // Вестник МГСУ. 2016. №8. С. 121-132.

[22]. Абрамян С.Г., Власова М.П., Власов Р.А. Современные стеклопакеты для устройства светопрозрачных ограждающих конструкций // Инженерный вестник Дона. 2017. № 3(46) URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2017/4378.

[23]. Девятникова Л.А., Зайцева М.И., Мухин С.Ю. Анализ теплотехнических свойств наружной стены на основе тепловизионной съемки // Resourses and Technology. 2016. Т.13. № 3. С. 30-41.

[24]. Аникина И.Д., Поршнев Г.П., Сергеева В.В. Тепловизионное обследование зданий // Научно-технические ведомости СПБПУ. 2012. № 147-1. С. 94-98.

[25]. Морозова Н.Е., Блягоз Х.Р. Исследование процессов теплопередачи в зданиях с использованием методов теплового неразрушающего контроля // Новые технологии. 2012. № 4. С. 111-114.

[26]. Ватин Н.И., Немова Д.В., Рымкевич П.П., Горшков А.С. Влияние уровня тепловой защиты ограждающих конструкций на величину потерь тепловой энергии в здании // Инженерно-строительный журнал. 2012. №8(34). С. 4-14.

[27]. Vatin N.I., Nemova D.V., Tarasova D.S., Staritcyna A.A. Increase of energy efficiency for educational institution building. Advanced Materials Research. 2014. No. 953-954. pp. 854-870.

[28]. Горшков А.С., Гладких А.А. Мероприятия по повышению энергоэффективности в строительстве // Архитектура и строительство. 2010. № 3. С. 246-250.

[29]. Vatin N., Gorshkov A., Nemova D., Tarasova D. Energy efficiency of facades at major repairs of buildings. Applied Mechanics and Materials Vols. 2014. No. 633-634. pp. 991-996.

[30]. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Требования к теплозащите и энергетической эффективности в проекте актуализированного СНиП «Тепловая защита зданий» // Жилищное строительство. 2011. № 8. С. 2-6.

[31]. Береговой А.М., Прошин А.П., Береговой В.А., Гречишкин А.В. Наружные ограждающие конструкции, адаптированные к использованию энергии природной среды // Известия вузов. Строительство. 2005. №2.С. 4-8.

[32]. Береговой А.М., Мальцев А.В., Петрянина М.А. Наружные ограждающие конструкции с различной тепловой инерцией и энергоэффективностью // Актуальные проблемы проектирования и возведения зданий и сооружений с учетом энергосберегающих технологий и современных методов строительства: сб. тр. межд.. науч.-практ. конф. Пенза, 2011. С. 27-30.

[33]. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. Москва. 2012. 100 с.

[34]. СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий. Москва: Госстрой России. 2004. 31 с.

[35]. National Building Code of Finland - Section D3 on Energy Management in Buildings. Finland: Ministry of the environment. 2012.

[36]. Горшков А.С., Немова Д.В., Рымкевич П.П. Экономим или нет? Российские энергосберегающие требования // Энергосбережение. 2014. № 2. С. 26-32.

[37]. Стерлигов В.В., Слажнева К.С. Способ изготовления пактов элементов остекления ограждающих конструкций зданий. Пат. RU 2546457 C1. Опубл. 10.04.2015. Бюллетень № 10. 11 с.

[38]. Стратий П.В., Становов П.А. Влияние коэффициента остекленности фасада на энергоэффективность // Вестник ТОГУ. 2017. №4(47). С. 105-114.

[39]. Давыдова Е.И., Гнам П.А., Тарасова Д.С. Светопрозрачные конструкции и методы повышения их энергоэффективности //Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 5(32). С. 112-128.

[40]. Пономарев А.Б., Пикулева Э.А. Методология научных исследований. Пермь. 2014. 186 с.

[41]. Feng G., Sha Sh., Xu X. Analysis of the building envelope influence to building energy consumption in the cold regions. Procedia Engineering. 2016. No. 146. pp. 244 – 250.

[42]. Куренкова А.Ю. Энергоэффективное остекление: какой путь выберет Россия // Энергосовет. 2012. №4(23). С. 43-47.

[43]. Karlsson J., Roos A. Annual energy window performance versus glazing emittance -the relevance of very low emittance values. Thin Solid Films. 2001. No 392. pp. 345-348.

[44]. Huizenga C., Zhang H., Mattelaer P., Yu T., Arens E. Window Performance for Human Thermal Comfort. Final Report to the National Fenestration Rating Council. Center for the Built Environment, University of California, Berkeley. 2006. Access at: www.cbe.berkeley.edu/research/pdf_files/SR_NFRC2006_FinalReport.pdf.

[45]. Rissman J., Kennan H. Low-Emissivity Windows. Case Studies on the Government’s Role in Energy Technology Innovation. American Energy Innovation Council. 2012. 14 p.

[46]. Lee E.A. Pilot Demonstration of Electrochromic and Thermochromic Windows in the Denver Federal Center, Building 41, Denver, Colorado. Berkeley: LBNL. 2013. Access at: www.eetd.lbl.gov/sites/all /files/gpg_smart_windows-final-508-compliant.pdf.

[47]. Ye H., Long L., Zhang H., Xu B. et al. The demonstration and simulation of the application performance of the vanadium dioxide single glazing. Sol. Energy Mater. Sol. Cells. 2013. No. 117. pp. 168–173.

[48]. Warwick M.E.A., Binions R. Advances in thermochromic vanadium dioxide films. J. Mater. Chem. A. 2014. No. 2. pp. 3275–3292.

[49]. Li S.Y., Niklasson G.A., Granqvist C.G. Thermochromic fenestration with VO_2 – based materials: three challenges and how they can be met. Thin Solid Films. 2012. No. 520. pp. 3823–3828.

[50]. Zhang Y., Huang W.-H., Shi Q.-W. et. al. Thermal modulation behavior inside the hysteresis loop of W-Mo co-doping vanadium dioxide film. J Inorg Mater. 2013. No. 28(5). pp. 497–501.

[51]. Kamalisarvestani M., Saidur R., Mekhilef S., Javadi F.S. Performance, materials and coating technologies of thermochromic thin films on smart windows. Renew. Sustain. Energy Rev. 2013. No. 26. pp. 353–364.

[52]. Brambley M., Haves P., McDonald S. et. al. Advanced Sensors and Controls for Building Applications: Market Assessment and Potential R&D Pathways. Richland, WA: Pacific Northwest National Laboratory. 2005. Access at: apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/corporate/pnnl-15149_market_assessment.pdf.

[53]. Ghaffarian H.A., Beradi U., Makarem, N. Intelligent facades in low-energy buildings. Br. J. Environ. Clim. Change. 2012. No. 2. pp. 437–464.

[54]. GSA (General Services Administration). Electrochromic and Thermochromic Windows. Washington, DC: GSA. 2014. Access at: www.gsa.gov/portal/mediaId/188003/fileName/Smart-Windows-Findings-508.action.

[55]. Ye H., Meng X., Long L., Xu B.,The route to a perfect window, Renew. Energy. 2013. No.55 pp. 448–455.

[56]. Granqvist C.G. Oxideelectrochromics: why, how and whither. Sol.Energy Mater.Sol.Cells 2008. No. 92. pp. 203–208.

[57]. Sanders H. Dynamic Glazing: Helping to Provide Healthy, Comfortable, and Energy-Efficient Buildings Interface. 2015. August. Access at: http://rci-online.org/wp-content/uploads/2015-08-sanders.pdf.

[58]. Спиридонов А.В., Шубин И.А., Абдурафиков Р.М. Светопрозрачные конструкции в России: состояние и перспективы развития // Стройпрофи. 2013. №17.

[59]. Спиридонов А.В. Выгодно ли устанавливать энергоэффективные окна? // Энергосбережение. 2013. № 3. С. 62 – 67.

[60]. Griffith B., Arasteh D. Gas-Filled Panels: A Thermally Improved Building Insulation. Proceedings of the ASHRAE/DOE/BTECC Conference: Thermal Performance of the Exterior of Envelopes of Buildings V. Clearwater Beach. FL. December. 1992.

[61]. Carmody J., Selkowitz S., Lee E., Arasteh D., Willmert T. Window Systems for High-performance Commercial Buildings. W.W. Norton. 2004. 400 p.

[62]. Karlsson J., Roos A. Modelling the angular behaviour of the total solar energy transmittance of windows, Solar Energy. 2000. No. 69. pp. 321-329.

[63]. Karlsson J., Karlsson B., Roos A. Performance of anti-reflection glazings in windows, Proceedings, Glass Processing Days – 2001. Tampere, Finland. 2001.

[64]. Ye H., Meng X., Xu B., Theoretical discussions of perfect window, ideal near infrared solar spectrum regulating window and current thermochromic window, Energy Build. 2012. No.49. pp. 164–172.

[65]. Arasteh D., Griffin B., LaBerge P. Integrated window systems: an advanced energy-efficient residential fenestration product. Proceedings of the 19th National Passive Solar Conference. American Solar Energy Society. San Jose. CA. June 25-30. 1994. 7 p.

[66]. ConSol. Energy Analysis for Window Films Applications in New and Existing Homes and Offices. Martinsville, VA: International Window Film Association. 2012. Access at: www.iwfa.com/Portals/0/ PDFDocs/IWFA Energy Study FINAL.pdf.

[67]. Lee E.S., Pang X., Hoffmann S. et. al. An empirical study of a full-scale polymer thermochromic window and it simplications on material science development objectives. Sol. Energy Mater. Sol. Cells. 2013. No. 116. pp. 14–26.

[68]. Hoffmann S., Lee E.S., Clavero C. Examination of the technical potential of near-infrared switching the mochromic windows for commercial building applications. Sol. Energy Mater. Sol. Cells. 2014. No. 123. pp. 65–80.

[69]. DeBusk S. New Low-e Glass or Window Film? A Comparison to Help You Decide. Buildings: Smarter Facilities Management. June 25. 2012. URL: https://www.buildings.com/news/industry-news/articleid/14300/title/new-low-e-glass-or-window-film-a-comparison-to-help-you-decide/viewall/true.

[70]. Carmody, J., Selkowitz, S., Arasteh, D., Heschong, L. Residential Windows: A Guide to New Technologies and Energy Performance, 3rd Edition. W.W. Norton. 2007. 247 p.

[71]. Warwick M.E.A., Ridley I., Binions R.The effect of transition gradient in thermochromic glazing systems. Energy Build. 2014. No. 77. pp. 80–90.

[72]. Saeli M., Piccirillo C., Parkin I. P., Binions R., Ridley I. Energy modelling studies of thermochromic glazing. Energy Build. 2010. Vol. 42. No. 10. pp. 1666–1673.

[73]. Xu X.J., Wu X., Zhao C., Wang J.X., Ge X.T., Simulation and improvement of energy consumption on intelligent glasses in typical cities of China. Sci. China. Tech. Sci. 2012. No 55. pp. 1999–2005.

[74]. Ihara T., Gao T., Grynning S., Jelle B.P., Gustavsen A. Aerogel granulate glazing facades and their application potential from an energy saving perspective. Appl. Energy. 2015. No. 142. pp. 179–191.

[75]. Gao T., Ihara T., Grynning S., Jelle B.P., Gunnarshaug L.A. Perspective of aerogel glazings in energy efficient buildings. Build. Environ. 2016. No. 95. pp. 405–413.

[76]. Buratti C., Moretti E. Silica nanogel for energy-efficient windows. In Nanotechnology in Eco-Efficient Construction. Woodhead Publishing Limited: Cambridge, UK. 2013. pp. 207–235.

[77]. Cotana F., Pisello A.L., Moretti E., Buratti C. Multipurpose characterization of glazing systems with silica aerogel: In-field experimental analysis of thermal-energy, lighting and acoustic performance. Build. Environ. 2014. No. 81. pp. 92–102.

[78]. Buratti C., Moretti E., Belloni E. Nanogel windows for energy building efficiency. In Nano and Biotech Based Materials for Energy Building Efficiency. Springer International Publishing AG: Basel. Switzerland. 2016. pp. 41–69.

[79]. Bhuiya M.M.H., Anderson A.M., Carroll M.K. et al. Preparation of Monolithic Silica Aerogel for Fenestration Applications: Scaling up, Reducing Cycle Time, and Improving Performance. Ind. Eng. Chem. Res. 2016. No. 55. pp. 6971–6981.

[80]. Buratti C., Moretti E., Belloni E. Aerogel plasters for energy building efficiency. In Nano and Biotech Based Materials for Energy Building Efficiency. Springer International Publishing AG: Basel, Switzerland, 2016. pp. 17–40.

[81]. Huang Y., Niu J. Energy and visual performance of the silica aerogel glazing system in commercial buildings of Hong Kong. Constr. Build. Mater. 2015. No. 94. pp. 57–72.

[82]. Koebel M., Rigacci A., Achard P. Aerogel-based thermal superinsulation: An overview. J. Sol-Gel Sci. Technol. 2012. No. 63. pp. 315–339.

[83]. Cuce E., Cuce P.M., Wood C.J., Riffat S.B. Toward aerogel based thermal superinsulation in buildings: A comprehensive review. Renew. Sustain. Energy Rev. 2014. No. 34. pp. 273–299.

[84]. NUTEK. 2nd ed. Möjligheter med installationssystem ochenergieffektiva fönster. (Opportunities for building services systems and energy-efficient windows) (Rapport T 1993:4). Stockholm:NUTEK, Effektivare energianvändning. 1995. (in Swedish).

[85]. Wallentén P. Fönstrets betydelse för den riktade operativa temperaturen. (The importance of the window for the directed operative temperature). Lund, Sweden: Lund University, Dept. of Building Science. 1993. (in Swedish).

[86]. Jonsson B. Heat transfer through windows. During the hours of darkness with the effect of infiltration ignored. (Document D13:1985). Stockholm: Swedish Council for Building Research. 1985.

[87]. Duer K. Characterisation of advanced windows. Determination of thermal properties by measurements. (Report BYG•DTU R-007). Lyngby: Technical University of Denmark, BYG•DTU. 2001.

[88]. Baldinelli G. Double skin facades for warm climate regions: Analysis of a solution with an integrated movable shading system. Build. Environ. 2009. No. 44. pp. 1107–1118.

[89]. Kim J.T., Kim G. Advanced external shading device to maximize visual and view performance. Indoor Build Environ. 2010. No. 19. pp. 65–72.

[90]. Yoo S., Jeong H., Ahn B.L. et al. Thermal transmittance of window systems and effects on building heating energy use and energy efficiency ratings in South Korea. Energ. Build. 2013. No. 67. pp. 236–244.

[91]. Synnefa A., Santamouris M., Apostolakis K. On the development, optical properties and thermal performance of cool colored coatings for the urban environment. Sol Energy. 2007. No. 81. pp. 488-497.

[92]. Miller W., Buys L., Bell J. Performance evaluation of eight contemporary passive solar homes in subtropical Australia. Build Environ. 2012 No. 56. pp. 57-68.

[93]. David M., Donn M., Garde F., Lenoir A. Assessment of the thermal and visual efficiency of solar shades. Build. Environ. 2011. Vol. 46. No. 7. pp. 1489–1496.

[94]. Hee W.J., Alghoul M.A., Bakhtyar B., et al. The role of window glazing on daylighting and energy saving in buildings, Renew. Sustain.Energy Rev. 2015. No. 42. pp. 323–343.

[95]. Baetens R., Jelle B. P., Gustavsen A. Properties, requirements and possibilities of smart windows for dynamic daylight and solar energy control in buildings: A state-of-the-art review. Sol. Energy Mater. Sol. Cells. 2010. Vol. 94. No. 2. pp. 87–105.

Ломашевич Святослав Александрович
Lomashevich Svyatoslav Aleksandr
Начальник Теор. Отдела. К Ф-М Н. Направление - математическая физика.
Исследовательский Центр Харитоново. Калуга 37177.
8-911-736-55-09. E–mail: lamasvet@yandex.ru

УДК 530.1

К ПРОБЛЕМЕ МИКРОВОЛНОВОГО ФОНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ВО ВСЕЛЕННОЙ

MICROWAVE RADIATION IN UNIVERSE

Аннотация. Исследован процесс формирования фона излучения в результате “ распада “ фотона до граничной частоты 10^{12} $с^{-1}$. Обоснован эффект красного смещения космических излучений до значений микроволнового фона.

Summary. The quantum formation cosmic radiation is limited by frequency 10^{12} s^{-1}. .Process of decomposition photon energy was investigated and critical resume is conclude as FINAL RESULT.

Ключевые слова: микроволновый фон, распад фотона, граница существования квантов, потенциальная энергия фотонов.

Key words: potential energy, microwave radiation, photons decomposition.

Введение.

В заглавии нет слова « реликтовый», которое , как полагают, является неопровержимым доказательством Большого Взрыва (БВ) и, как следствие, непрекращающегося расширения Вселенной.

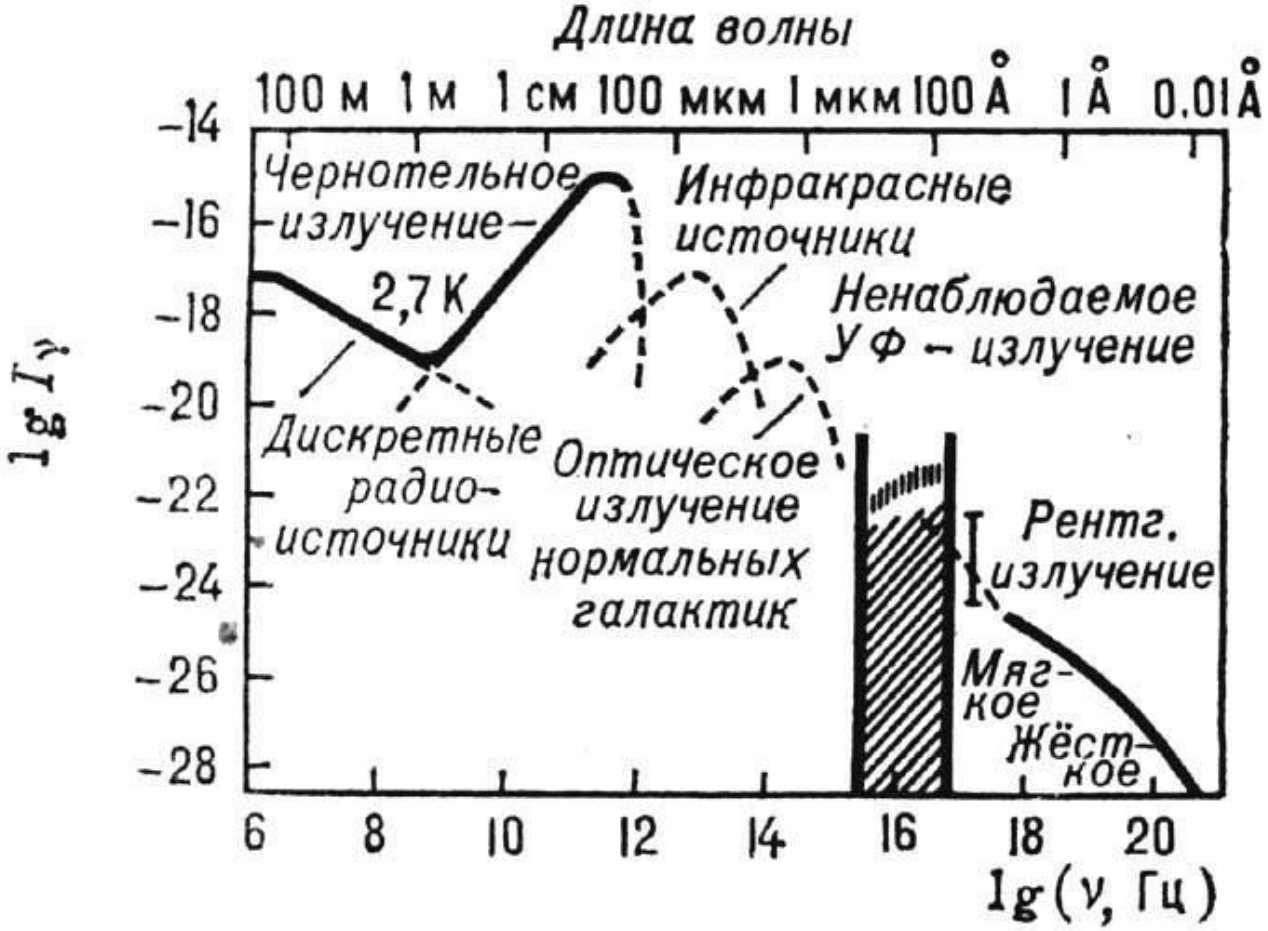


Рис. 1 воспроизводит результаты измерений космического излучения [2] с максимумом в точке 2.7 К, причём , постоянно упоминаемые градусы , без сомнения достоверные, предсказанные Гамовым Г.А., алогично связываются с БВ и далее транслируются теории, противоречащие закону сохранения энергии и апеллирующие к нулевому моменту , к нулевой точке и т. п., что ещё в большей степени не согласуется с физическими законами , нам

известными и не вызывающими противоречий в классической (не квантовой) физике.

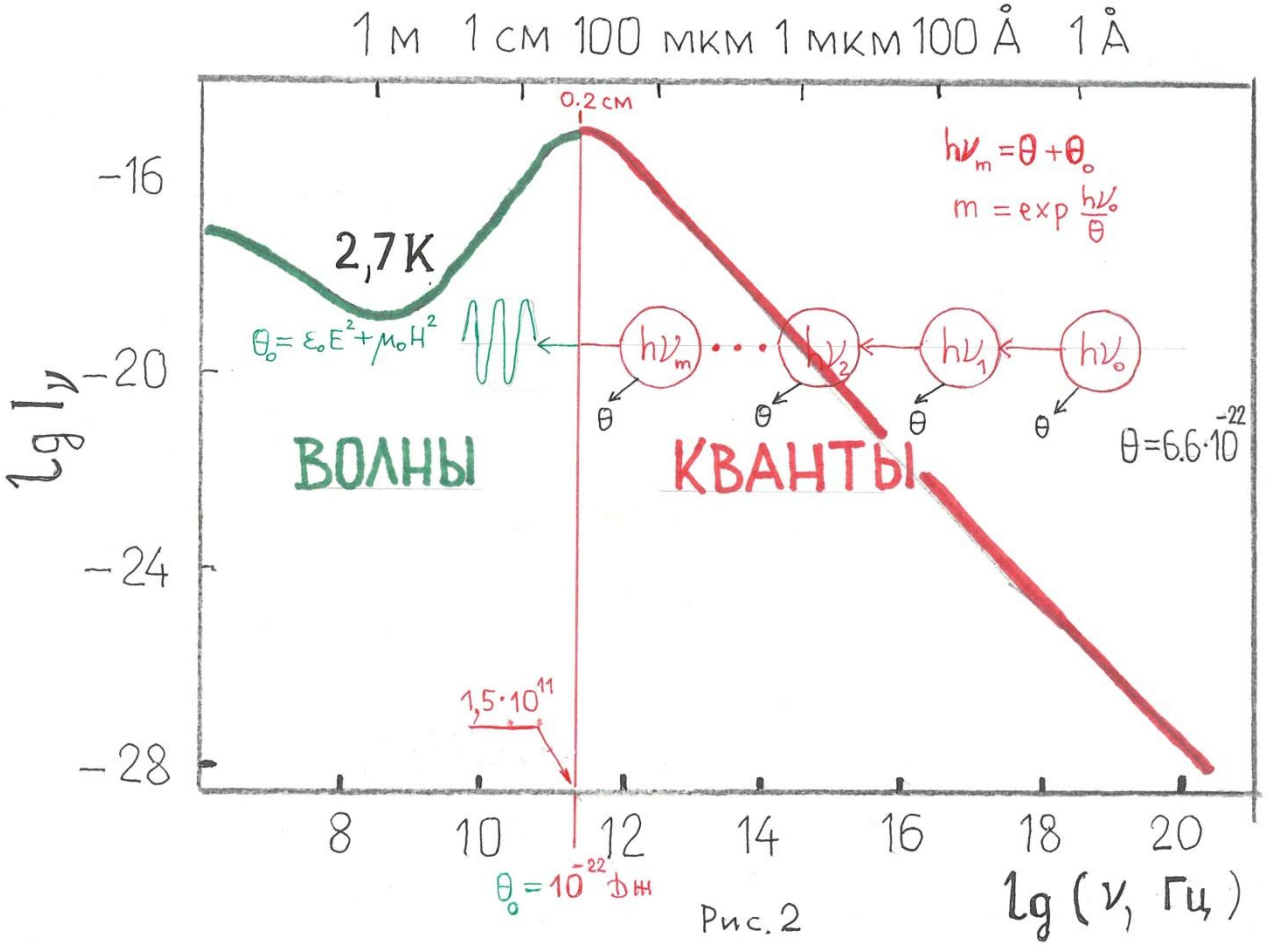


Рис. 2

На рис. 2 представлен график 1 с аппроксимацией результатов измерений космического излучения. Это сделана для лучшего понимания идей, изложенных в статье.

Основные формулы.

В [1] на основе Вариационного принципа, свойства распределения бозонов исследован одиночный фотон в вакууме и получено уравнение:

- линейная зависимость энергии от времени

$$\varepsilon = \varepsilon_0 (1 - \frac{t}{t_1}) \qquad (1)$$

- и время жизни фотона

$$t_1 = \frac{h}{\theta} e^{\frac{h}{\theta}\nu_o} \qquad (2)$$

- величина $\frac{h}{\theta} = 10^{-12}$ c^{-1} , определена в [1], как квант времени, т.е. минимальное время релаксации в природе, h – постоянная Планка, θ – фактор энергии , входящий в распределения бозонов и фермионов [3] , квант энергии, теряемой фотоном при « распаде» на каждом акте уменьшения частоты излучения [1] .

Квантование излучения. Границы.

Итак, фундаментальные представления о квантовании электромагнитного излучения ограничены некоторым порогом , определяемым из формулы времени жизни фотона. Принимая квант времени по величине равным времени релаксации и предположив t = e10^(-12) (приблизительно ноль времени жизни фотона) получаем ограничение по частоте излучения порядка 10^{12} колебаний в секунду – что близко к фону радиочастотного диапазона. Определим этот порог через – f.

Квантование излучения происходит не во всем диапазоне электромагнитных волн, а только в пространстве частот , ограниченных снизу , указанной величиной f , ниже этого значения происходит распространение волн. Распад фотона , уменьшение энергии, при достижении порога f завершается исчезновением кванта как частицы и далее энергия существует в виде волн.

Рассмотрение энергетического баланса [1] позволяет заключить , что энергия , излучаемая при каждом акте распада фотона , аккумулируется в энергию связи частиц Б – Э распределения т.е. с исчезновением фотона энергия переходит полностью в энергию потенциальную , обуславливающую энергию формирования распределения Б-Э , что справедливо как для Т-системы трека фотона , так и для системы t-наблюдателя. Вероятно, существует связь между энергией нулевых колебаний и энергией квантов θ.

Для фотона постулированный дуализм волна – частица адекватен феномену ФОТОН в том смысле , что при энергиях выше порога f - корпускула, ниже – волна. Подобный ‘ дуализм “ с необходимостью приводит к рассмотрению проблемы эфира , т.к. “ чистый “ (без полей и каких-либо сред) вакуум, лишенный взаимодействий между фотонами , невозможен из-за принципиально важной для настоящего рассмотрения ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ [1] между всеми фотонами . Поле потенциальной энергии фотонов , существующее вечно является тем ‘эфиром’- средой , в которой фотон распространяется вначале как квант – частица, а после потери энергии , отданной эфиру, за порогом f - как волна.

Неудачные попытки объединения гравитационных, электромагнитных и ядерных сил позволяют предположить , что проблема , возможно, продвинется к решению ,если это универсальное поле ‘искать’ в потенциальном поле формирования распределения бозонов. Принятие гипотезы эфира в виде фотонного потенциального поля энергии, предположительно, является весьма продуктивной в свете: устранения бесконечностей в квантовой механике и формирования уравнения объединенного поля, имеющего решение

Не отрицая изменения частоты за счет эффекта Доплера , констатируем :

- красное смещение космического излучения в основном обусловлено потерей энергии фотонов при движении в пространстве , формула (1) , вычисленной на основе Вариационного принципа [1] и свойства фотонов , являющимися частицами - бозонами , подчиняющимися статистике Б - Э [3].

- следует подвергнуть сомнению концепцию “ расширяющейся Вселенной “ , которая основана только на явлении эффекта Доплера , оказывающего незначительный вклад по сравнению со свойством фотонов терять энергию в процессе своего движения в пространстве.

- установлена граница f существования фотонов как частиц . Диапазону радиоизлучений , в котором никогда квантования не наблюдалось , соответствуют частоты ниже порога f .

Энергия микроволнового фона.

Итак, в [1] установлено, в зависимости времени жизни фотона от частоты (2), предельное значение энергии 10^{-22} Дж. ($10^{12}\ с^{-1}$) , при котором фотон существует как квант. Энергия, оставшаяся от « распада » (рис. 2) , распространяется в виде волн, причём с неизменяемой длиной волны, близкой (равной) волнам диапазона реликтового фона. Учитывая, что плотность энергии реликтового фона и , в сумме, ИК и оптического спектра совпадают (10^{-14}Дж $м^{-3}$) с необходимостью следует вывод : радиочастотный фон является следствием «остывших» фотонов ИК и видимого оптического излучения.

При достижении порогового значения энергии обеспечивается постоянное пополнение энергией фонового излучения и поддержание уровня 10^{-14} Дж $м^{-3}$, несмотря на многочисленные каналы потерь энергии радиоволн при взаимодействии с заряженными частицами и поглощению в объектах Вселенной.

К сему, численный пример. «Окно» микроволнового излучения 1 – 0.07 см. с максимумом в точке – 0.2 см., что соответствует частоте $1.5 \cdot 10^{11}\ с^{-1}$ для максимума и $0.5 \cdot 10^{12}\ с^{-1}$ для - 0.07 см.

Сравнение с Доплер-эффектом.

Увеличение длины волны при распаде фотона оказывается по величине больше, чем при Доплер - эффекте. Например, для источника света с частотой $10^{13}\ с^{-1}$ на расстоянии светового года длина волны от начальной $0.6 \cdot 10^{-5}$ увеличивается до $0.5 \cdot 10^{-4}$ м, при уменьшении расстояния до половины светового года - от $0.6 \cdot 10^{-5}$ до $1.1 \cdot 10^{-5}$ м.

Для сравнения , красное смещение от Доплер – эффекта при удалении источника со скоростью равной четверти от скорости света для частоты ИК диапазона $5.5 \cdot 10^{13}\ с^{-1}$ длина волны увеличивается с $0.6 \cdot 10^{-5}$ до $0.75 \cdot 10^{-5}$ м. Последнее значение при распаде достигается за время $3 \cdot 10^{9}$ с.

Время жизни фотона.

Важным результатом является зависимость скорости распада фотона $\vartheta = \frac{dE}{dt}$ от начальной энергии $h\nu_0$:

$$\vartheta = - \theta\nu_0 e^{-h\nu_0\,\theta^{-1}} \qquad (3)$$

что очевидно и из зависимости (1) - угловой коэффициент (по модулю) уменьшается с ростом начальной энергии .

Экспоненциальный рост времени жизни фотона проявляется при энергии выше 10^{-20} Дж (для частот более 10^{15} $с^{-1}$).

Гигантские времена жизни УФ, рентгеновских и γ – фотонов, при исследовании формул (2) и (3), исключают возможность участия этих излучений в формировании « пикового» по энергии интервала в области микроволнового фона, однако , при гипотетическом предположении полного распада этих фотонов до частоты 10^{12} $с^{-1}$, сохраняется логическая строгость выводов, основанных на формулах (1) – (2) - финал в распаде любого кванта завершается частотой радиоизлучения в области , так называемого , «реликтового» (?) фона с максимальной плотностью энергии в « окне » 0.01 – 3 см. , плотностью , превышающей остальной спектр частот в 25 - 10^5 раз.

Ответ на главный вопрос.

На вопрос : “ Почему энергия не распределена равномерно по всему спектру частот ? “ (рис.2) возможен только один ответ : “ Явление распада фотонов перемещает энергию всех источников излучений в интервал частот близких $10^{12}\,с^{-1}$ при достижении предельного уровня энергии для фотонов 10^{-22} Дж “ .

Что же касается “ горячего Б.В. “ , подтверждением которого является расширение Вселенной, установленное по красному смещению на основе Доплер – эффекта , то с учетом увеличения длин волн при распаде фотона “расширение” несколько замедляется … Образовавшийся фон микроволнового излучения при Б.В. , существует 13 млр. лет…вопреки закону сохранения энергии . Реликтовый ?

В КАЧЕСТВЕ ПОЯСНЕНИЯ

высказанных утверждений оценка величины космической энергии

на основе: 1) теории распада фотонов [1] ,

2) двух, следующих из этой теории, постулатов :

- I. Процесс распада фотона дискретный во времени и пространстве с интервалом, определённым как $\frac{h}{\theta} = 10^{-12}$ с.

- II. Величина энергии θ , теряемая фотоном на каждом акте распада в интервале времени 10^{-12} с , равна 6.6 10^{-22} Дж. Это значение также определяет минимальную энергию для существования фотона как частицы и соответственно величина 10^{-22} - определяет максимум области микроволнового фона.

Перераспределение энергии. Заметим - область микроволнового фона представляет “ накопитель” энергии, ранее распавшихся фотонов, чем и поддерживается постоянный уровень интенсивности микроволнового фона.

Итак, установлено, что при распаде фотона происходит уменьшение энергии дискретным образом с излучением кванта энергии величиной θ при каждом акте распада, причём эта энергия θ , приводящая к уменьшению энергии “ материнского” фотона последовательно до частот микроволнового диапазона, аккумулируется в энергию потенциальную – фотонов ансамбля распадающегося фотон и фотонов всей Вселенной. Кванты θ заполняют пространство потенциальной энергии, которая по современным представлениям, не востребована, хотя гипотетически , является тем “ материальным “ полем (которое раньше называли “эфиром”), в котором формируется излучение фотона , его движение, распад, физические процессы столкновений, преломления и дифракции. В скобках (исследование этого потенциального поля откроет практические способы извлечения энергии , подобно тому, как например, в настоящее время используются явления света – оптика, голография и энергетического преобразования свет – электроэнергия.)

Вычисления. Величины потенциальной энергии фотонов - порядка 10^{19} Дж в $м^3$ с постоянным пополнением - 10^8 Дж в $м^3$ в год. В пространстве нашей Галактики эта энергия достигает величины - 10^{30} Дж.

Подробно:

- предполагаем время жизни Вселенной – 10 млр. лет
- принимаем год - 10^{10} сек., общее время - 10^{20} сек.
- в каждый интервал времени $\frac{h}{\theta} = 10^{-12}$с испускается энергия $\theta = 10^{-22}$ Дж в поле потенциальной энергии фотонов, За время существования Вселенной произошло 10^{32} актов,
- Учитывая, что в м^3 фотонов $4 \cdot 10^8$, то полная энергия - $3 \cdot 10^{19}$Дж.

Заметим, что эта энергия потенциальная и проявление этой энергии в гравитационных эффектах не существует, однако, её использование при определённых условиях возможно, подобно потенциальной энергии земного притяжения.

Строгости ради и в качестве заключения подчеркнем: энергия первоначального фотона разделяется на два канала – загрузка микроволнового фона и поток квантов в потенциальное фотонное поле. Связь потенциальной энергии с энергией нулевых колебаний - предмет дальнейших исследований.

Заключение. На основе вариационного принципа в координатах E-t получено уравнение зависимости фотона от времени. Исследование этого уравнения позволило:

- установить природу « реликтового» фона и однозначно указать основную частоту микроволнового излучения , в соответствии с рассматриваемым здесь процессом.
- к известным каналам красного смещения добавить превалирующее явление сдвига волн по природе потери энергии движущимся фотоном,
- установить , что частота микроволнового фона совпадает с предсказанной окончательной частотой распада .
- показать важность больших времён жизни фотонов рентгеновского и гамма – излучений при расшифровке космических измерений ,
- сравнить значимость фундаментального эффекта Доплера и явления распада фотона,
- обратить внимание исследователей на проблему Б.В.

Библиографический список:

1. Ломашевич С.А. Фотон. Уравнение и теория распада. – СПб изд. ‘Культ Информ Пресс’ , 2015. – 76 стр. ISBN 978-5-8392-0553-6.

2. Дорфман Л.И. Экспериментальные и теоретические основы астрофизики космических лучей. М. Наука 1975. – 464 с.

3. Левич В. Г. Курс теоретической физики . Изд . “ Наука “, М.,1971 г

Бизюкова Елизавета Евгеньевна
Bizyukova Elizaveta Evgenievna
Студентка магистратуры Самарского государственного технического университета института автоматики и информационных технологий. E-mail: lizaveta5.6@mail.ru

Яковлева Анастасия Евгеньевна
Yakovleva Anastasia Evgenievna
Студентка магистратуры Самарского государственного технического университета института автоматики и информационных технологий. E-mail: nastya-yakovleva-97@mail.ru

УДК 614.84

УСТАНОВКИ ПОЖАРОТУШЕНИЯ НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

FIRE FIGHTING INSTALLATIONS AT OIL AND GAS INDUSTRY OBJECTS

Аннотация: В настоящее время нефтегазовая отрасль играет весьма существенную роль. В то же время основной спецификой нефтегазовой отрасли является добыча, хранение и подготовка огромных количеств нефти и газа, являющихся чрезвычайно пожароопасными веществами. Высокая пожароопасность нефти и газа обуславливает высокие вероятности возникновения пожаров при реализации тех или иных аварийных ситуаций, а также значительные скорости распространения пожара по территории нефтегазодобывающего предприятия. Концентрация на относительно небольшой площади огромных количеств пожаровзрывоопасных веществ обуславливает возможность реализации крупных пожаров и взрывов с катастрофическими последствиями, приводящими к значительным экономическим потерям, загрязнению окружающей среды и, что наиболее существенно, к многочисленным человеческим жертвам. Этим и обуславливается активное внедрение на объекты нефтегазовой отрасли автоматизированных установок пожаротушения.

Abstract: currently, the oil and gas industry plays a very significant role. At the same time, the main specificity of the oil and gas industry is the production, storage and preparation of huge quantities of oil and gas, which are extremely flammable substances. High fire hazard of oil and gas causes high probability of occurrence of fires in the implementation of certain emergency situations, as well as significant rates of fire spread on the territory of the oil and gas enterprise. The concentration on a relatively small area of huge amounts of flammable substances causes the possibility of large fires and explosions with catastrophic consequences, leading to significant economic losses, environmental pollution and, most importantly, to numerous human casualties. This is the reason for the active introduction of automated fire extinguishing systems to oil and gas facilities.

Ключевые слова: нефтегазовая отрасль, пожароопасность, аварийные ситуации, автоматизация, установки пожаротушения.

Key words: oil and gas industry, fire hazard, emergency situations, automation, fire extinguishing installations.

Нефтегазовый комплекс включает в себя:

-предприятия по добыче нефтепродуктов;

-предприятия по транспортировке и сбыту нефтепродуктов;

-предприятия по переработке нефтепродуктотв.

По правилам пожарной безопасности на этих объектах есть нефтепродукты повышенной горючести и взрывоопасности. Для снижения рисков возникновения пожаров и аварийных ситуаций необходимо придерживаться правил проектирования зданий, сооружений, оборудования.

Также обучить рабочий персонал и ответственных лиц правилам пожарной безопасности, осуществлять своевременный контроль по исполнению обязанностей.

Также должны присутствовать системы сигнализации, зачастую не связанные с другими системами, газоанализаторы, сеть пожарных водопроводов, насосы и станции. При любых изменениях в работе такого оборудовании уполномоченные лица обязаны уведомить органы Государственного пожарного надзора.

Установки пожаротушения (УП) используются для погашения или локализации пожара. Для защиты от пожара используются разнообразные стационарные установки. Данные установки

классифицируются по назначению, ввиду огнетушащего вещества, режиму работы, степени автоматизации, конструктивному исполнению, принципу работы и инерционности. Установки пенного пожаротушения защищают технологическое оборудование химических и нефтехимических производств, складов и нефтебаз, нефтепродуктов и остальных объектов, где в существенном количестве используются легковоспламеняющиеся и горючие жидкости.

Установки, сочетающие в себе функции тушения или локализации, обязаны выполнять и функции пожарной сигнализации. Установки должны обеспечивать: время срабатывания, которое должно быть меньше предельно допустимого времени свободного развития пожара; время работы в режиме тушения, требуемое чтобы ликвидировать возгорание; интенсивность подачи огнетушащего вещества не менее установленной нормативами; надежность функционирования. Установки должны быть оснащены устройствами: звукового и светового предупреждения о пожаре; контроля давления в заполненных трубопроводах, импульсном устройстве и емкостях, содержащих средство для тушения пожара; для ремонта и контроля работоспособности контрольно - пусковых устройств, распределительных устройств и насосов без выпуска огнетушащего вещества из распределительной сети или емкостей, в которых содержится вещество для тушения огня; подачи вещества для тушения огня от передвижной пожарной техники; подвода газа и жидкости для промывки трубопроводов и при проведении испытательных мероприятий; монтажа и обслуживания оросителей и трубопроводов при заданной высоте их размещения.

Установки объемного пожаротушения должны обеспечивать формирование командного импульса: на автоматическое отключение вентиляционных систем и перекрытие по мере надобности проемов в смежные помещения до начала выпуска огнетушащего вещества в защищаемое помещение; на самозакрытие дверей; на задержку срабатывания установки на время, необходимое для эвакуации людей, но не менее чем на 10 секунд. У

Установки должны быть оборудованы ручным спуском: дистанционным - от устройств, размещенных у входа в защищаемое помещение, и по мере возникновения потребности - с пожарного поста; местным - от устройств, размещенных на станции пожаротушения; местным - от устройств, размещенных на запорно-пусковом узле. Устройства ручного пуска установок требуется выполнять защищенными от несанкционированного запуска, а также механического повреждения, и располагаться они должны вне возможной зоны горения. Установки пенного пожаротушения нужно оснащать устройствами для изготовления раствора или автоматического дозирования пенообразователя, недопущения попадания пенообразователя в водопровод питьевого и производственного назначения, а также сосудами для слива пенообразователя из трубопроводов и распределительной сети. Установка пенного пожаротушения обязана иметь 100% резерв пенообразователя.

Пример установки пенного пожаротушения на нефтегазовой отрасли приведен на рисунке 1.

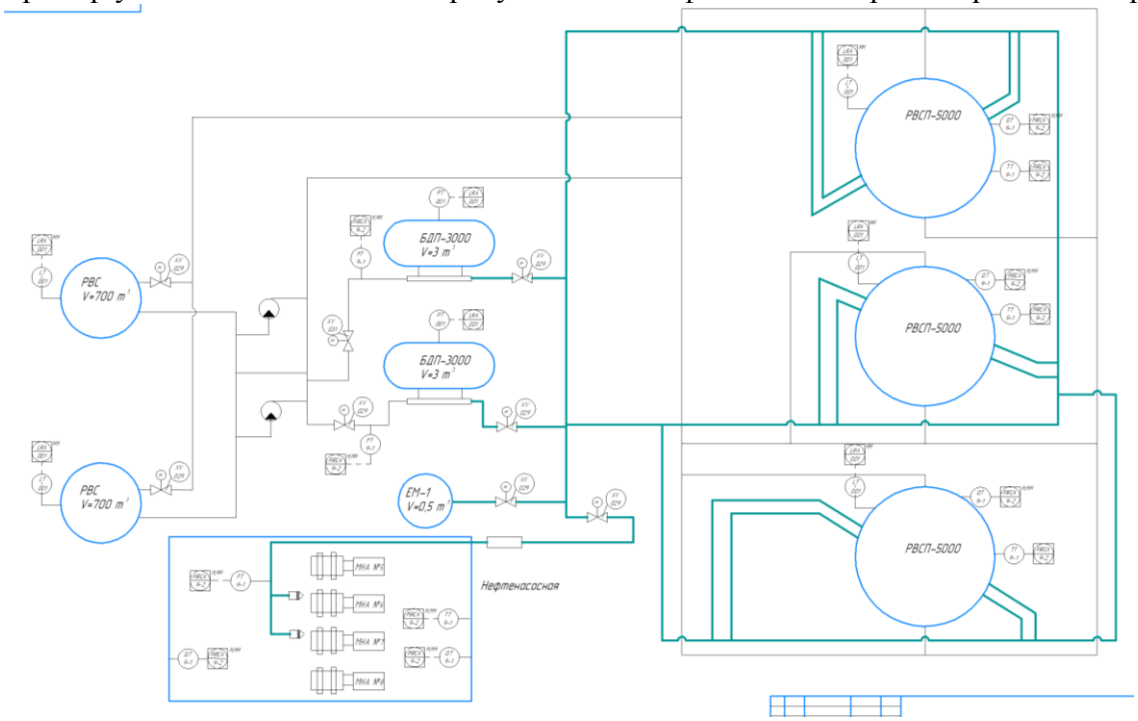


Рисунок 1- Установка пенного пожаротушения

Библиографический список:

1. https://protivpozhara.com/bezopasnost/na-obektah/neftegazodobychi
2. С. В Собурь Установки пожаротушения автоматические: Учебно-справочное пособие. - 7-е изд., перераб. - М.: ПожКнига, 2012. - 336 с., ил. - Серия "Пожарная безопасность предприятия"
3. ГОСТ 12.4.009-83 Система стандартов безопасности труда. Пожарная техника для защиты объектов. Основные виды
4. Молчанов В.П., Сучков В.П., Безродный И.Ф. и др. Пожары резервуаров с нефтью и нефтепродуктами. М.: НИИТЭХИМ, 1992

Черниченко Алексей Владимирович
Chernichenko Alexey Vladimirovich
студент IV курса кафедры ЭГПП ФГБОУ ВО КузГТУ, г.Кемерово
E-mail: chernichenko98@mail.ru

Шурупов Виктор Владимирович
Shurupov Victor Vladimirovich
научный руководитель
доцент кафедры ЭГПП ФГБОУ ВО КузГТУ, г.Кемерово
E-mail: shurupov_1950@mail.ru

УДК 621

СРАВНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ОПТОВОГО РЫНКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ПУТИ СНИЖЕНИЯ ЦЕН НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ ДЛЯ ПОКУПАТЕЛЕЙ

COMPARISON OF MODELS OF THE WHOLESALE ELECTRICITY MARKET AND LOOKING FOR WAYS TO REDUCE ELECTRICITY PRICES FOR CUSTOMERS

Аннотация: в данной статье проанализированы различные модели оптового рынка электроэнергии (ОРЭ). Рассмотрен ряд положений, которые важны для сравнение основных моделей рынка в электроэнергетике. Приведены некоторые данные о работе ОРЭ в Объединенной энергосистеме Сибири (ОЭС Сибири). Обозначены пути уменьшения платы за электроэнергию на оптовом рынке для покупателей.

Abstract: this article analyzes various models of the wholesale electricity market (EPR). A number of provisions that are important for comparison of the main market models in the electric power industry, which appeared after the departure of the Russian Federation in the market economy, are considered. Some data on the operation of EPR in the United power system of Siberia (OES of Siberia) are presented. The concept of possibility of reduction of payment for the electric power in the wholesale market for buyers is developed.

Ключевые слова: оптовый рынок электроэнергии, тарифы на оптовом рынке электроэнергии, ценообразование.

Key words: wholesale electricity market, tariff, pricing, costs, competition, electricity generation.

Можно определить четыре основные модели ОРЭ [1].

1. Регулируемая естественная монополия (отсутствие конкуренции). В этой модели вся организация рынка регулируется государством (объемы продаж, тарифы, методика расчета тарифа и т.д.). Регулируемые вертикально-интегрированные компании занимаются производством, распределением, транспортом, и сбытом электрической энергии на своей территории, несут ответственность за бесперебойное электроснабжение. Развитие энергосистем производится за счет инвестионной добавки в тариф для потребителей.

Недостатками регулируемых монополий являются: высокие тарифы в ряде стран, «переинвестирование» - излишнее развитие генерирующих мощностей (с резервами до 30-40 %) и др. Основным недостатком данной модели рынка является отсутствие стимула у электростанций к снижению издержек производства.

Распределение и транспорт электрической энергии считаются монопольными, и в них сохраняется государственное регулирование.

2. Единый покупатель (конкуренции среди Поставщиков). В данной модели устройства рынка Единый Покупатель (“Закупочное агентство”) покупает электроэнергию у всех Поставщиков. За поставку электроэнергии “Закупочному агентству” электрогенерирующие компании (ЭГК) конкурируют друг с другом. “Закупочное агентство” продает электроэнергию всем покупателям по ценам, которые формируются как средневзвешенная цена поставок электроэнергии поставщиками за расчетный период (период может быть любым), с добавлением“ инвестиционной составляющей”, необходимой для строительства новых электростанций.

“Закупочное агентство” обязано своевременно развивать электроэнергетическую систему, а также бесперебойно снабжать потребителей электроэнергией. При необходимости “Закупочное агентство” заключает долгосрочные договоры с инвесторами на строительство электростанций.

Данная модель рынка “Единый покупатель” позволяет:

- Из-за конкуренции поставщиков получить наименьшую стоимость поставок электроэнергии на оптовый рынок;
- Для покупателей исключить непредсказуемый характер цен на электроэнергию;
- Получить средства для постройки современных электростанций, включая инвестиционную составляющую в тарифы всех покупателей;
- Управлять процессом развития электроэнергетической системы.

3. Конкуренция на оптовом рынке (конкуренция среди Поставщиков и оптовых Покупателей). На базе бывших вертикально-интегрированных компаний (в России – АО-энерго) образуются нескольких распределительно-сбытовых компаний (РСК), монопольно снабжающих потребителей на своей территории. Образуются конкурентные отношения среди поставщиков и оптовых покупателей. Останавливается регулирование цен на оптовом рынке. Вследствие ценообразования по маржинальному принципу оптовые цены повышаются до ценовых заявок электростанций, замыкающих баланс, т.е. максимальных из прошедших конкурентный отбор.

Таким образом, цены на электроэнерию повышаются выше средних издержек производства только вследствие изменения алгоритма расчета цен, а не из-за какого - либо увеличения затрат поставщиков.

Появляется ценовой барьер для вхождения в рынок новых производителей электроэнергии, возникают трудности с финансированием строительства новых электростанций.

4. Конкуренция на оптовом и розничных рынках (конкуренция среди Поставщиков, оптовых и розничных Покупателей). Дополнительно разделяется сбыт электроэнергии и распределения с образованием регулируемых сетевых компаний (по территориям) и множества независимых сбытовых компаний. Число работников управленческого персонала еще более возрастает. Организуются розничные рынки электроэнергии, на которых конкурируют друг с другом сбытовые компании(покупающие электроэнергию на оптовом рынке) и потребители.

Необходимо хотя бы кратко рассмотреть ряд положений или моментов, которые важны для сравненмя моделей рынка.

Рынки 1 и 2 хороши для покупателей электроэнергии, так как в них тарифы устанавливаются как средневзвешенная величина стоимости поставок Поставщиков. Финансирование развития ЭЭС обеспечивается за счет включения “инвестиционной составляющей” в тарифы всех Покупателей.

Рынки 3 и 4 выгодны Производителям электроэнергии, которые продают электроэнергию по маржинальным ценам, которые, как правило, выше их собственных издержек.

Безусловно, конкуренция является движущей силой рыночной экономики. Благодаря конкуренции снижаются издержки производства и, в конечном итоге, цены продукции. Однако, очень важно различать, кто получит эффект от конкуренции – производители или потребители. Их интересы прямо противоположны.

Эффект для потребителей может быть лишь в снижении цен. Если цены не снижаются или, наоборот, повышаются, то никакого эффекта для потребителей нет – весь эффект от конкуренции достается производителям. Именно это происходит при переходе к конкурентным рынкам 3 и 4, в которых формируются маржинальные оптовые цены.

Главным недостатком конкурентных рынков следует считать повышение оптовых цен на электроэнергию до уровня маржинальных, соответствующих издержкам наименее экономичных электростанций, востребованных на рынке(рисунок 1).

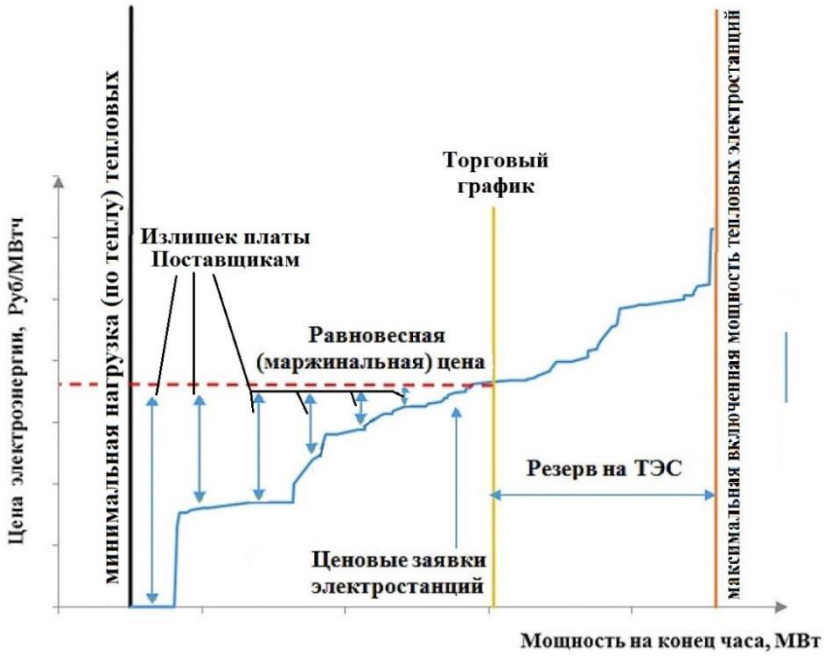


Рисунок 1 - График зависимости равновесной(маржинальной) цены на ОРЭ от 485 ценовых заявок электростанций и величины вращающегося резерва на ТЭС в ОЭС Сибири.

Появляется противоречивая ситуация – конкуренция вводится для повышения эффективности производства, снижения издержек и, следовательно, цен на электроэнергию, а в электроэнергетике, наоборот, цены на конкурентном оптовом рынке повышаются. Следовательно, потребители электроэнергии не только не получают эффекта от конкуренции на рынке, но еще и терпят ущерб. Весь эффект от конкуренции на рынке достанется производителям электроэнергии. Таким образом, конкурентный рынок в электроэнергетике выгоден только производителям электроэнергии.

Формирование маржинальной цены на электроэнергию никак не связано с эффективностью производства. Оно обусловлено лишь тем, что электростанции имеют разные издержки, обусловленные разными причинами(время постройки, вид топлива, тип турбин, схемой сети и т.п.).

Второй серьезный недостаток конкурентных рынков моделей 3 и 4 - появление трудностей со строительством новых электростанций, обусловленных изменением механизма их финансирования и образованием ценового барьера для вхождения в рынок новых производителей. Если в моделях 1 и 2 инвестиции в какую-либо новую электростанцию распределяются (делятся) на всю покупаемую в системе электроэнергию, то в моделях 3 и 4 эти инвестиции должны окупаться самой электростанцией, за счет продажи своей электроэнергии. Вновь построенная электростанция должна включать инвестиционную составляющую в свой тариф. В [2] приведен расчет показывающий, что ценовая заявка новой электростанции не может быть ниже 3000 руб/МВт.ч, при ценах на ОРЭ – 600 – 700 руб/МВт.ч. (В ценах 2013 года).

Себестоимость выработки на проектируемых электростанциях (без учета инвестиционной составляющей) ниже существующих за счет более совершенного оборудования, снижения численности обслуживающего персонала и т.д. Но, инвестиционная составляющая, добавленная к себестоимости (даже сниженной по сравнению с действующими электростанциями), делает новые электростанции неконкурентоспособными, а стало быть невостребованными на рынке.

В [2] приведен краткий расчет (в ценах 2013 года) инвестиционной составляющей тарифа на электроэнергию для всех покупателей обеспечивающей получение необходимых средств для строительства новых электростанций. Согласно приведенному расчету для строительства новой мощности электростанций, покрывающих ежегодный прирост потребления в 2% необходимо увеличить тариф для всех покупателей на 110 руб/МВт.ч.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что строительства электростанций, за счет частных инвестиций, не будет, что собственно и подтверждается отсутствием, обеспеченных финансированием, планов строительства в Сибири электростанций после 2015 года.

Оплата выработки ГЭС по тарифам ФАС – является наиболее эффективным способом уменьшения цен для потребителей ОЭС Сибири. В настоящее время функции по установлению тарифов выполняет федеральная антимонопольная служба. (ФАС).

В конкурентном оптовом рынке гидроэлектростанциям за выданную электроэнергию оплачивают так же, как и тепловым электростанциям – ценам, сложившимся на оптовом рынке («рынке на сутки вперед» (РСВ) и «балансирующем рынке» (БР)).

Структура расходов на производство электроэнергии на ГЭС хорошо известны — амортизационные отчисления, зарплата, налог на продажу электроэнергии и водный налог, затраты на ремонт оборудования, эксплуатационные расходы, определенная норма прибыли, эти расходы и учитываются при расчетах тарифов ФАС для ГЭС. Почему цена электроэнергии, поставляемая гидроэлектростанциями на оптовом рынке в 35-40 и более раз выше тарифов ФАС. Ответ очевиден: причиной этого является методика расчетов. Никаких других обоснований для оплаты выработки ГЭС выше, чем по тарифам ФАС, нет.

Доля выработки ГЭС в ОЭС Сибири составляет от трети до половины от общей выработки (в зависимости от сезона и приточности), при оплате выработки ГЭС по тарифам ФАС, цена электроэнергии для покупателей уменьшится в ОЭС Сибири в среднем за год на 35-40%.

Кроме того, по ориентировочным расчетам, если заменить маржинальное ценообразование, на средневзвешенную стоимость поставки поставщиков, то цена электроэнергии для покупателей ОРЭ Сибири уменьшится еще на 10%.

Тем самым в рынке «Единый покупатель» решается задача снижения цен для оптовых покупателей, исключается неоправданная волатильность, обусловленная механизмом ценообразования конкурентного рынка.

Кроме того, наконец, появится возможность устранить т.н. “ломаные” графики для тепловых электростанций, приводящие к увеличению расхода топлива и к ускоренному износу оборудования.

У конкурентных рынков электроэнергии (модели 3 и 4), существует ряд других недостатков, помимо двух рассмотренных:

Отсутствие органа, ответственного за бесперебойное электроснабжение страны и своевременное развитие ЕЭС и располагающего необходимыми для этого финансовыми ресурсами. «Гарантирующие поставщики», предусмотренные Законом «Об электроэнергетике», могут лишь заключать договоры на поставку электроэнергии со всеми желающими потребителями. Однако у них нет никаких рычагов для устранения дефицита или роста цен на оптовом рынке, где они будут закупать электроэнергию, т.е. «гарантирующие поставщики» фактически не смогут гарантировать удовлетворение всех потребностей в электроэнергии.

Заключение

Таким образом, конкурентный рынок в электроэнергетике (модели 3 и 4) наносит прямой ущерб потребителям в связи с повышением цен и возможным дефицитом электроэнергии. В отличие от стран Запада реформа электроэнергетики в России началась при низких тарифах на электроэнергию. Низкие цены энергоносителей являются благом для России с ее суровым климатом и большой территорией (транспортными расходами). Их повышение приводит к снижению конкурентоспособности российской экономики, инфляции и т.п. Развитие энергетики должно проходить под контролем государства. В этой важнейшей отрасли страны нельзя полагаться на рыночную стихию, необходимо совместить централизованное регулирование с оптимизацией работы электростанций за счет конкуренции. Такая возможность предоставляется в модели рынка «Единый покупатель».

Из последних новостей из мира электроэнергетики - Россия обогнала США по цене на электроэнергию. [3]

Библиографический список:

[1] Беляев Л.С, Шурупов В.В. Сравнительный анализ моделей оптового рынка электроэнергии // Энергоэксперт. – 2008. – № 7.

[2] Шурупов В.В. О некоторых проблемах конкурентного оптового рынка электроэнергии (на основании анализа работы рынка во Второй ценовой зоне) // Энергорынок –октябрь 2013

[3] Россия обогнала США по цене на электроэнергию /Яндекс/Новости от 10.12.2019 08:27

Каюков Игорь Юрьевич
Kayukov Igor Yurevich
студент, Самарский Государственный Технический Университет, кафедра Автоматизации технологических процессов и производств
г. Самара. E-mail: Igoryn.Kayukov@yandex.ru

Константинов Алексей Вадимович
Konstantinov Aleksey Vadimovich
студент, Самарский Государственный Технический Университет, кафедра Автоматизации технологических процессов и производств
г. Самара. E-mail: GGboba1@yandex.ru

Жалилова Анна Александровна
Zhalilova Anna Aleksandrovna
преподаватель, Самарский Государственный Технический Университет, кафедра Автоматизации технологических процессов и производств
г. Самара. E-mail: odinanya@yandex.ru

УДК 004.94

УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМИ СЛОЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ В СИСТЕМАХ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

MANAGING COMPLEX TECHNICAL OBJECTS IN REAL-TIME SYSTEMS

Аннотация: Процедуры проектирования, синтеза, имитационного моделирования и целевой реализации алгоритмов решения оптимизационных задач в иерархических автоматизированных системах управления сложными объектами требует использования разнообразного математического и программно-аппаратного обеспечения в течение научно-исследовательских и проектных работ. В данной статье предлагается унификация математического и алгоритмического обеспечения в виде единой концепции решения задач оптимального управления.

Abstract: The procedures for the engineering, synthesis, simulation and targeted implementation of algorithms for solving optimization problems in hierarchical automated control systems require complex objects using a variety of mathematical and software and hardware for research and engineering work. In this article the unification of mathematical and algorithmic support in the form of a unified concept of solving optimal control is proposed. We propose to use LabVIEW software and CompactRIO industrial controller as the unification of software and hardware implementation of mathematical-algorithmic developments, on which developed software tools to solve optimization problems using genetic algorithm.

Ключевые слова: имитационное моделирование, автоматизация систем управления, оптимизация систем управления, LabVIEW, генетический алгоритм, генетический оптимизатор.

Keywords: simulation, automation of control systems, optimization of control systems, LabVIEW, genetic algorithm, genetic optimizer.

Решение оптимизационных задач управления в сложных системах не имеют традиционного простого решения и в каждом конкретном случае требуют трудоемких научных разработок [1]. Это объясняется тем, что оптимизационные задачи – крайне сложные процедуры, предусматривающие изучение и имитационное моделирование сложных объектов управления (ОУ), стратегий и ситуаций, создание альтернатив и поиск вариантов решений на альтернативах, исходя из конкретного ситуационного состояния ОУ и окружающей среды. Возможность реализации таких процедур ограничивается с одной стороны реальной динамикой ОУ и быстродействием технических средств реализации иерархических автоматизированных систем управления (АСУ), с другой – разноплановостью, сложностью и неэффективностью алгоритмов решения таких задач, особенно в условиях неопределенности, изменения параметров ОУ, возмущений, изменения критериев функционирования и другим. Все это приводит к тому, что оптимизационные задачи в АСУ в полной мере практически не реализуются, хотя должны решаться на каждом уровне иерархической АСУ. При решении оптимизационных задач в иерархических АСУ на всех уровнях можно применять в

качестве основы, методику решения двухэтапной задачи оптимального управления (ЗОУ).

Суть единой концепция решения ЗОУ заключается в унифицированном подходе к решению оптимизационных задач на всех уровнях иерархической АСУ. Согласно этой концепции оптимизационные задачи на всех уровнях представляются обобщенной моделью в виде кортежа, объединяет модель ОУ, критерии, которые представляют оптимизационные задачи, ограничения на управляющие воздействия и состояния ОУ и промежуток времени на котором решается оптимизационная задача. Оптимизационные задачи решаются путем генетического алгоритма на моделях АСУ, как задачи параметрической оптимизации регуляторов. Модели ОУ представляются лингвистическими или нейросетевыми структурами [2], параметры которых также налаживаются генетическим алгоритмом [3], как задачи параметрической оптимизации. Такой подход к решению оптимизационных задач управления сводит весь процесс до эвристики и позволяет избежать использования сложных математических процедур, как при построении моделей ОУ, так и при решении оптимизационных задач. Единая концепция реализует методику решения двухэтапной задачи оптимизации на всех уровнях иерархической АСК в такой обобщенной последовательности:

- представить ЗОУ которая включает в себя кортеж, объединяет модель ОУ, критерии, которые представляют оптимизационные задачи, ограничения на управляющие воздействия и состояния ОУ и промежуток времени на котором решается оптимизационная задача;
- разработать модель ОУ, исходя из априорных и экспериментальных данных;
- исходя из модели ОК синтезировать структуру регулятора и построить модель системы управления;
- найти оптимальные параметры отладки регулятора, решают оптимизационные задачи на модели системы управления;
- путем моделирования работы модели системы управления найти множество оптимальных программ управления ОК для различных допустимых условий и состояний его функционирования, создать необходимый банк оптимальных программ управления;
- реализовать замкнутую систему управления ОК с оптимально настроенным регулятором;
- для решения оптимизационной задачи использовать соответствующую оптимальную программу управления из банка оптимальных программ и управления оптимального регулятора;
- полученную дополнительную информацию о качестве решения оптимизационной задачи в процессе функционирования системы использовать для адаптации системы управления

При решении многокритериальных оптимизационных задач используются технологии скаляризации многокритериальных задач, в частности, это выбор основного критерия и сведения других до уровня ограничений, скаляризации на основе компромиссов, или приоритетов, последовательная оптимизация критериев с области Парето, свертка критериев путем их «размывания» на нечетких множествах и другие. Интеллектуальные системы управления на основе лингвистических и нейросетевых моделей с генетическим поиском оптимальных параметров настройки моделей и регуляторов могут быть основой для построения структур систем управления, решают оптимизационные задачи на всех уровнях иерархической системы управления. Исходя из этого разработана единая концепция решения оптимизационных задач для всех уровней иерархической системы управления и технологию ее реализации.

Технология реализации единой концепции требует программных сред для создания и моделирования лингвистических и нейросетевых систем управления и программных средств для реализации оптимизационных процедур генетического поиска оптимальных параметров моделей объектов и регуляторов. Математическое решения оптимизационных задач это достаточно длительный и затратный вычислительный процесс. Обычно решения таких задач происходит на этапе исследования ОУ, проектировании АСУ, имитационного моделирования системы в целом и т.д. то есть вне режима эксплуатации АСУ на реальном ОУ. Современное состояние автоматизации ОУ и построения АСУ требует от систем способности к решению ЗОУ в реальном времени. Часто процедуры моделирования, проектирования, программирования, целевого выполнения выполняются на совершенно разных программно-аппаратных платформах, разнообразными программными средствами и техническими устройствами [4].

Поэтому кроме унификации математического аппарата для решения ЗОУ в сложных АСУ возникает также вопрос в выборе универсального программно-аппаратного обеспечения для дальнейшей практической реализации оптимизационных концепций. Такого единого готового решения среди общественности программных средств на рынке не существует. Поэтому на базе

программного комплекса LabVIEW компании National Instruments был разработан программный инструментарий для проектирования и моделирования лингвистических и нейросетевых моделей ОУ и систем управления и программных средств для реализации генетического алгоритма (ГА). В качестве аппаратной исполнительной платформы для проведения научных исследований используется промышленный контроллер автоматизации CompactRIO компании National Instruments. Использование такого комплекса программно-аппаратных средств значительно упрощает проведение исследований, а именно процедур моделирования, настройка и программной реализации синтезированных структур в АСУ.

Обобщенный алгоритм работы системы GenOp состоит из шагов:

Шаг 1. Начало работы системы GenOp. Выбор критерия оптимизации. Среди реализованных программно КО избираются необходимые блок-диаграммы и формируется программный фрагмент, который в дальнейшем будет использоваться в генетической оптимизации ГО. Вводятся необходимые настройки Критериев оптимизации КО.

Шаг 2. Выбирается режим работы системы GenOp, что способна функционировать в двух режимах: режим моделирования (статический) и режим реального времени (динамический). В случае выбора режима реального времени – переход к шагу 6, иначе – шаг 3.

Шаг 3. Выбор Целевой структуры оптимизации ЦСО, состоящий из регулятора и модели ОУ. Выбор выполняется путем введения пути и имени файла виртуального инструмента с соответствующим ЦСО.

Шаг 4. Выполнение модулю ГО. Перед началом работы вводятся необходимые настройки ГО, добавляется КО и подключается внешний файл с ЦСО.

Шаг 5. Выполняется проверка завершения работы ГО. В случае достижения целевого КО переход к шагу 8, иначе – опять к шагу 4, пока не будет достигнуто целевого КО, или пока не кончится счетчик итераций поискового ГА.

Шаг 6. Выбор ЦСО, состоящий из регулятора и каналов аппаратного считывания и записи данных о состоянии реального ОК через платы / модули ввода / вывода. Выбор выполняется путем введения пути и имени файла виртуального инструмента с соответствующим ЦСО.

Шаг 7. Выполняется проверка завершенности работы ОО на этапе 5. В случае завершенности оптимизации – переход к шагу 9, иначе – к шагу 4, пока не будет достигнуто целевого КО, или пока не кончится счетчик итераций поискового ГА.

Шаг 8. Сохранение результатов ОО для дальнейшего использования в оптимальном управлении в виде вектора оптимальных управлений и (или) оптимальных настроек регулятора. Конец.

Шаг 9. Для режима работы системы GenOp в реальном времени выполняется постоянное хранение текущего состояния ОУ в буферный стек. Размер такого буфера выбирается пользователем. В случае достижения предела переполнения, вместе с записью состояния ОК стеке, также начинается считывание первых данных, позволяет организовать смещение истории (кадр) о текущем состоянии ОУ в реальном времени.

Шаг 10. Выполняется проверка управления путем сравнения текущей ошибки модели ОУ и соответствующей ошибки реального ОУ ГО. В случае когда управление удовлетворяет – Конец работы GenOp, иначе – переход к шагу 11.

Шаг 11. Выполняется считывания текущего состояния (кадра) ОУ с стека и снова переход к шагу 4.

Параметров ГА оптимизации достаточно много. Конечно, от значений этих параметров. Зависит эффективность целевого поиска в зависимости от типа решаемых задач. Существуют некоторые средние значения, при которых успешно решаются практически все типы задач оптимизационного характера. Управляющие параметры модуля ГО: - режим мутации: каждый бит инвертируется с определенной вероятностью; инвертируются те биты совпадающие с родительскими хромосомами (координатами) с определенной вероятностью; мутация отсутствует; - объем буфера «разгона» для размещения исходной популяции; - объемы следующих популяций (массивов) – число итераций (поколений, шагов оптимизации). Работа ГА в модуле ОО состоит в следующем: перед первым шагом нужно случайным образом создать начальную популяцию индивидов; даже если она окажется совершенно неконкурентоспособной, вероятно, что ГА все равно достаточно быстро переведет ее в жизнеспособную популяцию. Поэтому итогом первого шага алгоритма является популяция H, состоящая из N особей. Размножение в ГА обычно половое – чтобы создать потомство

(биологический принцип), нужны несколько родителей, обычно двое. Размножение в разных ГА определяется по-разному и иногда зависит от представления данных. Главное требование к размножению – чтобы потомок или потомки имели возможность унаследовать черты обоих родителей, «смешав» их любым способом. Мутациям относится все то же самое, что и к размножению: есть некоторая доля мутантов m, что является параметром ГА, и на этапе мутаций нужно выбрать m * N особей, а затем изменить их в соответствии с заранее определенных операций (режимов) мутации.

На заключительном этапе отбора нужно из всей популяции выбрать определенную ее часть, которая останется «в живых» на этом этапе эволюции. Есть разные способы проводить отбор. Вероятность выживания особи h должна зависеть от значения функции приспособленности Fitness (h). Сама доля выживших s обычно является параметром ГА, и ее просто задают заранее. По итогам отбора из N особей популяции H должны остаться s*N особей, которые войдут в итоговой популяцию H '. Остальные особи погибают.

Критерий оптимизации (КО) – некоторый показатель, значение которого определяет качество тестируемого набора входных параметров системы (ЦСО). Чем больше значение КО, тем лучше оценивается результат тестирования данным набором параметров. Здесь необходимо сделать важное замечание: КО может использоваться только в режиме тестирования (статический режим) с использованием ГА. Понятно, что в режиме полного перебора всех комбинаций значений параметров, любой КО параметров эксперта в тестере отсутствует. Другой вопрос, что мы можем сохранить результаты тестирования и затем уже обработать их на предмет подбора наилучшей комбинации параметров. Реализация КО на алгоритмическом уровне сводится к обеспечению введения в ПО показателей качества и ограничений, а также при условии многокритериального поиска, жесткой паритетности для случая, когда оптимальные расчеты подчиняться принципу Парето.

Примерами КО, реализованных в системе GenOp является критерий минимизации ошибки управления и критерий минимизации энергозатрат на всех уровнях иерархии АСК. Целевые структуры оптимизации (ЦСО) – это завершены виртуальные инструменты (VI-файлы), разработанные в LabVIEW, содержащие в себе модели замкнутых контуров управления.

ЦСО состоят в основном из блока модели ОК и регулятора для разного уровня сложности моделей ОК и законов управления ими. Возможности пакета LabVIEW позволяют построить следующие виды ЦСО как на моделях ОК так и на реальных объектах. Это достигается благодаря интеграции в LabVIEW программных средств поддержки аппаратного обеспечения (модулей ввода-вывода) главного контролера CompactRIO со средствами измерения, регулирования и управления, установленных непосредственно на этих ОК.

Приведем краткий перечень отдельных элементов ЦСО, поддержка которых реализована в системе GenOp: - модель ОК и регулятор определены аналитически и заданные в формах: дифференциальному уравнению (системы) с начальными и граничными условиями, в виде передаточной функции, матрицей пространства состояний (Control Design Toolkit) ; - модель ОК и регулятор не определены аналитически и построена эмпирическим способом различными методами идентификации (System Identification) – модель ОК и регулятор построены в виде лингвистических моделей методами нечеткой логики (Fuzzy Logic) – модель ОК и регулятор построены интеллектуальными методами нейросетевого аппарата (Neural Net) – модель ОК и регулятор реализованы в ЦСО средствами встроенных функций LabVIEW для считывания записи физических каналов ввода-вывода контроллера CompactRIO.

Иными словами, широкие возможности пакета LabVIEW и вспомогательных Toolkit-ов позволяют реализовать ЦСО любой сложности для их дальнейшего использования на аппаратной платформе CompactRIO. В рамках работы для моделирования, практической реализации и проверки работоспособности системы GenOp было использовано и обработаны два типа ЦСО, а именно: на примере АСК с моделью ОК колебательного типа и классического ПИД-регулятора [4], а также с нейросетевым регулятором [5, 6]. Для этих ЦСО оптимизационный алгоритм отыскивает оптимальные параметры ПИД и нейросетевого регуляторов заданной структуры.

Согласно разработанного алгоритма функционирования ОО построен виртуальный инструмент ГО, который получает с лицевой панели системы GenOp начальные параметры настроек и путь к файлу с ЦСО в виде кластера (структуры) объединенных данных. Разделенные отдельно кластерные данные подаются в блок ГА. Начальные массивы развязки и популяций обнулены.

Модуль ОО также содержит цикл для обновления данных на графике, отражает процесс оптимизационного поиска с помощью ГА. ОО основном базируется на подпрограммах виртуальных инструментов реализации ГА. Согласно классической теории и алгоритма работы ГА разработаны следующие модули ГА блока ОО для системы GenOp. Модуль «Инициализация популяций» реализует создание (генерирование) начального набора данных о популяции индивидов для дальнейших генетических мутаций в работе ГА. Размерность массива задается на лицевой панели системы GenOp, закладка «Parameters». Модуль «Сортировка популяций» выполняет процедуру сортировки текущих популяций индивидов в соответствии с постановкой задачи и направления оптимизационного поиска экстремума. В системе GenOp реализация оптимального поиска соответствует задаче минимизации. Поэтому сортировки популяций выполняются по убыванию. После процедуры сортировки популяции ранжируются. Модуль «Выбор родительских хромосом» (селекция) занимается выбором (по рассчитанным на втором этапе значениям фитнес-функции приспособленности) тех хромосом, которые будут участвовать в создании потомков для следующей популяции, т.е. для очередного поколения.

Такой выбор осуществляется в соответствии с принципом естественного отбора, по которому наибольшие шансы на участие в создании новых особей имеют хромосомы с наибольшими значениями функции приспособленности. Существуют различные методы селекции. В системе GenOp используется метод рулетки (roulette wheel selection), который получил свое название по аналогии с известной азартной игрой. Каждой хромосоме может быть сопоставлен сектор колеса рулетки, величина которого устанавливается пропорциональной значению функции приспособленности данной хромосомы. Поэтому, чем больше значение функции приспособленности, тем больше сектор на колесе рулетки. Все колесо рулетки соответствует сумме значений функции приспособленности всех хромосом данной популяции. Модуль «Кодирование хромосом фенотипа в генотип» предназначен для преобразования двоичных записей хромосом к эквивалентным числовым значениям. В классическом ГА применяются два основных генетических оператора: оператор скрещивания (crossover) и оператор мутации (mutation). Функцию crossover выполняет модуль «Скрещение родительских хромосом», а mutation – модуль «Мутации». Однако следует отметить, что оператор мутации играет явно второстепенную роль по сравнению с оператором скрещивания. Это означает, что скрещивание в классическом ГА осуществляется практически всегда, тогда как мутация – достаточно редко. Вероятность скрещивания, как правило, достаточно велика (обычно), тогда как вероятность мутации устанавливается очень малой (чаще всего). Это следует из аналогии с миром живых организмов, где мутации происходят чрезвычайно редко.

В ГА мутация хромосом может выполняться на популяции родителей перед скрещиванием или на популяции потомков, образованных в результате скрещивания. На первом этапе скрещивания выбираются пары хромосом из родительской популяции (родительского пула). Это временная популяция, состоящая из хромосом, отобранных в результате селекции и предназначенных для дальнейших преобразований операторами скрещивания и мутации с целью формирования новой популяции потомков. На данном этапе хромосомы из родительской популяции объединяются в пары. Это проводится случайным образом в соответствии с вероятностью скрещивания. Далее для каждой пары отобранных таким образом родителей разыгрывается позиция гена (локус) в хромосоме, которая определяет так называемую точку скрещивания. В результате скрещивания пары родительских хромосом получается следующая пара потомков.

Модуль «декодирования хромосом генотипа в фенотип» предназначен для обратного преобразования эквивалентных числовых значений хромосом к их двоичным записям (бинарный вид).

Модуль ОО в статическом режиме используется для поиска оптимальных управлений, оптимальных параметров моделей ОК, регуляторов и т.п. без учета реального поведения реального ОК в реальном времени. Даже получив оптимальный набор параметров управления и настроек регулятора не существует стопроцентной гарантии, что в реальном времени на реальном ОК безупречно выполнится стратегия оптимального управления. Это обычно связано с тем фактом, что с течением времени ОК переходит в определенный жизненный цикл функционирования, в организации которого оптимизационный поиск и собственно синтез оптимального управления вообще не выполнялся. Еще сложнее ситуация возникает когда ОК слабо формализован, но не идентифицирован с определенными свойствами неопределенного характера.

Поэтому необходимость выполнять ОО в реальном времени в системах управления ОК является весьма актуальной и насущной проблемой. В системе GenOp функционал, реализует режим работы ГО в реальном масштабе времени реализован на базе стековой структуры FIFO, которая сохраняет фрагмент жизнедеятельности ОК (кадр) за определенный предыдущий промежуток времени. Глубина стека – переменный параметр и настраивается отдельно. В процессе функционирования системы управления, в случае выхода состояния ОК за пределы оптимальных управлений, включается считывания кадра ОК и пересчет оптимальных параметров ЦСО средствами модуля ГО.

Разработанные концепция и программный инструментарий средствами LabVIEW для реализации и методики синтеза оптимальных программных управлений GenOp позволяют довести сложность построения систем управления, решают оптимизационные задачи в сложных АСК до уровня инженера – разработчика АСУ, технолога или оператора АСК. Система GenOp открыта разработчику для дальнейшего совершенствования и расширения функциональных возможностей.

Библиографический список:

1. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 3-х т. Т.2: Оптимизация многообъектных многокритериальных систем. Под ред. Н.Д. Егупова. М .: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. 748 с.

2. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс .: вторых издание [пер. с англ.]. М .: Издательский дом «Вильямс», 2006. 1104 с.

3. Курейчик В.М. Генетические алгоритмы и их применение. Издательство ТРТУ, издание второе, 2002. 242 с.

4. Жеребко В.А, Кравец П.И., Василевская Х.С., Степанчук А.А. Подход к построению искусственных нейронных сетей и их реализация на аппаратной платформе CompactRIO. Вестник Винницкого политехнического института. 2009. № 3 (84). С. 66-70.

5. Жеребко В.А., Онацкий А.В., Соломонюк Ю.Р. Исследование затрат ресурсов FPGA при построении нейросетевой логической функции XOR средствами LabVIEW. Вычислительный интеллект OI-2011: I Междунар. наук. конф., 10-13 мая 2011 г .: сб. пр. ЧГТУ, 2011. С. 165.

6. Жеребко В.А. Программная модель генетического оптимизатора весов искусственной нейронной сети в LabVIEW. Проблемы программирования. 2013. № 2. С. 100-108.

Кузьмин Александр Сергеевич
Kuzmin Alexandr Sergeevich
Студент Самарского государственного Университета, заочный факультет,
направление «управление проектами в нефтегазовом комплексе»

УДК 665.7

ИННОВАЦИИ В НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

INNOVATIONS IN OIL AND GAS COMPANIES

Аннотация: Инновационная деятельность предприятия – это любая деятельность по улучшению работы предприятия, в результате которой инноватор получает преимущество перед конкурентами. В этой статье рассматривается инновационная деятельность на примере нефтегазодобывающего предприятия

Abstract: Innovative activity of an enterprise is any activity to improve the work of an enterprise, as a result of which an innovator gains an advantage over competitors. This article discusses innovative activities as an example of an oil and gas company

Ключевые слова: нефть, газ, добыча, инновации

Keywords: oil, gas, production, innovation

Введение: Инновационная деятельность – важное направление развития нефтегазодобывающего предприятия. Своевременное совершенствование и внедрение инноваций позволяет не только не уступать конкурентам, но и при должном уровне развития производить ранее недоступные мероприятия ввиду несовершенства технологии.

Предприятие должно непрерывно совершенствовать технику и технологию для того что бы соответствовать рынку и развитию: рост потребностей населения, теологический прогресс, постоянно расширяющееся производство, конкуренция.

В результате инновационной деятельности производятся следующие работы:

1. Внедрение в производство новых технологий: инструментов, материалов и машин.
2. Использование новых технологий.
3. Совершенствование управления предприятием.

В соответствии с задачами предприятия разрабатывается техническая политика, где предусматриваются основные, конкретные направления инновационной деятельности на предстоящий период.

Базу технической политики составляет научно-технический прогресс (НТП). Это процесс взаимосвязанного развития науки, техники и производства, который образует единый комплекс « Наука – техника – производство – потребление ».

НТП осуществляется в 3 этапа:

1. Фундаментальные научные писки и разработка новых способов использования законов и сил природы.
2. Прикладные научные исследования, проектно-конструкторские и опытно-экспериментальные разработки.
3. Техническое развитие производства на базе достижения второго этапа.

Научно-технический прогресс в России осуществляется по следующим направлениям:

Полная электрификация и совершенствование на этой основе техники, технологии и организации общественного производства.

Электрификация нефтегазодобывающей промышленности осуществляется по пути более широкого использования электроразведки месторождений нефти и газа,

Основное направление развития современного производства – это создание вычислительных, управляющих и информационных машин, составляющих материальную базу современной автоматики.

В нефтегазодобывающей промышленности проводится комплексная автоматизация нефтяных и газовых промыслов, внедрение автоматизированных станций управления скважиной, блоков технологических гребенок и оборудования по подготовке нефти и газа.

Химизация основных отраслей народного хозяйства заключается во внедрении в

материальное производство разнообразных химических продуктов и процессов их получения.

Механические и физические методы воздействия на предмет труда все более заменяются химическими.

Совершенствование организации и технологий производства.

Внедрение новой технологии интенсифицирует и ускоряет производство. При одновременном улучшении условий труда, обеспечивает непрерывность процессов производства, снижает себестоимость выпускаемой продукции.

В настоящее время в нефтегазодобывающей промышленности разрабатывается прогрессивная технология разработки месторождений. Разрабатываются технологии для создания «Умного месторождения» включающего в себя полный цикл от бурения до доставки продукции покупателю.

Проводятся значительные работы по концентрации производства.

При одновременном развитии производства в плане технологического прогресса дополняют друг друга и только в своей совокупности дают максимальный эффект.

Основные направления инновационной деятельности нефтегазодобывающих предприятий:

Основой развития нефтегазодобывающей промышленности являются геологоразведочные работы и бурение скважин, обеспечивающие прирост разведанных запасов и добычи нефти.

Повышение эффективности ведения геологоразведочных работ обеспечивается совершенствованием методов поисков, разведки нефти и газа, а также применяемых технических средств. Особенно быстрым техническим развитием характеризуются геофизические методы, и, в первую очередь, сейсморазведка. Новым в сейсморазведке стало введение метода 3D разведки позволяющая получить более точные данные геологического строения в трехмерном формате.

Для повышения эффективности промыслово-геофизических исследований скважин имеет разработка и совершенствование перфораторов, приборов и аппаратуры для каротажа.

Развитие техники и технологии строительства скважин проходит под влиянием усложнения ведения работ. Из года в год растут средние глубины бурения, фронт буровых работ перемещается в труднодоступные районы.

Заключение:

В данной статье проведён анализ основных направлений инновационной деятельности нефтегазодобывающих предприятий. При должном уровне развития инноваций - их внедрение позволяет не только не уступать конкурентам, а так же полностью соответствовать рынку.

Библиографический список:

1. “Тезисы докладов межвузовской студенческой научно-технической конференции” – ТИУ, Тюмень 2018 г.

2. Зубарева В.Д. Финансово-экономический анализ проектных решений в нефтегазовой промышленности. М.: Нефть и газ, 2003

Кузьмин Александр Сергеевич
Kuzmin Alexandr Sergeevich
Студент Самарского государственного Университета, заочный факультет,
направление «управление проектами в нефтегазовом комплексе»

УДК 665.7

СТРОИТЕЛЬСТВО СКВАЖИН В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

WELL CONSTRUCTION IN WESTERN SIBERIA

Аннотация: В данной статье рассматриваются подходы к оптимизации бурения горизонтальных скважин и наклонно-направленных скважин, которые позволят улучшить эффективность эксплуатационного бурения и максимально увеличить интенсивность вовлечения запасов, сокращения затрат на бурение/освоение.

Abstract: This article discusses approaches to optimizing the drilling of horizontal wells and directional wells, which will improve the efficiency of production drilling and maximize the intensity of involvement of reserves, reduce the cost of drilling / development

Ключевые слова: нефть, газ, бурение, освоение.

Keywords: oil, gas, drilling, development

Введение: На текущий момент на Октябрьском месторождении пробурено 38 скважин. Среди них успешно пробуренных 29% (11скв.), аварийных 37% (14скв.), скважин с осложнениями 34% (13скв.). Запускные дебиты нефти в успешных скважинах выше плановых показателей и значительно выше показателей неуспешных скважин.. Добуривание кустов происходило с изменением конструкции с горизонтальных скважин на наклонно-направленные скважины. Увеличение доли наклонно-направленных скважин с 22 до 48% связано с недопущением аварийных случаев на горизонтальных скважинах. Факторы ведущие к осложнению и авариям на скважинах определены, таким образом необходим комплекс мер, направленных на повышение успешности бурения.

Текущие извлекаемые запасы на Октябрьском месторождении составляют 151 млн.т, при этом к категории «неразбуренные» относятся 68 млн.т. Данные запасы составляют основной вызов для разработки на сегодняшний день ввиду того, что бурение на сопровождается осложнениями и авариями по геолого-технологическим причинам.

На текущий момент в отрасли наблюдается нехватка эффективных технологических решений при бурении свит с непрогнозируемым залеганием углей как в интервале тюменской свиты (континентальная обстановка осадконакопления), так и в интервале шеркалинской свиты (прибрежно-морская, континентальная обстановки), которая перекрывает породы доюрского комплекса. Доюрский комплекс по причине недостаточности сейсмических данных имеет высокую неопределённость залегания по абсолютным отметкам, что вносит риски при бурении горизонтальной секции скважин в подошвенной части вышележащего пласта.

По результатам бурения скважин на месторождении имеет место подтверждение геологический моделей: абсолютные отметки подтверждается по кустам в бортовых зонах (расхождение не больше 6м), фильтрационно-емкостные свойства по всем кустам выше прогноза, насыщенность на уровне плана по всем кустам. Таким образом, в БП 19-23 запланировано 98 скважин (63 горизонтальные скважины , 35 наклонно-направленные) на шеркалинскую свиту с средне запускным дебитом по горизонтальным скважинам =40.6т/сут, средне запускным дебитом по наклонно-направленным = 20.2 т/сут.

Однако, по результатам бурения из 38 пробуренных скважин, 14(37%) являлись аварийными, 13 скважин (34%) с осложнениями, 11 скважин (29%) пробурены успешно. При получении осложнений горизонтальные скважины меняли свой тип на наклонно-направленный, таким образом, с плановых 22% закончены бурением 48% скважин как наклонно-направленные. Данные факты говорят о повышенных рисках по осуществлению планов по бурению и требуют поиска решений, подходов, разработку мероприятий по недопущению бурения скважинах с осложнениями и авариями.

По результатам бурения данных 38 скважин выделены основные факторы осложняющие бурение на ЮК10-11. Основной фактор – наличие слабосцементированных угольных пропластков (результат – аварии, перебуры, недоспуски хвостовиков). Следующий фактор – наличие

несовместимых интервалов бурения (викуловская свита (необходима низкая удельная плотность Бурового раствора) и фроловская с тюменской свиты (необходима высокая плотность бурового раствора)). Третий фактор – недостаточная очистка ствола скважины ввиду протяжённой секции 114мм. Четвёртый фактор – несоблюдение скорости при спуско-подъемных операций (дополнительный фактор дестабилизации проблемных интервалов). Данные факторы оказали прямое влияние на сокращение стадий гидро-разрыва пласта, изменение конструкции с горизонтальной скважины на наклонно-направленную, недоспуск хвостовиков, изменение технологий заканчивания, что отразилось на запускные дебита.: для скважин, законченных не по плану суммарный запускной дебит. меньше запланированного на 22%, в то время, когда у скважин, законченные по плану суммарный запукной дебит на уровне плана

Сделаны следующие выводы о том, что, имеющиеся на сегодняшний день технологические решения не позволяют реализовать строительство горизонтальных скважин с многостадийным гидро-разрывом пласта на объект шеркалинской свиты. Во-вторых, по результатам освоения скважин, отмечается низкая эффективность технологий освоения с проведением перфорационно-взрывных работ и поинтервальным гидро-разрывом пласта с отсечением стадий мостовыми пробками, ввиду длительности освоения. В-третьих, в отрасли нет доступных технологий стабилизации углей. В-четвёртых, существует острая необходимость в заканчивании скважин по плану, со спуском компоновки с портами, активируемыми шарами и пакерами, как наиболее эффективной.

Таким образом, необходим ряд оптимизационных мероприятий направленных на повышение успешности бурения на Талинском ЛУ, затрагивающий изменение профиля, конструкции скважин, удельного веса бурового раствора, параметров бурения.

Заключение:

В ходе данной работы проведён анализ причин осложнений и аварий по скважинам на ЮК10-11 Талинского ЛУ. В результате сделаны выводы об основных факторах препятствующих успешному бурению

Библиографический список:

1. Информационный отчёт «Оптимизация бурения наклонно-направленных и горизонтальных скважин посредством геомеханического моделирования (Этапы 1-3), ООО «ТННЦ», 2018

2. Правила безопасности нефтяной и газовой промышленности (с изменениями на 12 января 2015 года) (редакция, действующая с 1 января 2017 года) http://docs.cntd.ru/document/499011004 - электронный ресурс

Дубровский Виктор Анатольевич
Victor A. Dubrovsky
д.т.н., с.н.с.
E-mail: multi-hulls@yandex.ru

УДК 629.5.017.2

ГЛАВНОЕ О СУДАХ С МАЛОЙ ПЛОЩАДЬЮ ВАТЕРЛИНИИ

SHIPS WITH SMALL WATER-PLANE AREA: THE MAIN INFORMATION

Аннотация. Краткий очерк истории развития объектов с малой площадью ватерлинии. Типы судов с малой площадью ватерлинии (СМПВ). Общие особенности и отличия каждого типа таких судов. Преимущества и недостатки, особенности проектирования. Рекомендации об использовании.

Abstract. Brief history of ships and structures with small water-plane area. Types of ships, general specificities, differences of each type. Advantages and disadvantages, specificity of designing. Recommendations of applying.

Ключевые слова: судно, площадь ватерлинии, остойчивость, мореходность, собственный период качки, успокоение качки, ходкость, прочность, проектирование.

Key words: ship, water-plane area, stability, seaworthiness, natural period of motion, motion mitigation, performance, strength, designing.

Краткий очерк истории развития.

Первые патенты на объекты с малой площадью ватерлинии были выданы в начале XX века [1]. С середины века началось применение полупогружных буровых платформ, которые тоже относятся к объектам с малой площадью ватерлинии. К концу века в мире работало около 300 платформ такого типа.

В 60-х годах начались исследования собственно СМПВ, в начале 70-х были построены первые суда. К настоящему времени в мире работают или исследуются более 100 СМПВ различного назначения.

Рис. 1 даёт представление о форме обводов СМПВ.

Рис. 1. Корабль акустического дозора, США.

Построенные СМПВ имеют различное водоизмещение и назначение. На рис. 2 показано наибольшее из построенных СМПВ.

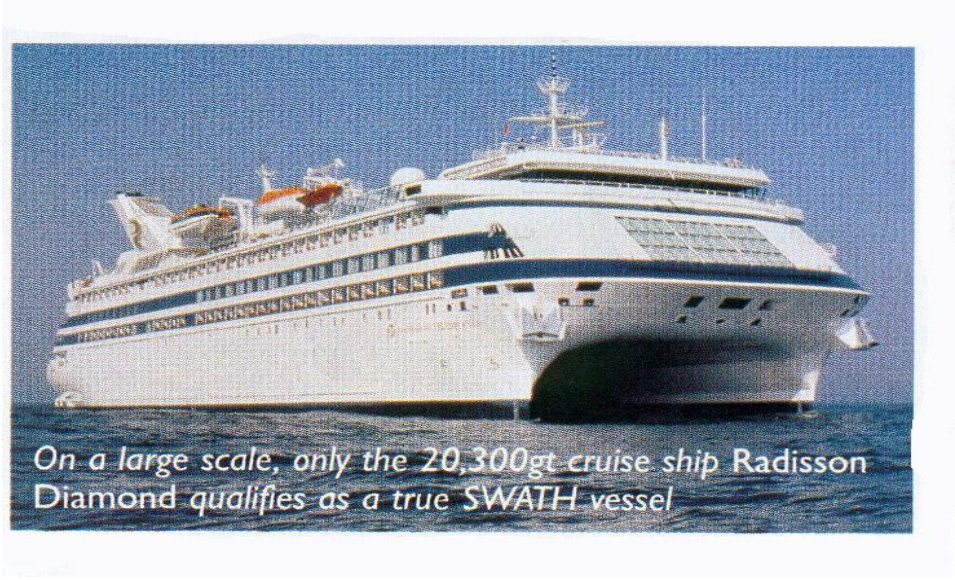


Рис. 2. Круизное СМПВ.

Однако наибольший эффект особенностей СМПВ проявляется при небольших водоизмещениях, рис. 3.

Рис. 3. Лоцманское СМПВ с аутригерами.

1. Типы СМПВ.

В настоящее время практически применяются в основном двухкорпусные СМПВ, построено несколько СМПВ с аутригерами. Однако в той или иной мере [2] изучены различные типы таких судов, см. рис. 4.

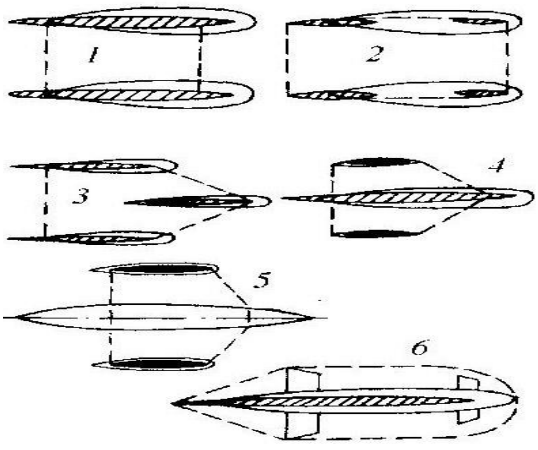


Рис. 4. Исследованные типы СМПВ: 1 – дуплус (двухкорпусное судно с одной длинной стойкой на каждом корпусе); 2 – трисек (то же, с двумя стойками на каждом корпусе); 3 – трикор; 4 –

СМПВ с двумя аутригерами; 5 – судно с традиционным центральным корпусом и аутригерами с малой площадью ватерлинии (вариант С.А.Руденко); 6 – однокорпусное СМПВ с крыльями.

Очевидно разнообразие возможных вариантов СМПВ, которые могут быть применены для решения разнообразных практических задач.

2. Общие и частные особенности СМПВ.

Как и все многокорпусники, СМПВ отличаются от традиционных однокорпусных объектов следующими общими чертами:

- увеличенной площадью палуб относительно водоизмещения;
- возможностью обеспечить требуемую поперечную остойчивость за счёт изменения (поперечного) расстояния между корпусами;
- возможностью использования корпусов с различными соотношениями размерений, включая корпуса большого удлинения и корпуса, не имеющие собственной остойчивости вне многокорпусного судна;
- увеличенной долей массы металлического корпуса по отношению к водоизмещению, но пониженной по отношению к площади палуб;
- повышенной относительной смоченной поверхностью, что снижает ходовые качества на невысоких относительных скоростях.

Кроме того, СМПВ отличаются от других многокорпусных судов:

- увеличенной относительной осадкой, что позволяет повысить диаметр и кпд движителей;
- возможностью существенного изменения осадки за счёт приёма небольших количеств водяного балласта; это позволяет проектировать СМПВ с осадкой, равной высоте гондолы при полном водоизмещении, и предусматривать увеличение осадки балластированием при движении на волнении;
- жёсткой зависимостью поперечного габаритного размера от принятых норм начальной поперечной остойчивости;
- сниженной продольной начальной остойчивостью, что заставляет в некоторых случаях её нормировать и определять положение стоек на основании расчёта продольной остойчивости;
- повышенной эффективностью всех систем снижения качки;
- большой (до 90%) долей плоскостных, цилиндрических, конических секций в конструкции корпуса.

Каждый тип СМПВ имеет также и собственные отличия. Так, дуплус обеспечивает наибольшую среди СМПВ начальную поперечную остойчивость;

-трисек может иметь наименьшую относительную площадь ватерлинии;

- трикор может обеспечить наибольшее благоприятное взаимодействие волновых систем при определённых относительных скоростях, что даёт высокие пропульсивные качества;

- суда с аутригерами имеют наименьший среди СМПВ вес металлического корпуса, особенно – проа, а потому наиболее дёшевы в постройке и эксплуатации; в частном случае использования тянущих винтов на аутригерах может быть обеспечен наименьший уровень подводного шума.

2.1. Площадь палубы.

Таблица 1 содержит сравнение относительной площади верхней палубы традиционного однокорпусного корабля и различных СМПВ.

Таблица 1.

Относительная площадь верхней палубы.

Тип судна	Относительная длина корпуса	Вероятные соотношения размерений	Относительная площадь палубы
Традиционное однокорпусное	$l_{MON}=L/V^{1/3}$	$L/B=8$; $A_{UD}\sim0.8$	$0.1*L^2$
Дуплус или трисек	$l_1=0.8*l_{MON}$	$L_1=0.64*L$; $B_{OA}=(0.3\div0.5)*L_1$; $A_{UD}\sim1.0$	$(0.19\div0.32)*L^2$
С двумя аутригкрами	$l_1=0.8*l_{MON}$	$L_1=0.8*L$; $Lo=(0.3\div0.4)*L_1$; $B_{OA}=(0.3\div0.5)*L_1$;	$(0.18\div0.3)*L^2$
Трикор	$l_1=0.5*l_{MON}$	$L_1=0.35*L$; $L_{OA}=1.6*L_1$; $B_{OA}=(0.6\div0.8)*L_1$;	$(0.08\div0.1)*L^2$

Здесь: L – длина однокорпусного аналога; V – объёмное водоизмещение однокорпусного объекта; L_1 – длина одного корпуса СМПВ; L_O – длина аутригера; l_{MON} - относительная длина однокорпусного аналога; l_1 - относительная длина одного корпуса СМПВ; A_{UD} – коэффициент полноты верхней палубы; B – ширина однокорпусного судна; B_{OA} – габаритная ширина СМПВ.

Очевидно, что удельная площадь палуб СМПВ приблизительно равна или несколько больше, чем та же площадь сравнимого однокорпусного объекта.

2.2. Начальная остойчивость.

Начальная поперечная остойчивость СМПВ близка к остойчивости однокорпусных объектов того же водоизмещения. Продольная остойчивость СМПВ всегда заметно ниже, что имеет и положительные, и отрицательные последствия. Поэтому необходимо нормирование не только поперечной остойчивости СМПВ, как и всех судов, но часто – и продольной остойчивости, см. ниже.

Минимальная площадь ватерлинии СМПВ определяется общим расположением (размещением ЭУ) и прочностью. При выбранной площади требуемая начальная остойчивость определяет поперечное расстояние между корпусами, т.е. габаритную ширину СМПВ.

На ранних стадиях проектирования СМПВ удобно использовать простую и универсальную норму поперечной остойчивости, применяемую в ВМФ США: крен не более 1- градусов при стоянке лагом к ветру со скоростью 100 узлов (для неограниченного района плавания) или 50 узлов (для ограниченного района).

Эта норма была использована при выборе поперечных размерений СМПВ, показанных в таблице 2.

Таблица 2.

Начальная поперечная остойчивость СМПВ водоизмещением 1000 т.

Тип судна	Дуплус	Трисек	Трикор	С двумя аутригерами
Длина корпуса/ габаритная длина, м	47/47	47/47	40/65	65/65 (35)
Ширина корпуса/ габаритная ширина, м	5/19	5/22	3.5/22	7(1.5)/20
Площадь ватерлинии бокового корпуса, кв м	65	45	50	40
Расчётная осадка/ высота корпуса, м	4/11.5	4/11.5	4/11.5	4(2)/11.5
Высота центра величины/ Высота центра масс, м	2.5/7	2.5/7	2.5/7	2.5/7
Метацентрический радиус / Метацентрическая высота, м	6.5/2	6.5/2	8.5/4	7/2.5

(В скобках показаны размерения аутригера).

При нормировании продольной остойчивости можно использовать, например, требование одинакового изменения крена и дифферента при перемещении заданного груза поперёк или вдоль СМПВ. Тогда метацентрические высоты будут соотноситься, как габаритные размеры в плане.

2.3. Мореходность.

Отличие площади ватерлинии определяет основное преимущество СМПВ: максимально достижимую для объектов без глубокопогруженных крыльев мореходность. Это же определяет высокую эффективность любых успокоителей качки. В среднем мореходность СМПВ данного водоизмещения сравнима с мореходностью однокорпусного объекта с бОльшим в 5-15 раз водоизмещением (в зависимости от реализуемого соотношения площадей ватерлинии).

Основные результаты снижения площади ватерлинии:
- снижение возмущающих сил и моментов качки;
- уменьшение продольной остойчивости и увеличение периодов качки;
- резкое снижение сопротивления на встречном волнении.

Рис. 5

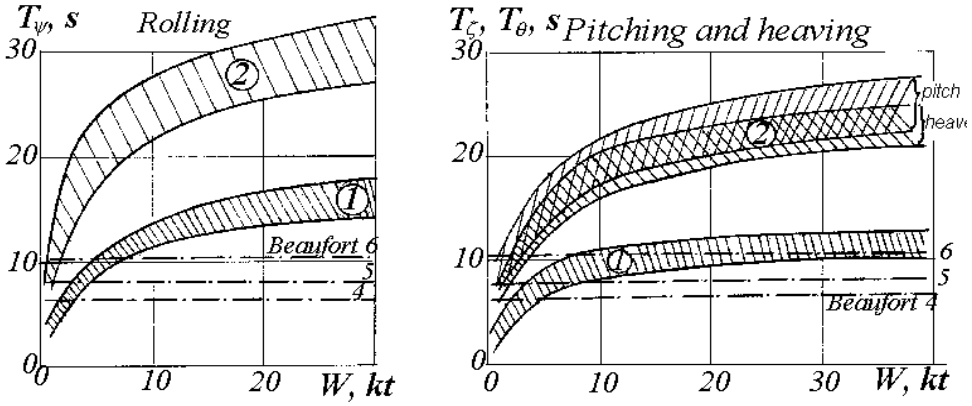


Рис. 5. Сравнение собственных периодов качки объектоа разного водоизмещения: слева – бортовой качки, справа - килевой (верхняя область) и вертикальной. Здесь 1 – периоды качки традиционных однокорпусных объектов, 2 – СМПВ. Горизонтальные линии с номерами соответствуют срредним периодам волнения различной интенсивности (баллы Бофорта).

Большие собственные периоды качки всех видов определяют встречное и лаговое волнение как наиболее благоприятные для СМПВ, а попутные курсовые углы как наиболее неблагоприятные. На попутном (без успокоителей качки) достаточно тихоходные СМПВ имеют резонансную качку с большими амплитудами, но невысокими ускорениями (в отличие от объектов с традиционными обводами, у которых резонансная качки имеет как большие амплитуды, так и большие ускорения.) Для снижения резонансной качки СМПВ очень эффективны известные успокоители: управляемые подводные крылья, транцевые доски и интерцепторы для быстроходных и скоростных объектов, активированные воздухом цистерны для объектов тихоходных или работающих в море без хода.

Отличия собственных периодов влияют также на характер зависимости качки от кажущихся периодов при ходе на волнении, рис. 6.

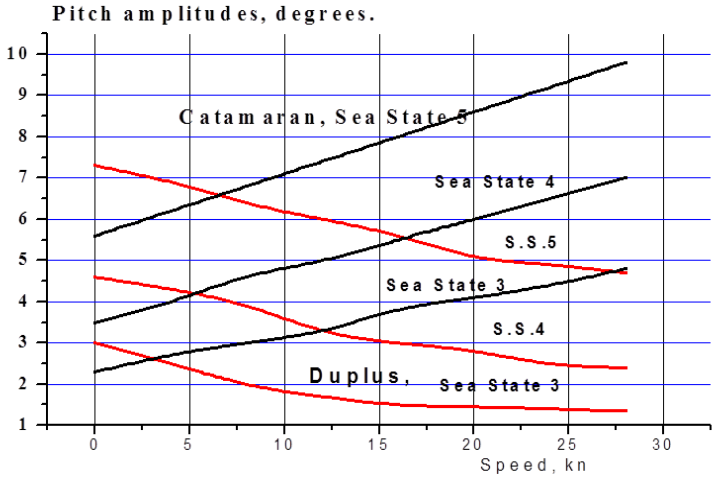


Рис. 6. Зависимость амплитуд килевой качки на встречном волнении от скорости хода двух судов водоизмещением 100 т, катамарана (чёрные линии) и дуплуса (красные). Цифрами обозначены баллы волнения по шкале Бофорта.

Очевидно, что с ростом скорости амплитуды качки СМПВ падают, а катамарана (судна из двух корпусов с традиционными обводами) растут.

К сожалению, такая зависимость не относится к ускорениям той же качки, рис. 7.

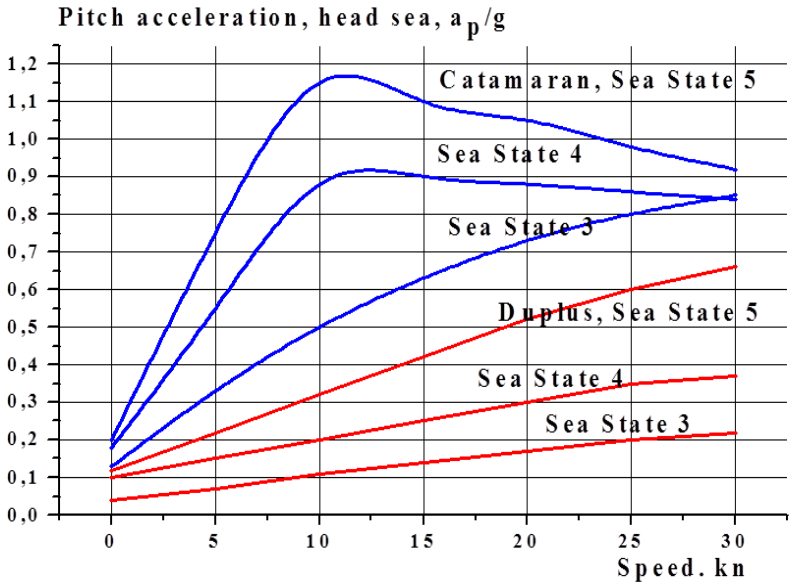


Рис. 7. Зависимость ускорений килевой качки от скорости хода тех же судов в тех же условиях, те же обозначения.

Хотя ускорения качки дуплуса не уменьшаются с ростом скорости, но растут достаточно медленно и достигают существенно меньших величин, чем катамарана. Например, если принять за

норму ускорение 0.4 g, видно, что на встречном волнении это требование не ограничит скорость на волнении 3 и 4 балла и допускает скорость около 14 узлов на волнении 5 баллов. Для катамарана диапазон допустимых скоростей в этих условиях 7, 3 и 2 узла, соответственно.

Обычно скорости на достаточно интенсивном встречном волнении ограничиваются именно вертикальными ускорениями. На рис. 8 сравниваются достижимые скорости двух судов водоизмещением 1000 т при том же допустимом пределе ускорений.

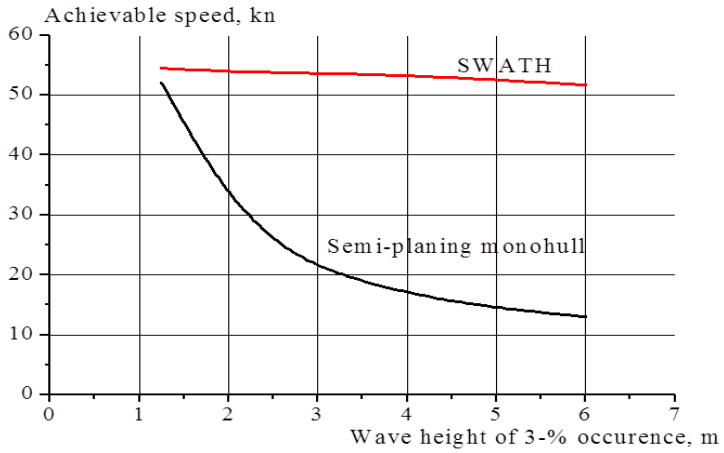


Рис. 8. Достижимая скорость на встречном волнении скоростного однокорпусного корабля (чёрная линия) и дуплуса (красная линия) при предельном вертикальном ускорении 0.4g.

Поскольку амплитуды качки СМПВ на встречном волнении падают с ростом скорости, для таких объектов целесообразно иметь большой запас мощности – который невозможно использовать на традиционных кораблях, потому что у них скорость на встречном волнении сознательно снижается для поддержания приемлемых характеристик мореходности.

2.4. Ходкость.

Увеличенное погружение основного волнообразующего объёма под поверхность и увеличенная обычно осадка, позволяющая использовать движители большего диаметра (с большим кпд) обеспечивают СМПВ преимущество по ходовым качествам на достаточно больших относительных скоростях. Рис. 9 содержит сравнение адмиралтейского коэффициента СМПВ и катамаранов, натурные данные [3].

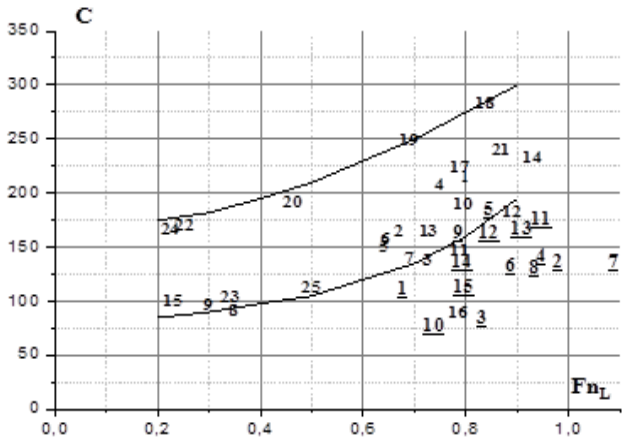


Рис. 9. Адмиралтейский коэффициент ($C = v^3V/P$, v – скорость в узлах, V – полное водоизмещение, м куб, P – мощность ЭУ, кВт) в зависимости от числа Фруда по длине ($Fn_L = 0.515v/(gL)^{0.5}$, где L– длина корпуса, м, g – ускорение свободного падения, м/сек^2) дуплусов (линиями отмечены верхняя и нижняя границы значений) и катамаранов (подчёркнутые номера рассмотренных судов).

Этот рисунок показывает желательные величины относительных скоростей для эффективного по ходкости применения СМПВ.

2.5. Прочность.

Как и у всех многокорпусных объектов, для СМПВ велика роль поперечной прочности. На ранних стадиях проектирования обычно оказывается достаточным рассмотреть поперечный изгибающий момент при стоянке лагом к волне. Считается, что эта нагрузка определяется горизонтальными скоростями в волне, (например, [4]), рис. 10.

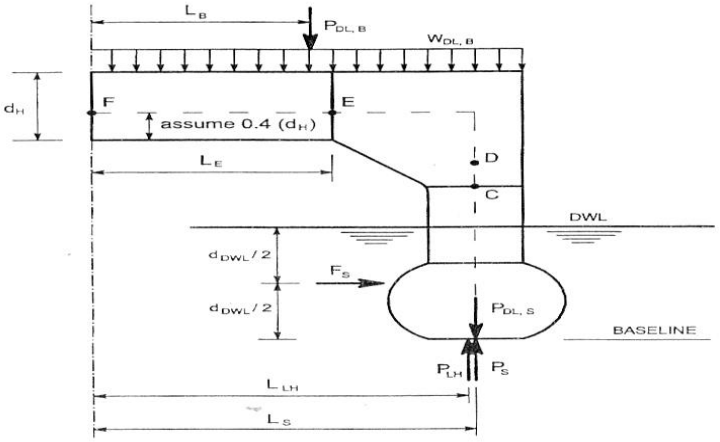


Рис. 10. Схема возникновения поперечного изгибающего момента СМПВ [ ].

Этот момент эффективнее всего воспринимается поперечными переборками, каждая переборка находится в одной плоскости в подводном объёме (гондоле), стойке и соединяющей корпуса надводной платформе. При этом наиболее нагружено сечение стойки в начале её расширения.

Если допустить, что необходимая толщина обшивки в этом сечении распространяется на всю конструкцию корпуса, то это допущение позволяет оценить необходимую толщину обшивок СМПВ, [1], рис. 11.

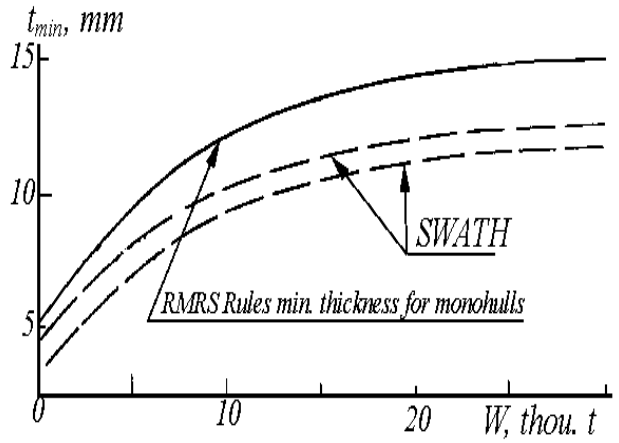


Рис. 11. Расчётная минимальная толщина обшивки СМПВ (пунктир); сплошной линией показаны величины минимальной толщины обшивки по Правилам Морского Регистра РФ.

Применение показанных величин толщин позволяет оценивать массу корпусных конструкций СМПВ, если ранее определены его габаритные размеры. В свою очередь, это позволяет выбирать размерения СМПВ на ранних стадиях проектирования непосредственно, без использования каких-либо прототипов.

2.6. Управляемость.

Как все многокорпусные объекты, СМПВ отличаются от однокорпусных повышенной устойчивостью на курсе, т.е. сниженной поворотливостью, см. рис. 12.

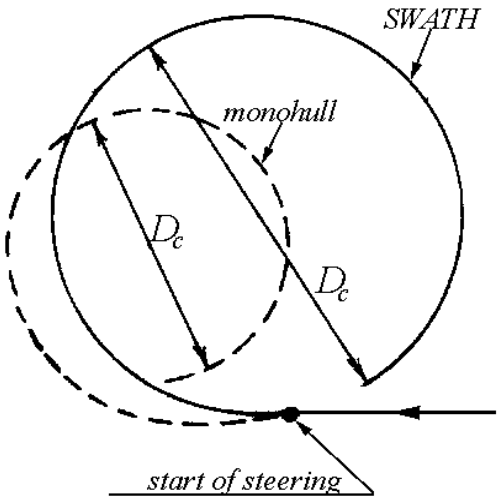


Рис. 12. Сравнение траектории циркуляции двух судов одинакового водоизмещения: пунктиром показана траектория однокорпусного объекта, сплошной линией – двухкорпусного СМПВ.

Особенностью СМПВ, отражающей их пониженную продольную остойчивость, является существенное изменение посадки при изменении курса. Имеется и обратный эффект: намеренной изменение ходовой посадки позволяет менять курс относительно тихоходных СМПВ, не имеющих рулей направления.

3. Особенности проектирования.

Кратко описанные выше особенности СМПВ определяют и особенности их проектирования. Прежде всего, обычно проектируемое СМПВ не имеет достаточно близких прототипов. Это диктует необходимость прямой оценки технико-эксплуатационных качеств, обеспечивается использованием необходимой площади палуб в качестве исходного требования на ранних стадиях проектирования. Кроме того, проектирование необходимо выполнять, варьируя основные соотношения главных размерений, прежде всего – размерений в плане.

Задаваемая площадь палуб позволяет прямо оценить габаритные размеры вариантов СМПВ; при этом рекомендуется принимать максимальную допустимую осадку и выбирать вертикальный клиренс по имеющимся натурным данным. Далее высота борта определяется выбираемым количеством палуб внутри надводной платформы и расстоянием между палубами. В результате определяется масса металлического корпуса, а по ней – полной водоизмещение в нулевом приближении по приближённой статистике. Далее производится уточнение размерений в рамках первого и второго приближений. Обычно этого достаточно для концептуального проектирования, не требующего никаких дополнительных испытаний и расчётов.

4. Общие недостатки СМПВ.

Как все многокорпусные объекты, СМПВ имеют следующие недостатки:

- увеличенная доля массы корпуса по отношению к полному водоизмещению (однако сниженную по отношению к площади палуб, а размерения судов многих назначений, например, боевых кораблей, определяются сегодня величиной заданной площади палуб). Увеличение массы корпуса означает соответствующий рост стоимости постройки и обслуживания корпусных конструкций; однако там, где стоимость корпуса не является определяющей, этот недостаток заведомо перекрывается преимуществами СМПВ (например, для боевых кораблей стоимость корпуса составляет около 30% стоимости постройки, так что некоторое – на 10-15% - увеличение стоимости корпуса вполне компенсируется повышенной мореходность.);
- увеличенную габаритную ширину (но обычно – уменьшенную длину);
- возможность применения корпусов любого удлинения и
- увеличение смоченной поверхности, что ухудшает ходовые качества на невысоких относительных скоростях; как показано выше, СМПВ рационально применять на достаточно высоких скоростях;

Малая площадь ватерлинии определяет также и специфические недостатки СМПВ:
- сниженная продольная остойчивость затрудняет обеспечение требуемой аварийной посадки; эта

проблема решается заполнением концевых отсеков негорючими пеноблоками; так же компенсируется и недостаточный водоизмещающий объём вблизи ватерлинии, приводящий к увеличенным углам крена при аварийном затоплении части отсеков судна.
- увеличенные собственные периоды приводят к резонансным – достаточно большим – амплитудам качки на попутных углах относительно волнения достаточно тихоходных СМПВ; для снижения такой качки СМПВ очень эффективны известные успокоители: управляемые подводные крылья, транцевые доски и интерцепторы для быстроходных и скоростных объектов, активированные воздухом цистерны для объектов тихоходных или работающих в море без хода;
- малая ширина стоек создаёт неудобства размещения ЭУ в гондолах;

- общий недостаток многокорпусных судов, достаточно частый и интенсивный слеминг днища платформы, менее значим для СМПВ, поскольку они имеют существенно меньшие амплитуды качки, а частота и интенсивность слеминга экспоненциально зависит от амплитуд качки;

- как все многокорпусные объекты, СМПВ плохо приспособлены к использованию во льдах; однако надо отметить, что любые более-менее быстроходные однокорпусные объекты тоже плохо приспособлены для плавания во льдах (ни толщины обшивки, ни конструкция и форма корпуса, например, обычных однокорпусных боевых кораблей не позволяют им продолжительно работать во льдах, даже битых).

Часто в числе недостатков называют сложность докования, определяемую увеличенной шириной и необходимостью использования более чем одной доковых дорожек. Однако этот недостаток представляется достаточно надуманным, потому что увеличение количества доковых дорожек никак не влияет на процесс докования; кроме того, СМПВ обычно имеют небольшое водоизмещение, потому легко могут быть поставлены в группе небольших судов в большие доки, предназначенные для судов крупнотоннажных.

В целом следует отметить, что нет типов судов, оптимальных для всех размеров, назначений и скоростей. Проблема только в том, чтобы обоснованно и непредвзято сравнивать варианты архитектурно-конструктивных типов на ранних стадиях проектирования. А проектирование должно минимизировать недостатки и полно использовать преимущества каждого типа судов для заданного назначения и условий эксплуатации.

Выводы, рекомендация.

1. Существенное повышение мореходности водоизмещающих морских судов малого и среднего водоизмещения может быть обеспечено применением архитектуры с малой площадью ватерлинии.
2. Экономически рациональными для использования СМПВ являются все типы морских судов, которым необходима большая относительная площадь палуб, так называемых «носителей вместимости», “capacity carriers”, как пассажирские, научно-исследовательские, боевые, накатные и т.д.
3. Для более эффективного использования СМПВ рекомендуется разработка альтернативных проектов объектов таких типов на ранних стадиях создания судов названных выше назначений.

Библиографический список:

1. Dubrovsky V., Lyakhovitsky A., “Multi Hull Ships”, 2001, Backbone Publishiong Co., ISBN 0-9644311-2-2, Fair Lawn, USA, 495 p.
2. Dubrovsky V., Matveev K., Sutulo S., “Ships with small water-plane area”, 2007, Backbone Publishing Co., ISBN-13978-09742019-3-1, Hoboken, USA,256 p.
3. Liang Yun, Alan Bliault, Huan Zong Rong, ”High-speed catamarans and multi-hulls”, 2016, Springer Publishing house.
4. “Guidelines for construction of small water-plane area twin hull craft”, China Classification Society, 2004.

Научное издание

Коллектив авторов

ISSN 2500-1140

Техниконаучный журнал «Техноконгресс»

Кемерово 2019