

---

# EUROPEAN of Technology and Design

---

Has been issued since 2013.  
ISSN 2308-6505. E-ISSN 2310-3450  
2013. Vol.(2). № 2. Issued 4 times a year

## EDITORIAL STAFF

**Dr. Kuvshinov Gennadiy** – Sochi State University, Sochi, Russia (Editor-in-Chief)  
**PhD Petrochenkov Anton** – Perm National Research Politechnic University, Perm, Russia  
**PhD Volkov Aleksandr** – Sochi State University, Sochi, Russia

## EDITORIAL BOARD

**Dr. Coolen Frank** – Durham University, Durham, United Kingdom  
**Dr. Md Azree Othuman Mydin** – University Sains Malaysia, Penang, Malaysia  
**Dr. Tsvetkov Viktor** – Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia  
**Dr. Utkin Lev** – Saint-Petersburg Forestry University, Saint-Petersburg, Russia

The journal is registered by Federal Service for Supervision of Mass Media, Communications and Protection of Cultural Heritage (Russia). Registration Certificate ПИ № ФС 77 – 54155 17.05.2013.

Journal is indexed by: **CrossRef** (UK), **EBSCOhost Electronic Journals Service** (USA), **Electronic scientific library** (Russia), **Global Impact Factor** (Australia), **Open Academic Journals Index** (Russia), **ULRICH's WEB** (USA).

All manuscripts are peer reviewed by experts in the respective field. Authors of the manuscripts bear responsibility for their content, credibility and reliability.

Editorial board doesn't expect the manuscripts' authors to always agree with its opinion.

Postal Address: 26/2 Konstitutcii, Office 6  
354000 Sochi, Russia

Website: <http://ejournal4.com/>  
E-mail: [ejtd2013@mail.ru](mailto:ejtd2013@mail.ru)

Founder and Editor: Academic Publishing  
House *Researcher*

Passed for printing 16.12.13.

Format 21 × 29,7/4.

Enamel-paper. Print screen.

Headset Georgia.

Ych. Izd. l. 4,5. Ysl. pech. l. 4,2.

Circulation 1000 copies. Order № 2.

European Journal of Technology and Design

2013

№

2

Издается с 2012 г. ISSN 2308-6505. E-ISSN 2310-3450  
2013. № 2 (2). Выходит 4 раза в год.

#### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**Кувшинов Геннадий** – Сочинский государственный университет, Сочи, Россия  
(Гл. редактор)  
**Волков Александр** – Сочинский государственный университет, Сочи, Россия  
**Петроченков Антон** – Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

#### РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

**Коолен Франк** – Университет г. Дарем, Дарем, Великобритания  
**Мд Азри Отхуман Мудин** – Университет Малайзии, Пенанг, Малайзия  
**Уткин Лев** – Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия  
**Цветков Виктор** – Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере массовых коммуникаций, связи и охраны культурного наследия (Российская Федерация). Свидетельство о регистрации средства массовой информации **ПИ № ФС 77 – 54155** 17.05.2013.

Журнал индексируется в: **CrossRef** (Соединенной королевство), **EBSCOhost Electronic Journals Service** (США), **Global Impact Factor** (Австралия), **Научная электронная библиотека** (Россия), **Open Academic Journals Index** (Россия), **ULRICH's WEB** (США).

Статьи, поступившие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы публикаций.

Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.

Адрес редакции: 354000, Россия, г. Сочи,  
ул. Конституции, д. 26/2, оф. 6  
Сайт журнала: <http://ejournal4.com/>  
E-mail: [ejtd2013@mail.ru](mailto:ejtd2013@mail.ru)

Учредитель и издатель: ООО «Научный  
издательский дом "Исследователь"» -  
Academic Publishing House *Researcher*

Подписано в печать 16.12.13.  
Формат 21 × 29,7/4.  
Бумага офсетная.  
Печать трафаретная.  
Гарнитура Georgia.  
Уч.-изд. л. 4,5. Усл. печ. л. 4,2.  
Тираж 1000 экз. Заказ № 2.

## C O N T E N T S

Grafutin V.I., Ilyukhin V.A., Ilyukhina O.V., Myasishcheva G.G., Prokop'ev E.P., Funtikov Yu.V. Applying Positron Annihilation Spectroscopy Methods in Nuclear Technology II. Studies Into the Structural Materials of the Nuclear Reactor Core Using the Annihilation Photon Angular Distribution Method (APAD) .....	80
Kuzhelev P.D. Geoinformation Technology for the Control of Transportation Objects .....	97
Makarov K.N., Makarov N.K. Artificial Islands on Russia's Black Sea Coast – the Infrastructure, Scientific Rationale, and Legal Aspects .....	103
Janet Norgaard, Md Azree Othuman Mydin Polymeric Numerical Model and Parametric Study on Heat transfer in Sandwich and Stringer Panel Systems .....	115
Markelov V. Geoinformation Modeling in Logistics .....	129
Tsvetkov V.Ya. Systems Analysis in Geoinformatics .....	135

**ISSN:** 2310-0133**Founder:** Academic Publishing House *Researcher***DOI:** 10.13187/issn.2310-0133

Has been issued since 2013.



## European Journal of Technology and Design

UDC 621

### Applying Positron Annihilation Spectroscopy Methods in Nuclear Technology

#### II. Studies Into the Structural Materials of the Nuclear Reactor Core Using the Annihilation Photon Angular Distribution Method (APAD)

<sup>1</sup>Viktor I. Grafutin

<sup>2</sup>V.A. Ilyukhin

<sup>3</sup>Ol'ga V. Ilyukhina

<sup>4</sup>Galina G. Myasishcheva

<sup>5</sup>Evgenii P. Prokop'ev

<sup>6</sup>Yurii V. Funtikov

<sup>1-6</sup> Russian Research Center "Kurchatov Institute", Russian Federation  
25, B. Cheremushkinskaya street, Moscow, 117218

**Abstract.** This article provides the findings of an experimental study into steels utilized in the nuclear industry, which employed the positron annihilation spectroscopy method (APAD). The processing and comparison of the experimental data with literary data helped identify vacancy defects, including those caused by neutron irradiation, and determine their dimensions.

**Keywords:** nuclear reactor; angular distribution method; APAD method.

#### **Введение.**

Работа посвящена исследованию корпусных сталей, используемых в действующих реакторах ВВЭР-440 [1, 2]. В процессе эксплуатации реакторов этого типа происходит охрупчивание конструкционных материалов. Считается, что основной причиной охрупчивания корпусных реакторных сталей является образование нанокластеров, содержащих преимущественно медь и фосфор [3, 4]. В настоящее время определены режимы отжига для продления срока службы корпусов этих типов реакторов и проведен отжиг корпусов. Дальнейшая эксплуатация отожженных корпусов реакторов, определение возможностей повторного отжига корпусов требуют проведения дополнительных исследований состояния материала в отожженном и повторно облученном состояниях. Для обоснования разрабатываемых прогнозных моделей необходима экспериментальная информация об эволюции тонкой структуры радиационно-индуцированных состояний. В рамках международной программы PRIMAVERA проведены комплексные исследования материала корпусов реакторов ВВЭР-440 с использованием различных физических методик [5-9].

Данная работа посвящена исследованию образцов этих сталей одним из методов позитронной аннигиляционной спектроскопии. Методы позитронной аннигиляционной спектроскопии (ПАС) являются одними из эффективных неразрушающих методов исследования нанообъектов (вакансий, вакансионных кластеров), свободных объемов пор, полостей, пустот, их концентраций и химического состава в месте аннигиляции позитронов.

В последние годы комбинация этих методов широко и успешно используется для исследования радиационных дефектов в материалах атомной техники [10-16].

Целью настоящей работы являлось исследование электронных и дефектных свойств реакторных сталей путем измерения углового распределения аннигиляционных фотонов

(метод УРАФ) в образцах этих сталей. Исследованы образцы сварных соединений сталей с различным содержанием фосфора, облученные нейтронами до флюенсов  $6 \cdot 10^{19}$  н/см<sup>2</sup>, облученные и отожженные [17-19].

Для исследуемых материалов экспериментально определены такие важные характеристики металлов, как энергия Ферми, удельное число свободных электронов, приходящихся на один атом металла, их концентрация в зоне проводимости, размеры и концентрация радиационно-индуцированных дефектов.

Исследовано влияние нейтронного облучения и последующего отжига на свойства конструкционных материалов, используемых в реакторах ВВЭР (облучение образцов свидетелей проводилось в каналах Ровенской АЭС). Химический состав и состояние исследованных образцов сталей представлен в таблицах 1 и 2.

### Метод ПАС

Позитронная аннигиляционная спектроскопия (ПАС) является современным методом изучения структуры вещества [10-20]. Ее суть состоит в имплантации в исследуемый образец позитронов, образующихся в результате бета+ - распада радиоактивного источника (как правило, ядер изотопов Na-22, Cu-64, Co-58, Ti-44) и последующей регистрации параметров аннигиляционного гамма-излучения. В позитронной спектроскопии позитрон выполняет функции зонда, аннигиляционные характеристики которого определяются свойствами среды, окружающей его в месте аннигиляции.

В веществе процесс аннигиляции позитронов может протекать как в свободных соударениях с электронами среды, так и через образование связанных состояний позитронов с электронами, атомами, молекулами и различными дефектами, при этом каждый канал аннигиляции вносит свой специфический вклад в экспериментальный аннигиляционный спектр.

Естественно, для корректной интерпретации экспериментальных спектров ПАС необходимы надежные теоретические модели образования позитронных состояний, их взаимодействия с дефектами и продуктами радиолиза среды.

В настоящее время активно используются три основные разновидности ПАС:

1) регистрация временного распределения аннигиляционных фотонов (ВРАФ). Она состоит в измерении времени жизни каждого имплантированного в образец  $e^+$  (то есть интервала времени между регистрацией стартового гамма-кванта, испускаемого радиоактивным ядром – источником позитрона в момент бета+ - распада, и одного из аннигиляционных фотонов с энергией 511 кэВ);

2) измерение углового распределения аннигиляционных фотонов (УРАФ). В этом случае регистрируется отклонение от 180 градусов угла разлета фотонов при 2γ-аннигиляции;

3) измерение доплеровского уширения аннигиляционной линии (ДУАЛ). Здесь измеряется отличие в энергии аннигиляционных фотонов (при 2γ-аннигиляции) от 511 кэВ.

Метод ВРАФ дает сведения об электронной плотности в месте аннигиляции позитрона, а методы УРАФ и ДУАЛ дают информацию о распределении импульсов электронов среды. Таким образом, методики ВРАФ и УРАФ дополняют друг друга и позволяют экспериментально измерять параметры всех каналов аннигиляции позитронов в среде и тем самым получать развернутую информацию об электронных и дефектных свойствах среды. В проводящих средах дефекты (например, вакансии), как правило, обладают избыточным отрицательным зарядом и поэтому притягивают позитроны. Исследование методом ВРАФ облученных нейтронами образцов сталей реакторов ВВЭР–440 показало, что доля позитронов, захваченных радиационно-индуцированными дефектами, зависит от флюенса нейтронов и при больших флюенсах ( $\approx 10 \cdot 10^{20}$  н/см<sup>2</sup>) практически все позитроны захватываются дефектами и аннигилируют в них [18, 19].

Сопоставление измеряемых времен жизни позитронов в исследуемых материалах с известными временами жизни в дефектах различного типа позволяет идентифицировать тип дефекта, а по измерению доли позитронов, аннигилирующих в этом дефекте, получать информацию о концентрации дефектов. Параметры угловых аннигиляционных спектров содержат информацию об энергии аннигилирующей позитрон-электронной пары.

Поскольку в процессе аннигиляции участвуют практически термализованные позитроны, то измеряемая энергия аннигилирующей позитрон-электронной пары определяется в основном энергией электронов атомов среды, окружающих дефект. Сопоставление измеряемой энергии с табличными значениями потенциалов ионизации дает информацию о химическом составе среды в месте аннигиляции позитронов, а энергия позитронов характеризует размер дефектов. Применение позитронной методики в атомной отрасли позволяет исследовать радиационно-индуцированные дефекты размером до одного кубического нанометра. Порог чувствительности ПАС в отношении подобных дефектов составляет примерно  $10^{14}$  дефектов/куб.см.

### Методика.

Установка по измерению углового распределения аннигиляционных фотонов (УРАФ) расположена в экспериментальном зале реактора ИРТ МИФИ. Источником позитронов в установке служит радиоактивный изотоп  $\text{Cu}^{64}$ , получаемый облучением нейтронами изотопа меди  $\text{Cu}^{63}$  в ядерном реакторе:  $\text{Cu}^{63} + n = \text{Cu}^{64}$ . Близость установки к ядерному реактору позволяет проводить работы с использованием мощных (несколько Кюри) источников позитронов, что существенно расширяет возможности установки, а тем самым и класс исследуемых сред.

Используемые в измерениях источники позитронов представляли собой пластинки размером  $2 \times 2 \times 0,2$  см, вырезанные из фольги электролитической меди. Пластинки облучались сутки в реакторе ИРТ МИФИ нейтронами до флюенса  $1,7 \cdot 10^{18}$  н/см<sup>2</sup>.

После выгрузки из реактора позитронные источники активностью несколько Кюри помещались в облучательную часть установки УРАФ. Угловое разрешение установки составляло 0,4 мрад. Число совпадений в максимуме кривой достигало  $(10 \div 16) \cdot 10^3$ .

Метод углового распределения аннигиляционных фотонов УРАФ [13-15] основан на регистрации совпадений от двух гамма-квантов с энергией  $\sim 511$  кэВ, возникающих в результате аннигиляции электрон-позитронных пар и разлетающихся в противоположные стороны в системе центра масс пары. При аннигиляции электрон-позитронной пары выполняются законы сохранения импульса и энергии. Если центр масс пары неподвижен ( $v = 0$ ), то оба  $\gamma$ -кванта разлетаются в противоположных направлениях (угол  $\theta = 0$ ) с одинаковой энергией  $k_{1c} = k_{2c} = m_0c^2 = 0,511$  МэВ. Если  $v \neq 0$ , то углы между направлениями разлета  $\gamma$ -квантов будут отличаться от  $180^\circ$ , а их энергия уже не будет равна  $0,511$  МэВ. Таким образом, измерение угла  $\theta$  (отклонение угла разлета  $\gamma$ -квантов от  $180^\circ$ ) позволяет определить импульс  $e^+e^-$  пары. Позитроны к моменту аннигиляции термализуются, поэтому угол разлёта  $\gamma$ -квантов определяется импульсом электрона.

В рамках модели свободного электронного газа электроны проводимости в металле имеют импульсное распределение:

$$n_e(p) = \left[ \exp \left( \frac{(p^2 / 2m) - \varepsilon_F}{k_B T} \right) + 1 \right]^{-1} \quad (1)$$

где  $\varepsilon_F$  - энергия Ферми;

$k_B$  - постоянная Больцмана;

$T$  - абсолютная температура.

Для низких температур это распределение близко к прямоугольному, поэтому в кривых УРАФ металлов наблюдается параболическая  $f_p(\theta)$  компонента:

$$f_p(\theta) = \begin{cases} (3I_p / 4\theta_p^3) \cdot (\theta_p^2 - \theta^2), & |\theta| \leq \theta_p; \\ 0, & |\theta| > \theta_p. \end{cases} \quad (2)$$

Аннигиляция позитронов в металлах и сплавах происходит как на электронах зоны проводимости, так и на электронах ионного остова. Оставшаяся после вычитания параболы зависимость, как правило, описывается одной  $f_g(\theta)$  или суммой нескольких гауссовых кривых вида:

$$f_g(\theta) = (I_g / \sqrt{2\pi} \cdot \theta_g) \cdot \exp(-\theta^2 / 2\theta_g^2) \quad (3)$$

где:  $I_g$  - интенсивность гауссовой компоненты;

$\theta_g$  - дисперсия гауссовой кривой;

$\theta_p$  - угол пересечения параболой оси абсцисс  $\theta$  («угол отсечки»).

На рис. 1 приведен характерный вид измеренных спектров УРАФ с разложением на параболическую и гауссову компоненты. После коррекции спектров угловой корреляции их разложение на параболические и гауссовы составляющие с учётом функции разрешения установки проводилось на ЭВМ с использованием программы ACARFIT.

Определяя из эксперимента параметр  $\theta_p$ , можно оценить импульс Ферми  $p_F$  и энергию Ферми  $\varepsilon_F$  исследуемого металла:

$$p_F = \theta_p \cdot m \cdot c; \quad \varepsilon_F = \theta_p^2 \cdot (mc^2 / 2). \quad (4)$$

В приближении модели свободного электронного газа параметр  $\theta_p$  определяет удельное число свободных электронов  $Z_c$  (число электронов проводимости), приходящихся на один атом металла, и их концентрацию  $n_p(\theta)$

$$Z_c = (8\pi/3) \cdot (mc^2/h)^3 \cdot (A/\rho N_A) \cdot \theta_p^3; \quad (5)$$

$$n_p(\theta) = Z_c \cdot n_A = (8\pi/3) \cdot (mc^2/h)^3 \cdot \theta_p^3, \quad (6)$$

а параметр  $\theta_g$  - энергию остовных электронов (т.е. электронов, для которых угловое распределение аннигиляционных фотонов в спектрах УРАФ описывается гауссовой функцией)

$$\varepsilon_g = (3/2) \cdot (mc^2/2) \cdot \theta_g^2.$$

Здесь  $N_A$  - число Авогадро;  $h$  - постоянная Планка;  $A$  - атомный вес металла;  $\rho$  - его плотность.

Принято сопоставлять экспериментально получаемые значения  $Z_c$ ,  $\varepsilon_F$ ,  $n_p$  с аналогичными параметрами идеального металла. Идеальным металлом считают такой металл, в котором все валентные электроны переходят в зону проводимости. В этом случае удельное число электронов проводимости  $Z_c$  определяется номером группы периодической системы элементов Менделеева, а энергия Ферми  $\varepsilon_F$  и концентрация электронов проводимости  $n_p$ , в рамках модели свободного электронного газа, являются его константами

$$\varepsilon_F = (h^2/8m) \cdot (3/\pi \cdot n_A \cdot Z_c)^{2/3}; \quad (7)$$

$$n_p = Z_c \cdot n_A = (N_A \rho / A) \cdot Z_c, \quad (8)$$

где  $n_A$  - концентрация атомов в единице объема металла.

### Обработка экспериментальных результатов.

На рис. 1 приведен характерный вид спектров УРАФ с разложением на параболическую и гауссовы составляющие. Использовались два типа обработки экспериментальных спектров: разложение на один гаусс и параболу и разложение на два гаусса и параболу.

Наилучший  $\chi^2$  наблюдался при разложении экспериментальных спектров УРАФ на три компоненты – два гаусса и параболу. Каждая составляющая спектра УРАФ несет информацию о своем канале аннигиляции позитронов. Определены параметры каждого канала аннигиляции позитронов для каждого образца стали. Результаты представлены в виде таблиц (3-5) и в графической форме (рис. 2-3).

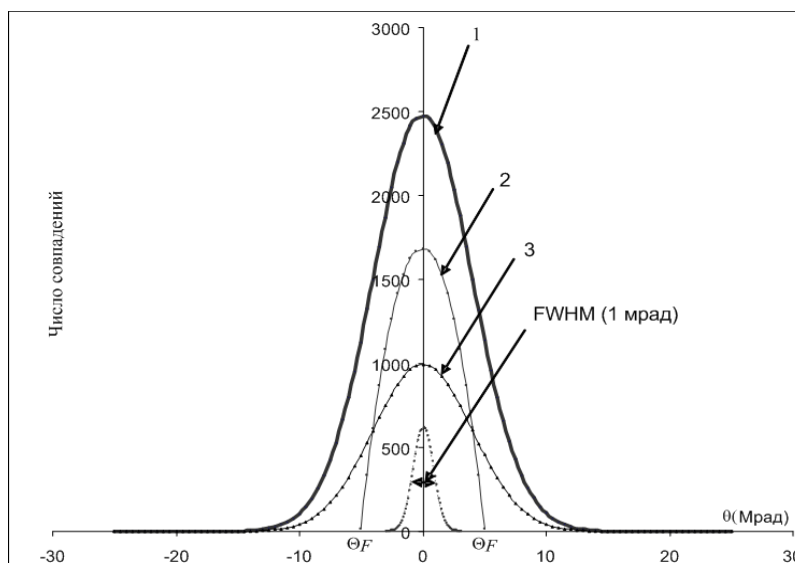


Рис. 1.

Характерное угловое распределение аннигиляционных фотонов в образцах стали:

- (1) – кривая УРАФ, построенная по экспериментальным точкам;
- (2) – параболическая компонента спектра; (3) – гауссова компонента спектра.

*FWHM* (full width half-maximum) – полная ширина гауссовой кривой на половине максимума.

В таблицах 3-5 представлены вероятности аннигиляции позитронов по каждому каналу, энергии Ферми, концентрации свободных электронов в зоне проводимости и энергии аннигилирующих позитрон-электронных пар.

Для выяснения роли отжига на облученные образцы строились разностные кривые нормированных на единицу угловых распределений аннигиляционных фотонов в облученных и отожженных и исходных образцах. Для этих целей создана специальная математическая программа обработки экспериментальных спектров.

Кроме реакторных сталей измерены спектры УРАФ в образцах чистого железа, хрома, ванадия и никеля – основных элементов исследуемых сталей.

При обработке экспериментальных спектров УРАФ гауссовы составляющие спектра аппроксимировались функцией

$$\varphi(\theta) = A \cdot \exp(-\theta^2/2\theta_g^2), \tag{9}$$

где  $\theta_g$  - дисперсия.

В таблицах 3-5 приведены значения  $\Gamma_g$  - ширины гауссовой кривой на полувысоте и  $\theta_p$  - угла пересечения параболой оси  $\theta$ .

$$\Gamma_g = 1,665109 \cdot \theta_g \tag{10}$$

Энергия

$$E_g = \frac{3}{2} \cdot \frac{mc^2}{2} \cdot \theta_g^2 = 0,0693246 (\Gamma_g)^2, \text{ где } [\Gamma_g] = \text{мрад}, [E_g] = \text{эВ}, \tag{11}$$

Энергия Ферми

$$E_f = \theta_p^2 \cdot (mc^2/2), \text{ где } [\theta_p] = \text{мрад}, [E_f] = \text{эВ}. \tag{12}$$

$I_p, I_{g1}, I_{g2}$  – интенсивности параболической и гауссовых компонент спектра УРАФ.



$E_{g1}, E_{g2}$  – энергии аннигилирующих позитрон-электронных пар.

Концентрация электронов в зоне проводимости связана с параметрами спектра УРАФ и с энергией Ферми выражениями

$$n_p(\theta) = (8\pi/3) \cdot (mc^2/h)^3 \cdot \theta_p^3 = 5,942 \cdot 10^{20} \theta_p^3, \text{ см}^{-3}. \quad (13)$$

$$n_p(\theta) = 4,6 \cdot 10^{21} \cdot (E_f)^{3/2} \text{ см}^{-3}, \text{ где энергия Ферми в эВ}. \quad (14)$$

### Обсуждение экспериментальных результатов.

Для исследуемых сплавов экспериментально определены такие важные характеристики металлов, как энергия Ферми, удельное число свободных электронов, приходящихся на один атом металла, и их концентрация в зоне проводимости, размер и концентрация радиационных дефектов.

Проведены измерения углового распределения аннигиляционных фотонов (УРАФ) в необлученных, облученных, облученных и отожженных образцах сталей действующих реакторов ВВЭР-440. Исследованы образцы сварных швов с различным содержанием фосфора и с разной степенью облучения. Образцы облучались в каналах реактора Ровенской АЭС. Флюенс нейтронов варьировался от  $1 \cdot 10^{19}$  н/см<sup>2</sup> до  $6 \cdot 10^{19}$  н/см<sup>2</sup>.

Химический состав и состояние исследованных образцов сталей представлен в таблицах 1-2.

Таблица 1.

### Химический состав исследованных образцов стали

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	V
LP	0.04	0.04	1.12	<b>0.027</b>	0.013	1.42	0.13	0.49	<b>0.16</b>	0.19
MP	0.04	0.39	1.15	<b>0.031</b>	0.013	1.42	0.13	0.50	<b>0.16</b>	0.18
HP	0.05	0.36	1.09	<b>0.038</b>	0.014	1.54	0.13	0.51	<b>0.16</b>	0.19

LP - Сварной шов с «низким» содержанием фосфора

MP - Сварной шов со «средним» содержанием фосфора

HP - Сварной шов с «высоким» содержанием фосфора

Таблица 2.

### Состояние исследованных образцов стали реакторов ВВЭР-440: 10 x 10 x 1 мм

Маркировка образцов	P (%)	Состояние образцов	Флюенс $\times 10^{19}$ н/см <sup>2</sup> (E>0.5 МэВ)	Кол-во
HP	0.038	необлученные	0	2
MP	0.031	необлученные	0	2
LP	0.027	необлученные	0	2
HP	0.038	облученные	1.22	2
MP	0.031	облученные	1.24	2
LP	0.027	облученные	1.22	2
MP	0.031	облученные	6.39	2
HP	0.038	облученные	5.95	2
LP	0.027	облученные	5.95	2
HP	0.038	облученные+ отожженные	5.71	2
MP	0.031	облученные + отожженные	5.94	2
LP	0.027	облученные + отожженные	5.71	2
Суммарное количество		Все позиции		24

Для выяснения влияния отжига на облученные образцы строились разностные кривые нормированных на единицу угловых распределений аннигиляционных фотонов в облученных и отожженных и исходных образцах.

Сопоставление разностных спектров УРАФ необлученных образцов с различным содержанием фосфора в пределах ошибок показало их идентичность (рис. 2).

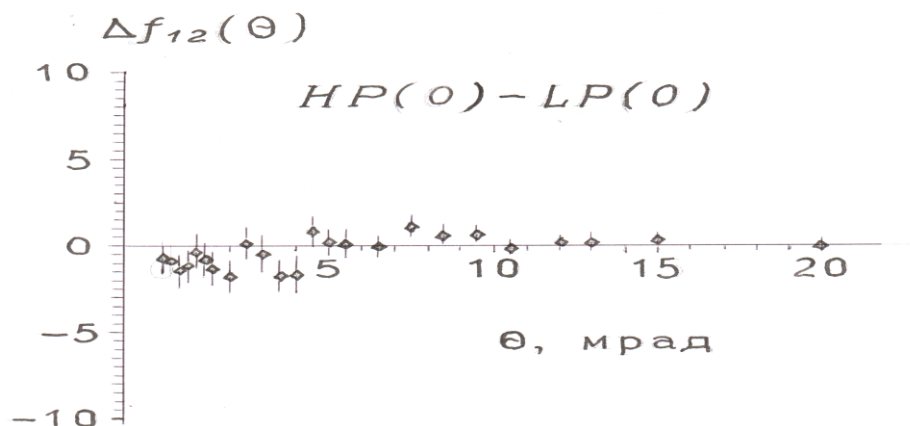


Рис. 2. Разностный спектр УРАФ необлученных образцов с высоким (НР) и низким (ЛР) содержанием фосфора

Таким образом, фосфор не является позитрончувствительным элементом. В спектрах УРАФ образцов стали НР с высоким содержанием фосфора, облученных до больших флюенсов  $59 \cdot 10^{18}$  н/см<sup>2</sup>, в области малых углов, а следовательно и малых энергий (< 1эВ) аннигилирующих позитрон-электронных пар, наблюдается повышенная интенсивность (рис. 3).

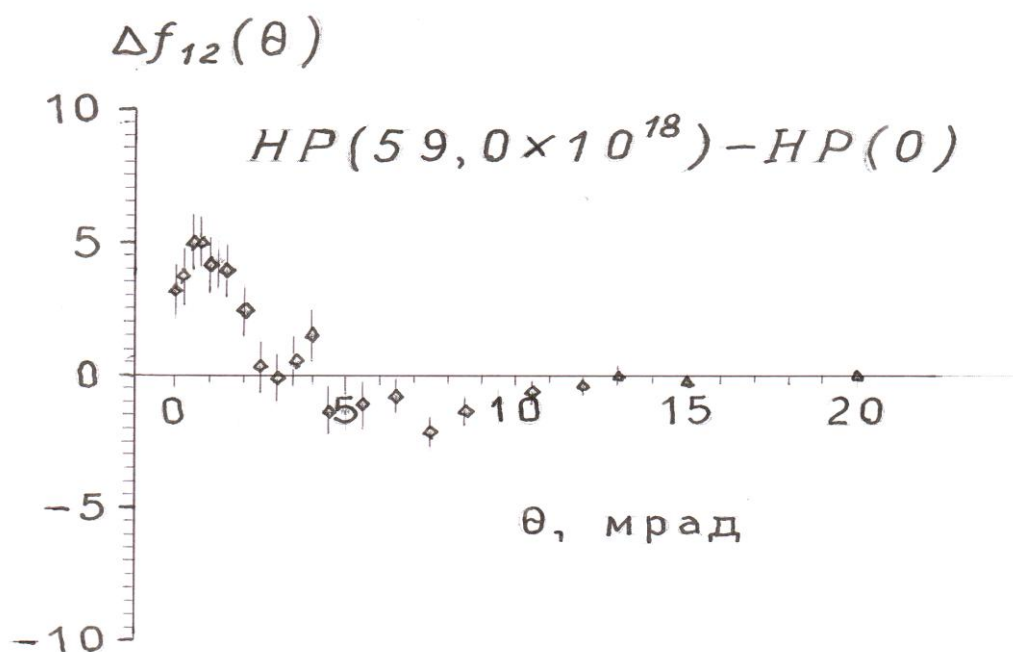


Рис. 3. Разностный спектр УРАФ облученных и необлученных образцов с высоким (НР) содержанием фосфора

Это может быть связано с аннигиляцией позитронов (квазипозитрония) в радиационных дефектах, индуцированных нейтронным облучением, либо порах на границе раздела трех кристаллитов. Существует большое количество экспериментальных данных, косвенно подтверждающих возможность образования позитрония. Так, в работе [21] в образцах Fe, Al, Ni, Pd, Cu наблюдалась компонента с маленькой интенсивностью и со временем жизни порядка наносекунды, в нашей работе [22] по исследованию пористого кремния с поверхностью, декорированной палладием, также наблюдался термализованный позитроний. При этом экспериментально определенный размер пор составлял 10-20 Å. Вообще, по нашему мнению, интенсивность данной компоненты должна зависеть от размера кристаллитов. Если размер кристаллитов много больше длины диффузии термализованных позитронов, т.е.  $\approx 100$  нм, то большая часть позитронов будет аннигилировать внутри кристаллитов и на границе раздела зерен и, следовательно, уменьшается вероятность захвата позитронов дефектами в тройном стыке кристаллитов. Из параметров ширины узкого пика (рис. 3) можно оценить размеры радиационных дефектов. Ширина на полувысоте этого пика равна примерно 3-4 миллирадиана. Такому уширению соответствует полость радиусом  $\approx 4-5$  Å. Интенсивность этого пика увеличивается с увеличением флюенса и значительно уменьшается в отожженных образцах сталей. В образцах с низким содержанием фосфора, LP, также наблюдается узкая составляющая с аналогичной шириной. Отжиг на интенсивность этой составляющей практически не оказывает влияния.

В образцах стали со средним содержанием фосфора MP узкая составляющая слабо выражена и при низких флюенсах  $12,4 \cdot 10^{18}$  н/см<sup>2</sup> практически незаметна.

В таблицах 3-5 представлены экспериментальные результаты при двух вариантах обработки экспериментальных спектров УРАФ: разложение на гаусс и параболу, разложение на два гаусса и параболу.

В этих таблицах приведены вероятности аннигиляции позитронов по каждому каналу, энергии Ферми, концентрации свободных электронов в зоне проводимости и энергии аннигилирующих позитрон-электронных пар.

Таблица 3.

**Параметры спектров УРАФ для образцов стали LP**

Характеристики образцов	$\Gamma_{g1}$ , мрад	$I_{g1}$ , %	$E_{g1}$ , эВ	$\Gamma_{g2}$ , мрад.	$I_{g2}$ , %	$E_{g2}$ , эВ	$\theta_p$ отсечка (мрад.)	$I_p$ , %	$E_f$ , эВ	$N_p(\theta)$ [ $10^{22}$ см <sup>-3</sup> ]
необлученные	13,20 $\pm 0,07$	82,94 $\pm 3,00$	12,00 $\pm 0,01$				5,74	17,06 $\pm 1,10$	8,41 $\pm 0,88$	11,2
необлученные	10,00 $\pm 0,38$	53,15 $\pm 14,00$	6,91 $\pm 0,05$	16,40 $\pm 0,60$	40,61 $\pm 15,00$	18,60 $\pm 0,08$	5,97	6,24 $\pm 2,70$	9,08 $\pm 5,10$	12,6
облучение ( $12,2 \cdot 10^{18}$ )	13,60 $\pm 0,07$	79,01 $\pm 3,20$	12,80 $\pm 0,01$				5,65	20,99 $\pm 1,00$	8,132 $\pm 0,43$	10,6
облучение ( $12,2 \cdot 10^{18}$ )	9,39 $\pm 0,39$	42,80 $\pm 11,00$	6,09 $\pm 0,05$	16,20 $\pm 0,47$	48,74 $\pm 14,00$	18,10 $\pm 0,07$	5,63	8,46 $\pm 2,90$	8,07 $\pm 3,30$	10,5
облучение ( $59,5 \cdot 10^{18}$ )	13,30 $\pm 0,07$	78,97 $\pm 2,80$	12,20 $\pm 0,01$				5,60	21,03 $\pm 0,87$	8,00 $\pm 0,37$	10,4
облучение ( $59,5 \cdot 10^{18}$ )	8,94 $\pm 0,37$	34,69 $\pm 9,10$	5,52 $\pm 0,05$	15,00 $\pm 0,33$	55,63 $\pm 14,00$	15,50 $\pm 0,05$	5,61	9,68 $\pm 2,70$	8,02 $\pm 2,40$	10,4
облучение ( $57,1 \cdot 10^{18}$ ) + отжиг	13,20 $\pm 0,06$	79,73 $\pm 2,40$	12,10 $\pm 0,01$				5,37	20,27 $\pm 0,74$	7,36 $\pm 0,31$	9,2
облучение ( $57,1 \cdot 10^{18}$ ) + отжиг	11,60 $\pm 0,40$	63,65 $\pm 17,00$	9,23 $\pm 0,06$	18,80 $\pm 1,70$	20,80 $\pm 14,00$	24,40 $\pm 0,23$	5,31	15,54 $\pm 3,60$	7,18 $\pm 0,82$	8,8

Таблица 4.

## Параметры спектров УРАФ для образцов стали МР

Характеристика образцов	$\Gamma_{g1}$ , мрад	$I_{g1}$ , %	$E_{g1}$ , эВ	$\Gamma_{g2}$ , мрад.	$I_{g2}$ , %	$E_{g2}$ , эВ	$\theta_p$ отсечка (мрад.)	$I_p$ , %	$E_f$ , эВ	$N_p(\theta)$ [ $10^{22} \text{cm}^{-3}$ ]
необлученные	13,40 $\pm 0,09$	79,07 $\pm 3,60$	12,40 $\pm 0,01$				6,03	20,93 $\pm 1,20$	9,26 $\pm 0,59$	13
необлученные	9,97 $\pm 0,42$	48,06 $\pm 15,00$	6,86 $\pm 0,06$	16,10 $\pm 0,59$	42,53 $\pm 16,00$	17,90 $\pm 0,08$	6,09	9,40 $\pm 3,40$	9,45 $\pm 3,70$	13,3
облучение ( $12,4 \times 10^{18}$ )	13,30 $\pm 0,09$	79,37 $\pm 3,50$	12,20 $\pm 0,01$				5,64	20,63 $\pm 1,10$	8,12 $\pm 0,49$	10,6
облучение ( $12,4 \times 10^{18}$ )	9,14 $\pm 0,29$	46,23 $\pm 11,00$	5,76 $\pm 0,04$	15,90 $\pm 0,45$	47,55 $\pm 13,00$	17,50 $\pm 0,06$	5,81	6,21 $\pm 2,50$	8,62 $\pm 4,70$	11,6
облучение ( $63,9 \times 10^{18}$ )	13,90 $\pm 0,08$	77,70 $\pm 2,90$	13,30 $\pm 0,01$				5,66	22,30 $\pm 0,93$	8,17 $\pm 0,37$	10,7
облучение ( $63,9 \times 10^{18}$ )	9,16 $\pm 0,40$	35,85 $\pm 9,20$	5,79 $\pm 0,06$	15,90 $\pm 0,38$	53,77 $\pm 13,00$	17,40 $\pm 0,05$	5,68	10,39 $\pm 3,00$	8,23 $\pm 2,70$	10,8
облучение ( $59,4 \times 10^{18}$ ) + отжиг	12,90 $\pm 0,08$	83,76 $\pm 3,30$	11,50 $\pm 0,01$				5,35	16,24 $\pm 0,92$	7,29 $\pm 0,52$	9,0
облучение ( $59,4 \times 10^{18}$ ) + отжиг	9,79 $\pm 0,38$	57,04 $\pm 14,00$	6,61 $\pm 0,05$	16,70 $\pm 0,67$	38,09 $\pm 14,00$	19,30 $\pm 0,09$	5,14	4,87 $\pm 2,30$	6,73 $\pm 4,40$	8,0

Таблица 5.

## Параметры спектров УРАФ для образцов стали НР

Характеристика образцов	$\Gamma_{g1}$ , мрад	$I_{g1}$ , %	$E_{g1}$ , эВ	$\Gamma_{g2}$ , мрад.	$I_{g2}$ , %	$E_{g2}$ , эВ	$\theta_p$ отсечка (мрад.)	$I_p$ , %	$E_f$ , эВ	$N_p(\theta)$ [ $10^{22} \text{cm}^{-3}$ ]
необлученные	13,20 $\pm 0,09$	81,69 $\pm 3,00$	12,30 $\pm 0,01$				6,00	18,31 $\pm 1,20$	9,18 $\pm 0,71$	12,8
необлученные	9,21 $\pm 0,40$	39,33 $\pm 14,00$	5,86 $\pm 0,06$	15,00 $\pm 0,44$	56,05 $\pm 11,00$	15,60 $\pm 0,06$	6,29	4,62 $\pm 2,70$	10,10 $\pm 8,00$	14,8
облучение ( $12,2 \times 10^{18}$ )	13,90 $\pm 0,07$	75,09 $\pm 2,40$	13,30 $\pm 0,01$				6,00	24,91 $\pm 0,83$	9,18 $\pm 0,32$	12,8
облучение ( $12,2 \times 10^{18}$ )	10,00 $\pm 0,33$	42,42 $\pm 9,20$	6,92 $\pm 0,05$	16,50 $\pm 0,42$	43,69 $\pm 11,00$	18,70 $\pm 0,06$	5,98	13,90 $\pm 2,90$	9,13 $\pm 1,60$	12,7
облучение ( $59,5 \times 10^{18}$ )	13,40 $\pm 0,07$	79,34 $\pm 2,60$	12,50 $\pm 0,01$				5,71	20,66 $\pm 0,82$	8,31 $\pm 0,38$	11,0
облучение ( $59,5 \times 10^{18}$ )	9,77 $\pm 0,30$	45,81 $\pm 10,00$	6,58 $\pm 0,04$	16,30 $\pm 0,44$	44,16 $\pm 12,00$	18,40 $\pm 0,06$	5,86	10,03 $\pm 2,60$	8,77 $\pm 2,40$	12,0
облучение ( $57,1 \times 10^{18}$ ) + отжиг	13,80 $\pm 0,09$	77,60 $\pm 3,10$	13,10 $\pm 0,01$				5,65	22,40 $\pm 0,99$	8,13 $\pm 0,39$	10,7
облучение ( $57,1 \times 10^{18}$ ) + отжиг	9,24 $\pm 0,35$	43,22 $\pm 10,00$	5,89 $\pm 0,05$	16,20 $\pm 0,41$	49,24 $\pm 13,00$	18,00 $\pm 0,06$	5,55	7,54 $\pm 2,70$	7,85 $\pm 3,70$	10,1

Здесь  $\Gamma_{gi}$  – полная ширина (FWHM) гауссовой компоненты на полувысоте,  $\theta_p$  – угол пересечения параболической компонентой оси  $\theta$ ,  $E_f$  (эВ),  $N_p(\theta)$  – соответственно, энергия Ферми и концентрация электронов в зоне проводимости,  $E_{gi}$  – энергия аннигилирующих электрон-позитронных пар,  $I_{g1}$ ,  $I_{g2}$ ,  $I_p$  – интенсивности гауссовых и параболической составляющих спектра УРАФ, численно равные отношению площади под соответствующей компонентой спектра к суммарной площади спектра (рис. 1).

Во всех образцах стали облучение и отжиг сопровождаются перестройкой электронной подсистемы – уменьшается энергия Ферми и концентрация электронов в зоне проводимости (табл. 3-5), что свидетельствует о возникновении дополнительных химических связей.

Для интерпретации полученных результатов измерены с большой статистикой спектры УРАФ в образцах железа высокой чистоты и ряде чистых металлов (Cu, Cr, Mo, Ni), входящих в состав реакторных сталей. В таблице 6 в качестве примера представлены параметры спектров УРАФ для чистого железа и хрома.

Сопоставление результатов обработки спектров УРАФ для исследованных образцов стали со спектрами УРАФ для чистых металлов показывает, что позитроны преимущественно аннигилируют на электронах железа (хрома) – сопоставимы значения энергии  $E_{g1}$  и  $E_{g2}$  для чистого железа (хрома) с аналогичными параметрами для сталей.

Экспериментальные величины концентрации электронов зоны проводимости сопоставлены с расчетными значениями. Показано, что выбранная для расчета модель свободного электронного газа, хорошо зарекомендовавшая себя в таких металлах как магний, алюминий, медь, цинк, индий, олово, свинец, висмут для металлов переходной группы с 3d электронной оболочкой малоприспособна. Из экспериментальных данных следует, что все исследованные металлы, кроме хрома (железо, никель, ванадий), отдают в зону проводимости всего лишь по одному электрону, в то время как их внешняя электронная оболочка содержит по два S-электрона (их конфигурация  $3d^4S^2$ ). Концентрации электронов в зоне проводимости и энергии Ферми для этих металлов соответственно составляют  $7,4 \times 10^{22} \text{ см}^{-3}$  ( $E_F = 6,45 \text{ эВ}$ ) для железа,  $15,6 \times 10^{22} \text{ см}^{-3}$  ( $E_F = 10,48 \text{ эВ}$ ) для хрома,  $9,1 \times 10^{22} \text{ см}^{-3}$  ( $E_F = 7,29 \text{ эВ}$ ) для никеля и  $8,0 \times 10^{22} \text{ см}^{-3}$  ( $E_F = 6,7 \text{ эВ}$ ) для ванадия. Вероятно, для этих металлов часть валентных электронов идет на образование химических связей, чем и объясняется присущая им высокая температура плавления (а также высокие механические свойства). Для хрома ( $3d^54S^1$ ) экспериментально измеренная концентрация электронов в зоне проводимости значительно больше (в  $1,6 \div 2$  раза) расчетного значения, выполненного в предположении, что хром может отдавать в зону проводимости только один электрон. Этот вопрос требует дальнейших исследований и может быть связан с тем что, электронная конфигурация хрома, входящего в состав кристалла, отличается от электронной конфигурации изолированного атома хрома, например ( $3d^44S^2$ ).

Таблица 6.

#### Параметры спектров УРАФ для образцов чистого железа и хрома

	$\Gamma_{g1}$ , мрад	$I_{g1}$ , %	$E_{g1}$ , эВ	$\Gamma_{g2}$ , мрад.	$I_{g2}$ , %	$E_{g2}$ , эВ	$\theta_p$ отсечка (мрад.)	$I_p$ , %	$E_f$ , эВ	$N_p(\theta)$ $10^{22} \text{ см}^{-3}$
Fe	12,50 $\pm 0,06$	87,62 $\pm 2,90$	10,80 $\pm 0,01$				5,34	12,38 $\pm 0,72$	7,26 $\pm 0,58$	9
Fe	10,10 $\pm 0,31$	64,99 $\pm 14,00$	7,05 $\pm 0,04$	16,70 $\pm 0,72$	32,29 $\pm 12,00$	19,20 $\pm 0,10$	5,01	2,71 $\pm 1,60$	6,40 $\pm 5,60$	7,45
Cr	11,90 $\pm 0,08$	90,82 $\pm 4,30$	9,75 $\pm 0,01$				5,76	9,18 $\pm 1,00$	8,45 $\pm 1,44$	11,3
Cr	9,84 $\pm 0,45$	54,60 $\pm 30,00$	6,68 $\pm 0,06$	14,60 $\pm 0,91$	41,76 $\pm 30,00$	14,60 $\pm 0,13$	6,41	3,63 $\pm 2,60$	10,48 $\pm 8,40$	15,6

Проведенные сопоставления измеренных и расчетных концентраций электронов в зоне проводимости дают основания полагать, что позитронная спектроскопия может быть с успехом применена и для исследования внутренних связей в металлах.

#### Определение размера дефектов и их концентрации.

Существуют модели, позволяющие сопоставлять параметры аннигиляционных спектров (ВРАФ и УРАФ) со средним размером пор и их концентрацией.

Время жизни позитронов в веществе зависит от пространственной плотности электронов в месте аннигиляции позитронов. При наличии свободного объема (поры) в веществе время жизни позитронов определяется размером поры. Обычно для расчетов

используется простая модель [24-26]: позитрон находится в сферической яме радиусом  $R_0$  с бесконечно высоким потенциальным барьером. При этом скорость  $\lambda$  его аннигиляции в приграничном слое  $\Delta R$  зависит от радиуса свободного объема поры  $R$

$$\lambda = \lambda_0 \left[ 1 - \frac{R}{R_0} + (2\pi)^{-1} \sin\left(\frac{2\pi R}{R_0}\right) \right], \text{нс}^{-1}, \quad (15)$$

где  $R = R_0 - \Delta R$ , а  $\lambda_0$  - скорость аннигиляции в бездефектной части вещества.

Анализ аннигиляции позитронов в материалах с известными значениями радиусов пор в молекулярных твердых телах и цеолитах показал, что величина  $\Delta R = R_0 - R = 1,66 \text{ \AA}$ . Вообще говоря, значение величины  $\Delta R$  зависит от природы вещества. Поэтому уравнение (15) возможно применять лишь для оценок размеров радиусов пор.

Размер пор можно также найти, используя только данные УРАФ.

В рамках рассматриваемой модели энергия частицы  $E$  в основном состоянии в потенциальной яме, моделирующей пору, дается выражением

$$E = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2mR^2}, \quad (16)$$

где  $m$  - масса частицы.

В случае позитрона его энергия будет связана с размером поры соотношением

$$E_{e\nu} = \frac{37,7}{R_0^2}, \quad (17)$$

где 37,7 - переводной множитель,  $R$  – в ангстремах.

Из параметров аннигиляционных спектров УРАФ можно определить энергию позитрона, аннигилирующего в поре, и тем самым оценить размер поры. Поскольку позитрон перед аннигиляцией успевает практически термализоваться, то измеряемая энергия аннигилирующей позитрон-электронной пары в основном будет определяться энергией электрона.

Рассмотрение кинетической схемы гибели позитронов в среде позволяет по параметрам аннигиляционных спектров определять средние величины концентрации дефектов.

Экспериментальный спектр углового распределения фотонов представляет собой суперпозицию отдельных кривых, характеризующих аннигиляцию позитронов в бездефектной области и в дефектах разных типов [13-15].

Для определения средней величины концентрации дефектов и их размеров по основным характеристикам аннигиляционных спектров в случае, когда в образце имеется два типа дефектов ( $N = 2$ ), можно написать следующие уравнения для скорости захвата позитронов в вакансию и в кластер [10,13]:

$$k_{d1} N_{d1} = \frac{I_1}{1 - I_1 - I_2} \lambda_0, \quad k_{d2} N_{d2} = \frac{I_2}{1 - I_1 - I_2} \lambda_0, \quad (18)$$

$$I_1 = \frac{k_{d1} N_{d1}}{\lambda_0 + k_{d1} N_{d1} + k_{d2} N_{d2}}, \quad I_2 = \frac{k_{d2} N_{d2}}{\lambda_0 + k_{d1} N_{d1} + k_{d2} N_{d2}},$$

где  $I_i$  - вероятность аннигиляции позитронов в областях, соответствующих дефектам  $i$ -го типа,  $\lambda_0$  - скорость аннигиляции позитронов в бездефектной области,  $k_d$  - константа захвата позитронов дефектами,  $N_d$  - концентрация дефектов.

Среднее значение константы захвата позитронов дефектами можно записать в виде

$$k_d = \sigma \cdot \nu = 4 \cdot \pi \cdot D_+ \cdot R_d \quad (19)$$

Здесь  $D_+$  - коэффициент диффузии позитронов,  $R_d$  - средний радиус дефектов (пор),  $\sigma$  - сечение захвата дефектами позитрона,  $\nu$  - скорость термализованного позитрона.

Если имеются образцы с разной концентрацией дефектов одного типа, то можно найти разностный спектр

$$\Delta I = I_1'' - I_1'$$

$$\Delta I = \lambda_0 k_d (N_{d1}'' - N_{d1}') / (\lambda_0 + k_d N_{d1}'' + k_d N_{d2}'') (\lambda_0 + k_d N_{d1}' + k_{d2} N_{d2}') \quad (20)$$

В частном случае дефектов одного типа и изначально бездефектного образца  $N_d'' \gg N_d'$

$$\Delta I = k_d N_d'' / (\lambda_0 + k_d N_d'') \quad (21)$$

Здесь  $\Delta I$  – экспериментально измеряемая величина методом УРАФ,  $\lambda_0$  – скорость аннигиляции позитронов в объеме материала, измеряется методом ВРАФ.

Используя приведенные выражения, можно оценивать радиусы свободных объемов в пористых системах, дефектных материалах по параметрам экспериментально измеренных спектров УРАФ и ВРАФ.

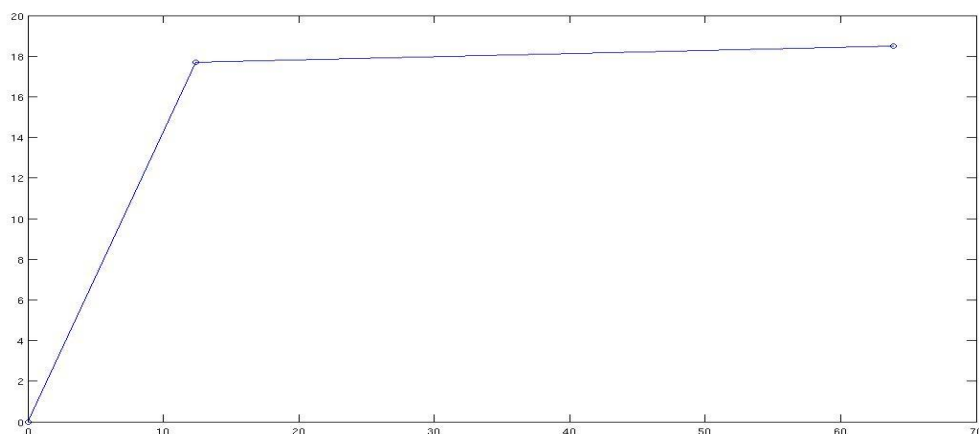
Рассмотрим, для примера, сталь с низким содержанием фосфора (LP).

Результаты математической обработки экспериментальных спектров УРАФ показывают, что во всех образцах сталей LP имеются высокоинтенсивные гауссовы компоненты с интенсивностями  $I_{g1} \sim (34 - 63) \%$ ,  $I_{g2} \sim (20 - 55) \%$  и энергиями  $E_{g1} \sim (6 - 9)$  эВ и  $E_{g2} \sim (15 - 24)$  эВ и параболическая компонента с интенсивностью  $I_p \sim (4 - 15) \%$  и энергией Ферми  $E_f \sim (7 - 9)$  эВ. По нашему мнению высокоинтенсивные гауссовы компоненты обусловлены аннигиляцией позитронов, захваченных вакансионными дефектами, а параболическая компонента обусловлена аннигиляцией позитронов на делокализованных электронах проводимости (Ферми-газе объектов). Обращает на себя внимание низкая интенсивность параболической компоненты (табл. 3-5). Интенсивность этой компоненты для всех исследованных образцов сталей не превышает 15 % и уменьшается с ростом флюенса нейтронов. Этот эффект, по-видимому, связан с тем обстоятельством, что большая часть позитронов захватывается и аннигилирует в дефектах. Так в работе [18, 19], выполненной методом ВРАФ, показано, что при флюенсе нейтронов  $3,3 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-2}$  в аналогичных сталях практически все позитроны захватываются дефектами. Увеличение концентрации позитрончувствительных дефектов с ростом флюенса электронов в сплавах Fe-Ni, Fe-Ni-Al, Fe-Ni-Si наблюдалось также по изменению S-параметра (доплеровского уширения аннигиляционной линии) в работе [27]. В работе [28] показано, что S-параметр характеризует концентрацию вакансионных кластеров малых размеров.

Экспериментально определенная концентрация электронов в зоне проводимости для всех исследованных образцов сплавов уменьшается с ростом флюенса нейтронов (см. табл. 3-5). Даже после отжига при 475 °С концентрация делокализованных электронов не возвращается к исходному состоянию. Подобные результаты для чистого железа наблюдались в работе [23], где концентрация электронов проводимости уменьшалась с дозой облучения. По нашему мнению, такое уменьшение концентрации электронов при облучении сплавов обусловлено увеличением межкристаллитных ковалентных связей на границе зерен и формированием упорядоченных структур из примесных атомов. Наблюдается корреляция между характером изменения концентрации делокализованных электронов (рис. 4) и изменениями температуры вязко-хрупкого разрушения материала образцов [6, 7].

Таким образом, появляется возможность исследования методами ПАС внутренних связей в металлах.

$$\frac{N_p^0 - N_p}{N_p^0} \cdot 100\%$$



Флюенс нейтронов  $10^{18}$  н/см<sup>2</sup>

Рис. 4. Образцы стали (MP) со средним содержанием фосфора

Здесь  $N_p^0$  и  $N_p$  - соответственно концентрация электронов в необлученных и облученных образцах сталей.

На рис. 4 представлено относительное изменение концентрации электронов в зоне проводимости в зависимости от флюенса нейтронов для стали (MP) со средним содержанием фосфора. Для сталей с низким (LP) и высоким (HP) содержанием фосфора характер зависимости аналогичный (см. табл. 3-5).

Как уже говорилось выше, по параметрам аннигиляционных спектров УРАФ можно определить энергию позитрона, аннигилирующего в поре, и тем самым оценить размер поры.

Из данных табл. 6 и 7 видно, что экспериментально измеренные значения  $E_{g1}, E_{g2}$  образцов стали, железа, хрома и никеля сопоставимы со значениями энергий связи  $E_1 = U_1$  и  $E_2 = U_2$  внешних валентных электронов атомов элементов, входящих в состав стали (табл. 7).

Таблица 7.

**Химический состав образцов стали LP и потенциалы ионизации элементов, входящих в состав стали**

Название образца	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	V
Содержание, %	~97	0,04	0,04	1,12	0,027	0,013	1,42	0,13	0,49	0,16	0,19
$U_1$ , эВ	7,9	11,3	8,15	7,43	10,56	10,35	6,76	7,63	7,13	7,72	6,74
$U_2$ , эВ	16,2	24,4	16,34	15,64	19,65	23,4	16,49	18,15	15,72	20,29	14,65

$E_{g1}$  – необлученные образцы сталей ~ 5.86-6.91 [эВ] (табл. 3-5)

$E_{g2}$  – необлученные образцы сталей ~ 15.6-18.6 [эВ] (табл. 3-5)

Назовем эти центры аннигиляции позитронов с параметрами  $I_{g1}, E_{g1}$  центрами первого рода. Отличие величины  $E_{g1}$  от значения  $E_1 = U_1$  атомов Fe и Cr, по-видимому, обусловлено уменьшением  $E_1 = U_1$  в кристалле (сплаве) по сравнению со значением  $E_1 = U_1$  электрона свободных атомов Fe и других атомов за счет образования химических связей с



другими элементами сплава. В свою очередь, значения  $E_{g_2}$  для образцов стали,  $Fe$  и  $Cr$  по своим значениям ближе всего к значениям энергий связи  $E_2 = U_2$  внешних электронов положительно заряженных ионов атомов  $Fe$  и других элементов, входящих в состав стали (табл. 7). Назовем эти центры аннигиляции позитронов с параметрами  $I_{g_2}, E_{g_2}$  центрами второго рода. Из данных табл. 3-5 следует, что эти центры аннигиляции первого и второго рода при облучении и отжиге претерпевают значительные трансформации.

Будем считать центрами аннигиляции первого рода поры в тройном стыке кристаллитов и дислокаций (либо комплексы вакансий), декорированные атомами железа и примесей. Аннигиляция позитронов из этих состояний дает компоненту  $I_{g_1}(E_{g_1})$ . Центрами захвата второго рода могут служить вакансии на границе раздела кристаллитов и радиационно-индуцированные вакансии  $Fe$  и их комплексы. Из экспериментальных данных (табл. 3-5) следует, что при отжиге происходит преимущественно трансформация радиационно-индуцированной части центров захвата второго рода в центры захвата с более глубокими позитронными уровнями. В такой модели с ростом флюенса нейтронов увеличивается концентрация радиационно-индуцированных вакансионных дефектов и, как следствие, увеличивается захват позитронов этими дефектами и, соответственно, уменьшается доля позитронов, аннигилирующих со свободными электронами и в дефектах первого рода (см. табл. 3-5).

При этом аннигиляция позитронов протекает в основном на внешних (валентных) электронах атома железа и заряженного иона  $Fe^+$ , так как  $E_{g_1} \rightarrow U_1, E_{g_2} \rightarrow U_2$ .

Таким образом, по экспериментально определенным энергиям  $E_{g_1}$  и  $E_{g_2}$  (см. табл. 3-5) можно также найти состав и радиусы нанобъектов (пор, вакансий, зерен и включений второй фазы – нанокластеров и возможно дислокаций, декорированных различными примесями и т.д.), используя только данные УРАФ [29-31]. Для этого приведем выражение, связывающее энергию аннигилирующей электрон-позитронной пары с полной шириной на полувысоте соответствующей гауссовой компоненты спектра УРАФ

$$E_{gi} = 6,9 \cdot 10^{-2} \cdot \Gamma_{gi}^2 \quad (22)$$

Здесь  $E$  - энергия в эВ, а  $\Gamma_g$  - полная ширина кривой УРАФ на полувысоте в мрад. Так для образцов сплава LP (табл. 3) рассчитанные по этой формуле значения средних энергий аннигилирующих электрон-позитронных пар оказались равными  $E_{g_1} = 6,91, 6,09, 5,52, 9,23$  эВ и  $E_{g_2} = 18,6, 18,1, 15,5, 24,4$  эВ. Табличные значения энергий электронов (табл. 7) внешних оболочек атомов железа и иона железа составляют величины 7,89 и 16,19 эВ, а для хрома эти же величины соответственно равны 6,76 и 16,49 эВ. Как видим, значения величин энергий  $E_{gi}$ ,  $E(Fe)$  и  $E(Fe^+)$  близки друг другу. Таким образом, можно полагать, что позитроны аннигилируют в основном на внешних валентных электронах атомов железа (хрома) «стенки» вакансий и комплексов вакансий. В этом случае, разность величин  $E - E(Fe)$  в эВ обусловлена вкладом энергии позитрона, находящегося в вакансиях, в энергию аннигилирующих электрон-позитронных пар. Для оценки размера вакансий можно использовать выражения вида

$$R_{sp} = \left( \frac{37,7}{E - E(Fe)} \right)^{1/2}, \quad R_{sp} = \left( \frac{37,7}{E - E(Fe^+)} \right)^{1/2} \quad (23)$$

Здесь величины имеют размерности  $R_{sp}$  в Å,  $E$  в эВ. Определим размеры центров захвата второго рода, используя параметры ионов железа  $E = E_{g_2} - E(Fe^+)$  эВ. Для  $E_{g_2} = 18,6$  эВ и  $E(Fe^+) = 16,19$  эВ получим размер пор 4 Å. Значение  $E(Fe^+)$  для всех исследованных образцов сталей (LP, MP, NP) меняется от 15,5 до 24,4 эВ, а размер дефектов, соответственно, от 5 до 2 Å.

Из выражения (21) можно получить связь между скоростью захвата  $K_d N_d$  центрами второго рода и интенсивностью компоненты  $I_{g2}$

$$k_d N_d \cong \lambda_0 \Delta I \cong \Delta I / \tau_0, \text{ с}^{-1} \quad (24)$$

Здесь  $\Delta I$  - разность между интенсивностями гауссовых компонент  $I_{gi}$  (Irradiated), облученных образцов стали, и  $I_{gi}$  (Not irradiated) исходных необлученных образцов стали в спектрах УРАФ,  $K_d$  - константа захвата позитронов дефектами, а  $N_d$  - концентрация дефектов.

Оценим значение  $k_d N_d$  для значения  $\Delta I_{g2} = 0,08$  (см. табл. 3) и значения  $\tau_0 = (1,10 \pm 0,05) \cdot 10^{-10}$  с [18,19] для данной стали. С этим значением  $\Delta I_g$  получаем  $k_d N_d \cong 0,08 / 1,10 \cdot 10^{-10} = 7,3 \cdot 10^8 \text{ с}^{-1}$ .

Величина скорости захвата  $k_d N_d$  в свою очередь может быть определена на основе известного выражения

$$k_d N_d = \sigma \cdot \nu \cdot N_d, \text{ с}^{-1} \quad (25)$$

Здесь  $\sigma$  - сечение захвата дефектами позитрона;  $\nu$  - скорость термализованного позитрона;  $N_d$  - средняя концентрация дефектов (в дефектной области кристалла). Средняя тепловая скорость позитрона при комнатной температуре  $T = 293\text{K}$  оценивалась по формуле  $\nu = (8k_0 T / \pi m_+^*)^{1/2} \approx 1,05 \cdot 10^7 \text{ см/с}$ , где  $k_0$  - постоянная Больцмана,  $m_+^* \approx m_0$  - эффективная масса позитрона,  $m_0 = 9,1 \cdot 10^{-28}$  г - масса свободного позитрона. Предполагая, что сечение захвата позитронов центрами захвата примерно равно среднему значению геометрического сечения дефекта, получим  $\sigma \approx \pi \cdot R_d^2 = 3,14 \cdot 0,16 \cdot 10^{-14} \approx 5 \cdot 10^{-15} \text{ см}^2$  (приняли, что  $R_d \approx 0,4 \text{ нм}$ ). Используя определенные выше значения  $R_d \approx 0,4 \cdot 10^{-7} \text{ см}$ ,  $k_d$  и  $\nu$ , можно оценить среднее значение концентрации центров захвата позитронов в облученных образцах стали  $N_d = \lambda_0 \Delta I / \sigma \cdot \nu = 7,3 \cdot 10^8 / 5 \cdot 10^{-15} \cdot 10^7 \approx 1,4 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ . При использовании данных [18,19]  $\Delta I_2 = 0,06$ ,  $\tau_0 = 1,1 \cdot 10^{-10}$  с и радиусе вакансий  $R_d \approx 0,25 \text{ нм}$  (радиус вакансий из данных ВРАФ) получим значение  $k_d N_d \cong 0,06 / 1,10 \cdot 10^{-10} = 5,5 \cdot 10^8 \text{ с}^{-1}$  и концентрацию дефектов  $N_d = k_d N_d / \sigma \cdot \nu = 5,5 \cdot 10^8 / 2 \cdot 10^{-15} \cdot 10^7 \approx 2,7 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ .

### Заключение.

Проведены исследования корпусных сталей, используемых в действующих реакторах ВВЭР-440. В исследованных образцах сталей выявлены вакансионные дефекты, в том числе вызванные нейтронным облучением, и определены их размеры. Показано, что метод позитронной аннигиляционной спектроскопии (ПАС) является одним из эффективных методов определения размеров нанообъектов (вакансий, вакансионных кластеров), свободных объемов пор, полостей, пустот, их концентраций и химического состава в месте аннигиляции позитронов в дефектных материалах.

Установлено, что позитронная спектроскопия может с успехом применяться для исследования внутренних связей в металлах и, в частности, для исследования границ раздела кристаллитов.

### Примечания:

1. V. Slugen, D. Segers, P.M.A. de Bakker, E. de Graveb, V. Magula, T. van Hoecke and B. van Waeyenberge // Journal of Nuclear Materials, Volume 274, Issue 3, September 1999, p. 273-286;
2. V. Slugen, G. Kogel, P. Sperr, W. Triftshauser // Journal of Nuclear Materials 302 (2002) 89-95.

3. L. Debarberis, A. Kryukov, D. Erak, Yu. Kevorkyan and D. Zhurko // *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, Volume 81, Issue 8, August 2004, Pages 695-701.
4. Y. Nishiyama, K. Onizawa, M. Suzuki, J.W. Anderegg, Y. Nagai, T. Toyama, M. Hasegawa and J. Kameda // *Acta Materialia*, Volume 56, Issue 16, September 2008, Pages 4510-4521.
5. S. Rogozkin, et al. // *The effect of post-irradiation annealing on VVER-440 RPV materials mechanical properties and nano-structure under re-irradiation*, proceedings of PVP2009, July 26-30, 2009, Prague, Czech Republic.
6. A. Chernobaeva, J. Shtrombah, A. Krjukov, D. Erak, P. Platonov, J. Nikolaev, E. Krasikov, L. Debarberis, Yu. Kohopaa, M. Valo, S. Vodenicharov and T. Kamenove. Material characterization and selection for the international research project "PRIMAVERA". // *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, Volume 84, Issue 3, March 2007, Pages 151-158.
7. Zabusov, E. Krasikov, M. Kozodaev, A. Suvorov, P. Pareige, B. Radiguet., "Redistribution of impurity and alloying elements in VVER-440 reactor pressure vessel steel due to operating factors", *Physics of radiation damage and radiation material science*, N 3 (83), 2003, pp. 66-72.
8. A. Zeman, et al. // *Journal of Nuclear Materials*, Volume 360, Issue 3, 1 March 2007, p.272-281.
9. V. Krsjak, et al. // *Applied Surface Science*; Volume 255, Issue 1, 31 October 2008, Pages 153-156.
10. M. Lambrecht, A. Almazouzi // *Journal of Nuclear Materials*, Volume 385, Issue 2, 31 March 2009, Pages 334-338.
11. A.P.Druzhkov, D.A.Perminov // Chapter 5 in *Nuclear Materials Research Developments*. Editor: J.E.Keister ISBN 1-60021-432-0, 2007, Nova Science Publishers, Inc.
12. M.J.Puska and R.M.Nieminen // *Reviews of Modern Physics*, vol.66, № 3, July 1994, p. 841-893.
13. V.I Grafutin and E.P. Prokopev // *Physics - Uspekhi* 45 (1) 59 - 74 (2002), p.63;
14. V.I.Grafutin et al. // *Phys. Solid State* 40 549 (1998);
15. V.I. Grafutin et al. // *Phys. Solid State* 41 843 (1999).
16. Puska M.J., Nieminen R.M. Defect spectroscopy with positrons a general calculational method.// *J.Phys. F: Metal Phys.* 1983. V.13. №2. P.333-346.
17. V.Slugen // *What Kind of Information we can Obtain from Positron Annihilation Spectroscopy*, European Commission, Joint Research Centre, EUR 22468 EN, 2006.
18. J. Kocik, E. Keilova, J. Cizek, I. Prochazka. // *Journal of Nuclear Materials* 303 (2002) 52-64;
19. J. Cizek, F. Becvar, I. Prochazka // *Nuclear Instruments and Methods in Physics research A* 450 (2000) 325-337.
20. А.И.Гусев // *Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии*, Москва, Физматлит, 2009, С.415.
21. Schaefer H.-E. Investigation of thermal equilibrium vacancies in metals by positron annihilation. // *Phys.Stat.Sol.(a)*.1987.V102. №1. P.47-65
22. О.М.Бритков, С.А.Гаврилов, В.И.Графутин, В.В.Калугин, О.В.Илюхина, Г.Г.Мясищева, Е.П.Прокопьев, С.П.Тимошенко, Ю.В.Фунтиков. Исследование пористого кремния методом позитронной аннигиляционной спектроскопии // *Химия высоких энергий*. 2007. Т.41. №1. С.1-6.
23. M.Eldrup and B.N. Singh // *Investigations of Void Formation in Neutron Irradiated Iron and F82H Steel*, Risø report R-1241(EN), ISBN 87-550-2824-1, (2001).
24. Tao S. J. // *J. Chem. Phys.* 56 (1972) 5499;
25. Eldrup M., Lightbody D., Sherwood J. N. // *Chem. Phys.* 63 (1981) 51;
26. Deng Q., Jean Y. // *Macromolecules* 26 30 (1993).
27. A.P. Druzhkov, D.A. Perminov, A.E. Davletshin // *Journal of Nuclear Materials*, 384 (2009) 56-60.
28. W.Brandt // *Appl. Phys.* 5. (1974) 1.
29. Графутин В.И., Илюхина О.В., Мясищева Г.Г., Прокопьев Е.П., Тимошенко С.П., Фунтиков Ю.В. Позитроника нанообъектов в пористых и дефектных системах на основе кремния и кварца. // *Украинский физический журнал*. 2009. Т.54. №5. С. 443-453.
30. Y.A. Chaplygin, S.A. Gavrilov, V.I. Grafutin, E. Svetlov-Prokopiev, and S.P. Timoshenkov. *Positronics and nanotechnologies: possibilities of studying nano-objects in technically important*

materials and nanomaterials. // Proc. IMechE. Part N: J. Nanoengineering and Nanosystems. 2009. Vol. 221. P.125-132.

31. Yu.A. Chaplygin, V.I. Grafutin, E.P. Svetlov-Prokopiev, S.P. Timoshenkov. Positronics and Nanotechnologies: Possibilities of Studying Nano-objects in Technically Important Materials and Nanomaterials. // In Book: Advances in Nanotechnology. Volume 1. Editors: E. J. Chen and N. Peng. 2009.

УДК 621

## **Применение методов позитронной аннигиляционной спектроскопии в ядерных технологиях**

### **II. Исследования конструкционных материалов активной зоны реакторов методом углового распределения аннигиляционных фотонов (метод УРАФ)**

<sup>1</sup> В.И. Графутин

<sup>2</sup> В.А. Илюхин

<sup>3</sup> О.В. Илюхина

<sup>4</sup> Г.Г. Мясищева

<sup>5</sup> Е.П. Прокопьев

<sup>6</sup> Ю.В. Фунтиков

<sup>1-6</sup> НИЦ «Курчатовский институт», ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ» им. А.И.Алиханова

**Аннотация.** Методом позитронной аннигиляционной спектроскопии (метод УРАФ) проведены экспериментальные исследования сталей, применяемых в атомной промышленности. Обработка экспериментальных результатов и сопоставление их с литературными данными позволила выявить вакансионные дефекты, в том числе и вызванные нейтронным облучением, и определить их размеры.

**Ключевые слова:** ядерный реактор; метод углового распределения; метод УРАФ.

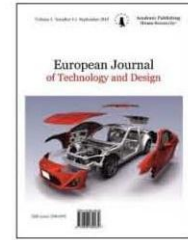
ISSN: 2310-0133

Founder: Academic Publishing House *Researcher*

DOI: 10.13187/issn.2310-0133

Has been issued since 2013.

**European Journal of Technology and Design**



UDC 528; 004.8

## **Geoinformation Technology for the Control of Transportation Objects**

Pavel D. Kuzhelev

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Russian Federation

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

E-mail: miigaiknir@yandex.ru

**Abstract.** This article provides an analytical review of applying geoinformation technology for the control of transportation objects. The article brings to light the principles of such control. It examines the tenor of the principles of control using geoinformation technology.

**Keywords:** geoinformatics; control; geoinformation technology; transportation systems; mobile objects.

**Введение.** Современные системы управления транспортом имеют первостепенное значение для развития экономики. Системы поставок, функционирующие согласно концепциям "точно в срок" (JIT) и "точно в установленной последовательности" (JIS), все в большей степени нуждаются в надежных, гибких, оперативных и эффективных системах и технологиях управления. Под воздействием спроса со стороны потребителя и глобализации производства и торговли транспортные сети и маршруты существенно удлиняются. Это обуславливает необходимость учета пространственных факторов и пространственных отношений. Данные факторы можно учесть только при использовании геоинформационных систем и технологий как инструментов управления. Отсюда вытекает актуальность рассмотрения геоинформационных технологий как инструмента управления транспортом [1].

**Лингвистические аспекты и отношение понятий.** Современное управление транспортом основано на развитии и применении систем управления транспортом [2] (Transportation Management System - TMS), интеллектуальных транспортных систем (ИТС) (intelligent transport systems) и интеллектуальных логистических систем (ИЛС) (Intelligent Logistics Systems), основой которых является геоинформация, геоинформационные технологии (ГИТ) и геоинформационные системы [3].

Термин «системы управления транспортом» не имеет устойчивой аббревиатуры в русском языке, поэтому для его обозначения будем использовать зарубежное обозначение – TMS. Два другие термина распространены в российской литературе, также как и их аббревиатуры.

Системы управления транспортом имеют аналог, который раньше называли АСУ транспорта. Как правило, такие АСУ имели отраслевое и региональное значение, а также использовались на крупных транспортных предприятиях. На небольших предприятиях регулиющую роль выполнял диспетчер. В настоящее время все диспетчера имеют в качестве инструмента поддержки принятия ГИС или навигационную систему с картографической информацией (специализированную ГИС). Следовательно, все современные системы управления транспортом и диспетчерские службы используют геоинформационные технологии.

Таким образом, общее управление транспортом с большим участием человека осуществляет TMS. Это человеко-машинная система. При высоком уровне сложности

управление передают ИТС. В этой системе доминантой является управление *подвижными объектами* [4]. ИТС используют в основном транспортные предприятия и корпорации.

При решении логистических задач применяют ИЛС. В этой системе доминантой является управление *процессами и потоками*. ИЛС используют не только транспортные предприятия, но все организации заинтересованные в получении и передаче грузов и связанные с цепочками поставок. Кроме различия в объекте управления, между ИЛС и ИТС существует различие по целям. В ИТС управление, как правило, одноцелевое, а в ИЛС управление многоцелевое [5].

**Общие принципы управления.** Геоинформатика интегрирует многие науки и технологии [6], а интеграция информатики и геоинформатики [7] дает синергетический эффект. Основой геоинформационного моделирования, применяемого в ГИТ, служит информационное моделирование, информационные модели [8]. Методы геоинформатики служат основой инновационных решений [9] в сфере транспорта и управления им с использованием TMS, ИТС и ИЛС.

Использование ГИТ как интегрированной технологии для управления транспортом применяет следующие технологии. Информационное моделирование [8, 10], геоинформационное моделирование [11], ситуационное моделирование [12], применение геостатистики [13], геоинформационный мониторинг [14], когнитивные и интеллектуальные технологии [15], цифровые модели и цифровое моделирование [16], технологии поддержки принятия решений с помощью ГИТ.

**Информационное и геоинформационное моделирование.** Информационное моделирование включает построение информационных моделей разного назначения. Это модели подвижного объекта, модели ситуации в которой этот объект находится и модели позиции которую объект занимает в данной ситуации [17]. Подчеркнем, что это чисто информационные модели. Еще одной особенностью информационного моделирования является использование для формирования различных информационных моделей базовых элементов. Эти базовые элементы представляют собой информационные единицы. Различают две группы информационных единиц: информационные единицы как носители информации и структуры информационных моделей [18]; информационные единицы как носители семантического содержания и знания [19].

Геоинформационное моделирование [11] базируется на геоинформационном подходе [20]. Согласно этому подходу создают графические модели и связывают их с моделями базы данных [21]. При управлении транспортными объектами обязательным условием является использование методов дистанционного зондирования [22]. Геоинформационное моделирование включает понятие геотехнической системы и рассматривает транспортные объекты и транспортные сети как геотехнические системы [23]. Ситуационное моделирование может быть рассмотрено как частный случай геоинформационного моделирования [12]. Оно включает построение информационных моделей ситуации и позиции. Оценку на этой основе состояния объекта, динамики объекта и динамики среды. Именно такой комплекс оценок позволяет осуществлять многофункциональное управление.

**Геоинформационный мониторинг транспортных объектов.** Управление транспортным объектом предполагает его непрерывное изучение, то есть геоинформационный мониторинг транспортных объектов и среды, в которой они находятся. Это определяет динамическую модель такого объекта в системе управления. Геоинформационный мониторинг опирается на геоинформационный подход [20, 21]. Это означает группировку геоданных по категориям «место» «время» «тема» и интеграция их в единую информационную основу [14]. Геоинформационный мониторинг опирается на интеграцию технологий и функций. Интегрирующей функцией обладают цифровые модели и цифровые карты [6], что создает возможность объединять разнородные информационные ресурсы.

Геоинформационный мониторинг включает наблюдение за объектом, наблюдение его взаимодействия с окружающей средой, оценку и прогноз взаимодействия объекта и среды, подготовка информации по выработке управляющих решений. Главная цель мониторинга - управление транспортным объектом.

Визуальное моделирование является ключевым в представлении, интерпретации и обработке данных геоинформационного мониторинга. Снижение информационной

нагрузки на пользователя достигается использованием визуальных средств представления и анализа геоинформации. К ключевым факторам геоинформационного мониторинга относят: геоданные, ассоциативную связь, базы геоданных, глобальные навигационные спутниковые системы [22], коррелятивный анализ, информационное моделирование [8, 10], динамические модели данных [4].

Геоинформационный мониторинг направлен на выявление и использование связей и отношений, среди которых ведущую роль играют пространственные. В геоинформационном мониторинге функция наблюдения включает сбор информации и ее унификацию. Все подсистемы мониторинга используют различные наборы моделей, что упрощает работу специалиста в предметной области и исключает разработку программного обеспечения для оценок и решений. В результате выработки управляющего решения оказывается воздействие на объект управления.

**Цифровое моделирование в геоинформационных технологиях управления транспортом.** В геоинформатике при цифровом моделировании выделяют два типа цифровых моделей: статические и динамические [16]. На практике чаще применяют статические модели. Примерами таких моделей являются модели неподвижных объектов, например: цифровая модель автодорожной или железнодорожной трассы, цифровая модель инженерного сооружения, цифровая модель подвижного объекта и пр. Такие цифровые модели описывают неподвижные объекты. Для них не является существенным фактор времени и динамика состояния. С позиций управления эти модели описывают объекты транспортной инфраструктуры. Они отражают среду, в которой перемещаются объекты.

Второй тип цифровых моделей – это модели, для которых временной фактор необходимо учитывать. Это динамические цифровые модели, например: модели для контроля за деформациями и осадками инженерных и жилых сооружений; модели для мониторинга оползневых процессов [7]; модели перемещения транспортных объектов; модели динамических процессов (наводнения, пожары, землетрясения) и пр. Такие модели называют динамическими, поскольку фактор времени является изменяющейся переменной и изменение ситуации существенно влияет на состояние объекта.

Основная функция динамических цифровых моделей – *отражать тенденцию изменения состояния* с течением времени или описывать динамический процесс, характеризующий состояние объект (исследований или изысканий) на определенный временной интервал. Статическая и динамическая цифровые модели дополняют друг друга. Если состояние объекта неизменно, то необходимость в динамической цифровой модели отпадает.

Геоинформационные технологии позволяют собирать информацию для формирования этих моделей и управлять этими моделями с использованием геоданных [6]. Следует подчеркнуть, что только геоинформационные технологии решают эту задачу, так как они включают фактор позиционирования объекта в реальном пространстве. Поэтому управление подвижными объектами в реальном пространстве возможно только с помощью геоинформационных технологий.

**Поддержка принятия решений с помощью ГИТ.** Существующий опыт в сфере управления говорит о том, формирование принимаемых решений по конкретным классам объектов управления должно начинаться с определения ограничений и допущений, обусловленных требованиями к управлению данным объектом [25]. Следующим шагом является анализ ресурсов управления, необходимых для достижения цели управления. управления и, как следствие, – осознание нового уровня понятия наблюдаемости систем, явлений, процессов или объектов, являющихся предметом управления

Геоинформационные системы обладают всеми свойствами АСУ [1, 2] и могут быть использованы как управленческий ресурс, как системы управления транспортными объектами и как системы многоцелевого управления [5]. Это распространяется и на управление транспортом, но с некоторыми особенностями. Воспользуемся двумя гипотезами работы [25], которые, на наш взгляд, важны для управления транспортными объектами.

«Первая гипотеза состоит в том, что *все, что необходимо знать для управления, может быть выражено в виде совокупности текстов на обычном естественном языке.*

Вторая гипотеза состоит в том, что *система управления исследуемого типа принципиально не может быть замкнутой*. Эта система принципиально открыта и процесс ее обучения управлению никогда не завершается созданием окончательной формализованной модели...”.

В переводе на язык информационного моделирования первая гипотеза трактуется как необходимость формирования дескриптивной модели для описания объекта и ситуации, в которой он находится. Вторая гипотеза требует учета изменения, неопределенности или противодействия внешней среды. В зависимости от состояния внешней среды и информированности ЛПР принятие решений классифицируется на три категории: в условиях стохастической неопределенности и риска; в условиях динамической изменчивости среды; при противодействии среды или конкурентов.

Поведение систем в условиях противодействия сложнее прогнозировать, в условиях неопределенности, то есть в стохастических системах. В стохастических системах неопределенность имеет случайный характер и представляет собой шум, статистические характеристики которого можно оценить.

Принципы принятия решений в ГИС [2] основаны на многомерном анализе информации, сочетании эвристических, аналитических и визуальных методов. Создание интегрированных систем для поддержки принятия решений при управлении является актуальной проблемой. Такие интегрированные системы включают базы и банки данных, банки моделей, систему информационной поддержки и позволяют проводить экспертные и аналитические оценки при принятии решений

Современные системы управления транспортом включают специализированные подсистемы. Таких подсистем четыре: подсистема реализации цели, управляющая подсистема, обеспечивающая подсистема и обслуживающая подсистема. При создании обеспечивающей подсистемы необходимо решить проблемы: обеспечение единства времени, обеспечение единства координат, обеспечение функционирования системы управления в реальном времени, реализацию координатной среды измерений. Все эти факторы играют существенную роль при управлении транспортными объектами с применением ГИТ.

За рубежом системы управления транспортом TMS создаются на основе специального программного обеспечения, предназначенного для управления транспортными операциями. С этих позиций ГИТ также можно рассматривать как такое программное обеспечение, но имеющее ряд дополнительных возможностей по представлению транспортных сетей в виде топологических моделей, а реальные трассы и маршруты в виде картографических моделей.

**Выводы.** Геоинформационные технологии управления транспортными объектами позволяют по новому решать известные задачи, связанные с управлением транспортными объектами. К таким задачам относятся, например: геоинформационный мониторинг подвижных объектов, поддержка принятия решений с использованием геоданных; оперативный анализ пространственной информации и др. Геоинформационные технологии управления транспортными объектами позволяют решать новые задачи, связанные с управлением транспортными объектами. К ним относятся: построение и применение динамических цифровых моделей; геоинформационное ситуационное моделирование; создание подсистем поддержки и обеспечения транспортных систем; создание координатной среды для управления; создание логистических карт и пр.

#### **Примечания:**

1. Кужелев П.Д., Цветков В.Я. Применение ГИС на железнодорожном транспорте // Успехи современного естествознания. 2009. №4. С. 43–44.
2. Маркелов В.М. ГИС как системы управления транспортом // Известия высших учебных заведений // Геодезия и аэрофотосъемка. 2013. №2. С. 85–87.
3. Цветков В.Я., Кужелев П.Д. Геоинформационные системы и технологии как новый метод изучения транспортных сетей // Геодезия и аэрофотосъемка, 2002. №5. С. 155-161.
4. V. Ya. Tsvetkov. Information Management of Mobile Object // European Journal of Economic Studies, 2012, Vol.(1), №1. P. 40-44.



5. Tsvetkov V.Ya. Multipurpose Management// European Journal of Economic Studies. 2012, Vol.(2), № 2. P. 140-143.
6. Майоров А.А. Состояние и развитие геоинформатики // Международный научно-технический и производственный журнал «Науки о Земле». 2012. Выпуск 3. С. 11-16.
7. Майоров А.А. О связи информатики и геоинформатики // Науки о Земле 2013. № 1. С. 4-13.
8. Прикладная информатика Поляков А.А., Цветков В.Я.: Учебно-методическое пособие для студентов, обучающихся по специальности «прикладная информатика» (по областям) и другим междисциплинарным специальностям: В 2-х частях: / Поляков А.А., Цветков В.Я.; Под общ. ред. А.Н. Тихонова. М.: МАКС Пресс. 2008.
9. Цветков В.Я. Информатизация, инновационные процессы и геоинформационные технологии // Геодезия и аэрофотосъемка. 2006. №4. С. 112-118.
10. Иванников А.Д., Тихонов А.Н., Цветков В.Я. Основы теории информации. М., 2007.
11. Цветков В.Я. Геоинформационное моделирование // Информационные технологии, 1999, №3. С. 23-27.
12. Маркелов В.М. Геоинформационное ситуационное моделирование // Международный научно-технический и производственный журнал «НАУКИ О ЗЕМЛЕ». - №4-2012. С. 72-76.
13. Цветков В.Я. Геостатистика // Геодезия и аэрофотосъемка. 2007. №3. С. 174-184.
14. Цветков В.Я. Геоинформационный мониторинг // Геодезия и аэрофотосъемка, 2005. №5. С. 151-155.
15. Цветков В.Я., Маркелов В.М. Интеллектуализация логистики с применением геоинформатики // Международный журнал экспериментального образования. 2012. №6. С. 111-112.
16. Цветков В. Я., Маркелов В.М. Применение цифровых моделей в логистике // Геодезия и картография. 2013. №7. С. 59-62.
17. V. Ya. Tsvetkov. Information Situation and Information Position as a Management Tool // European Researcher, 2012, Vol.(36), № 12-1, p.2166- 2170
18. Tsvetkov V.Ya. Information objects and information Units // European Journal of Natural History. 2009. № 2. P. 99.
19. Viktor Ya. Tsvetkov. Semantic Information Units as L. Florodi's Ideas Development // European Researcher, 2012, Vol.(25), № 7, p. 1036-1041.
20. Rozenberg I.N., Tsvetkov V.Ya. The Geoinformation approach // European Journal of Natural History. 2009. № 5. P. 102-103.
21. Майоров А.А., Цветков В.Я., Маркелов В.М. Геоинформационный подход в логистике // Геодезия и аэрофотосъемка, 2012. №6. С. 93-97.
22. Савиных В.П. Использование методов дистанционного зондирования для управления транспортом // Международный научно-технический и производственный журнал «НАУКИ О ЗЕМЛЕ». 2012. № 2. С. 58-61.
23. Цветков В.Я., Кужелев П.Д. Железная дорога как геотехническая система //Успехи современного естествознания. 2009. №4. С. 52.
24. Тихонов А.Н., Цветков В.Я. Методы и системы поддержки принятия решений. М.: МаксПресс. 2001. 312 с.
25. В.М. Лачинов, А.О. Поляков А.О. Инфодинамика или путь к Открытому миру. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1999. 432 с.

УДК 528; 004.8

### **Геоинформационные технологии управления транспортными объектами**

Павел Дмитриевич Кужелев

Московский государственный университет геодезии и картографии  
Кандидат технических наук, доцент  
E-mail: miigaiknir@yandex.ru

**Аннотация.** В статье дается аналитический обзор применения геоинформационных технологий для управления транспортными объектами. Раскрыты принципы такого управления. Раскрыто содержание принципов управления с использованием геоинформационных технологий.

**Ключевые слова:** геоинформатика; управление; геоинформационные технологии; транспортные системы; подвижные объекты.

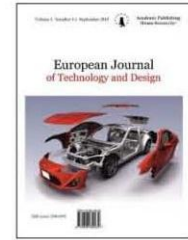
ISSN: 2310-0133

Founder: Academic Publishing House *Researcher*

DOI: 10.13187/issn.2310-0133

Has been issued since 2013.

**European Journal of Technology and Design**



UDC 626.01

## **Artificial Islands on Russia's Black Sea Coast – the Infrastructure, Scientific Rationale, and Legal Aspects**

<sup>1</sup> Konstantin N. Makarov

<sup>2</sup> Nikolay K. Makarov

<sup>1</sup> Sochi State University, Russian Federation  
26 a, Sovetskaya St., Sochi, 354000  
Dr. (Hydraulic engineering), Professor  
E-mail: ktk99@mail.ru

<sup>2</sup> Sochi State University, Russian Federation  
26 a, Sovetskaya St., Sochi, 354000  
Graduate student  
E-mail: n.makarov@engpro.ru

**Abstract.** Currently, there is emerging in Russia a new promising strand in the reclamation of coastal recreational resources (the Black Sea coast of the Caucasus, the coast of the Baltic Sea, large reservoirs, etc.) – creation of artificial territories right in the sea at a certain distance from the shore, in the form of artificial insular complexes (AIC). This said, a number of sketch designs are utterly utopian in nature and cannot be implemented in certain conditions, as is the case with the Black Sea coast of Russia, for instance. At the same time, there is already some hands-on experience in the way of designing AIC's for this coast. The article is dedicated to discussing issues and prospects related to the scientific rationale for and design of artificial islands, as well as their legal status.

**Keywords:** artificial insular complexes; wave conditions; protective structures; recreational infrastructure; artificial insular beaches; mathematical and physical modeling; legal status of islands.

### **Введение.**

Искусственные островные комплексы (ИОК) в море являются сложными и исключительно капиталоемкими объектами. Поэтому задача правильного учета всех природных и антропогенных факторов при их проектировании является первостепенной. Такие острова могут быть как пляжными комплексами с созданием на них всей пляжной инфраструктуры, так и служить основанием для строительства гостиниц, коттеджей, пансионатов, водноспортивных комплексов, в том числе яхтных гаваней (марин). Могут быть ИОК технологического или транспортного назначения, например, островные порты. Имеется опыт строительства на Черноморском побережье островного порта для вспомогательного флота Каспийского трубопроводного консорциума в пос. Южная Озереевка к западу от Новороссийска (рис. 1), а также островной гавани в районе г. Геленджика (рис. 2). Оба проекта разработаны при участии одного из авторов [1].



*Рис. 1.* Островной порт для вспомогательного флота Каспийского трубопроводного консорциума в пос. Южная Озеревка к западу от Новороссийска



*Рис. 2.* Островная гавань в г. Геленджике

При определенных условиях, острова могут способствовать образованию дополнительных территорий на берегу за счет создания зоны волновой тени и аккумуляции наносов в этой зоне.

С другой стороны, прерывание вдольберегового потока наносов искусственными островами может приводить к негативным последствиям в виде низовых размывов берега и пляжа на смежных участках берегов. Кроме того, неизбежно образование застойных зон между островом и берегом, что негативно скажется на рекреационной привлекательности береговых пляжей, расположенных в волновой тени ИОК [2].

### **1. Состав искусственных островных комплексов.**

В общем случае искусственный островной комплекс состоит из объектов основной инженерной инфраструктуры (пляжей, зданий, гаваней и т.п.), размещаемых на создаваемой искусственной территории, составляющей основу острова, оградительных сооружений, защищающих искусственную территорию от волнового воздействия, и транспортных сооружений (мост, тоннель, канатная дорога и т.п.) для связи острова с берегом. Собственно искусственная территория, пляжи, оградительные и транспортные сооружения по своей сути являются гидротехническими. Кроме того, гидротехническими являются сооружения в яхтных гаванях, совмещаемых с островом (молы, причалы, слипы и т.п.).

При проектировании этих сооружений возникают следующие основные задачи:

1. Определение способа устройства искусственной территории (тела) острова. Это могут быть намыв материала (как правило, песчаного) со дна водоема – намывной остров, отсыпка привозного материала – насыпной остров, территория на основании из свай или оболочек большого диаметра.

2. Определение конструкции оградительного сооружения острова. Это может быть:

- сооружение из кладки монолитных бетонных блоков;
- волнолом из массивов – гигантов, то есть пустотелых бетонных коробов, доставляемых в проектное положение на плаву, и затем засыпаемых камнем;
- сооружение из оболочек большого диаметра (10–20 м), устанавливаемых в проектное положение плавучим краном и засыпаемых инертным материалом;
- набросная откосная конструкция из камня или фигурных блоков (тетраподов, гексабитов и т.п.);
- волнолом на свайном основании.

Возможны варианты комбинаций указанных конструкций. С морской стороны сооружения для понижения расчетной отметки его гребня и повышения устойчивости, как правило, устраивается волногаситель, конструкция которого также может быть различной – наброски фигурных блоков, камерные или откосно-ступенчатые сквозные волногасители [3] и т.п.

Конструкции оградительного сооружения, а также волновой режим на акватории ИОК подлежат оценке и оптимизации методами физического и математического моделирования.

3. Определение типа и конструкции сооружений, связывающих остров с берегом:

- арочный, балочный или висячий мост;
- транспортный тоннель;
- канатная дорога.

Разумеется, возможны сочетания этих типов транспортных сооружений.

4. Оценка методами моделирования динамики островного пляжа и пляжа на берегу, расположенного в зоне волновой тени ИОК.

5. Определение состава комплексной оценки воздействия ИОК на окружающую среду (ОВОС), причем как при строительстве, так и при эксплуатации. В состав ОВОС наряду с другими, в обязательном порядке должны быть включены следующие разделы:

- оценка качества воды, водообмена и способности к самоочищению акваторий внутри острова и между островом и берегом;
- общая оценка влияния острова на гидролитодинамический режим прилегающих участков побережья и морской акватории;
- мониторинг состояния окружающей среды при эксплуатации ИОК.

Таким образом, проектирование сооружений островного комплекса представляет собой весьма сложную научную и техническую задачу.

### **2. Некоторые аспекты научного обоснования сооружений ИОК.**

Одной из основных задач при проектировании ИОК является оптимизация конфигурации и конструкции оградительных сооружений, обеспечивающих устойчивость тела острова против волновых воздействий, а также приемлемый волновой режим на его внутренней акватории.

Моделирование взаимодействия волн с оградительными сооружениями может быть выполнено по нормативной методике [3, 4, 5]. При этом определяются высотные отметки

сооружений, волновые нагрузки на них, а также минимальная масса фигурных блоков во внешнем волногасителе сооружения.

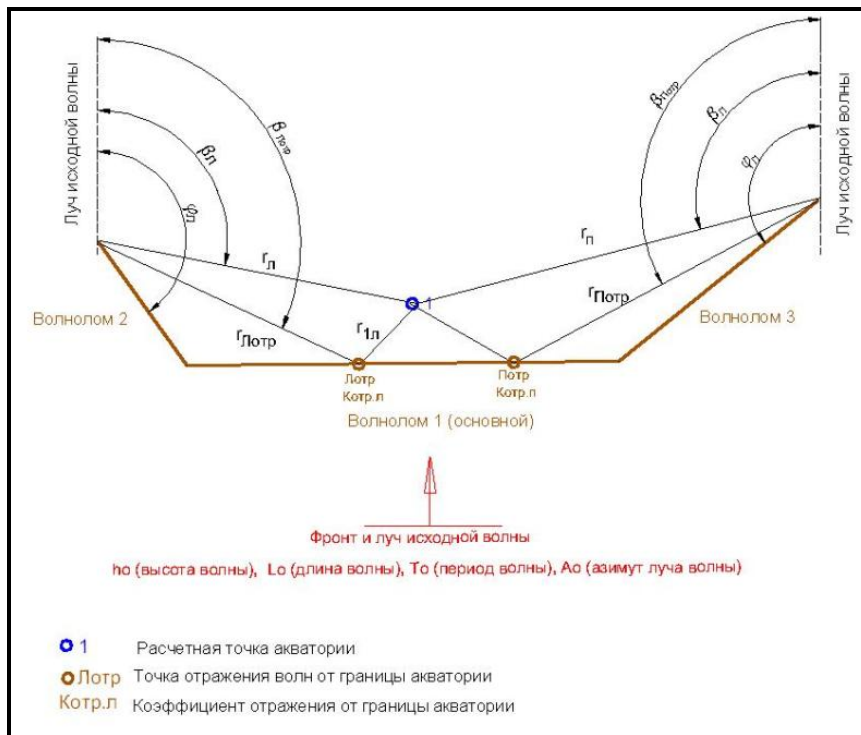
Для оценки волнового режима на акватории ИОК нормативная методика не может быть применена непосредственно, так как оградительные сооружения ИОК обычно представляют собой сложные сочетания волноломов различной длины и конфигурации.

Поэтому авторами работы [7] была предложена методика расчета дифракции волн на оградительных сооружениях сложной конфигурации. При этом рассматриваются сооружения из волноломов, не сходящихся внутрь акватории острова (рис. 3а) и волноломов, сходящихся внутрь акватории (рис. 3б).

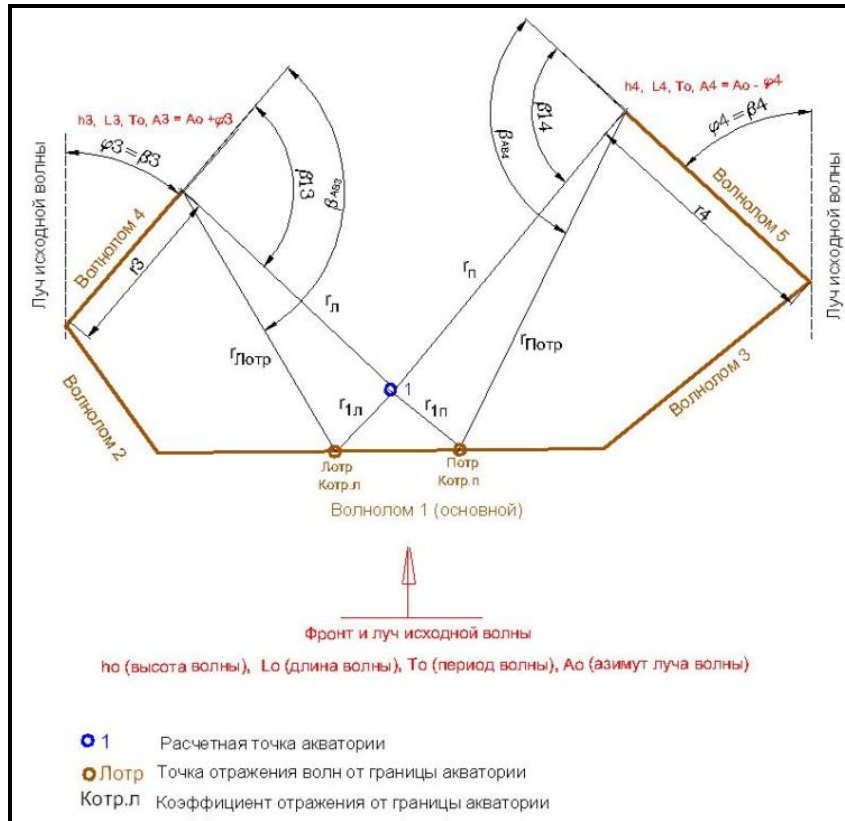
Предложенная методика реализована в виде компьютерной программы, позволяющей оптимизировать конфигурацию оградительных сооружений ИОК. На рис. 4а приведен пример расчета волнового режима на акватории островного комплекса, когда волноломы не сходятся внутрь гавани, а на рис. 4б – когда сходятся.

Из рис. 4 видно, что сложная конфигурация оградительных сооружений ИОК позволяет добиться весьма значительного уменьшения волн на акватории ИОК по сравнению с открытым морем.

Методика моделирования динамики берегового пляжа, расположенного в волновой тени ИОК разработана в [2], а модель динамики пляжа на акватории ИОК – в работах [8, 9]. Водообмен акватории ИОК с открытым морем рассчитывается по методике и соответствующей программе, предложенной в [10].



а)

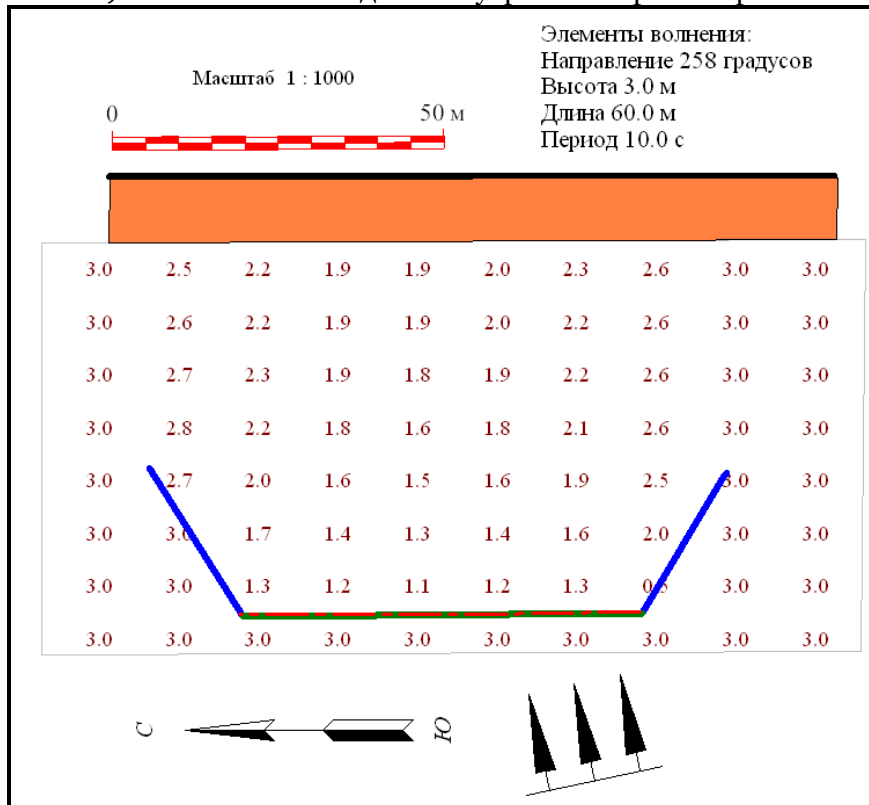


б)

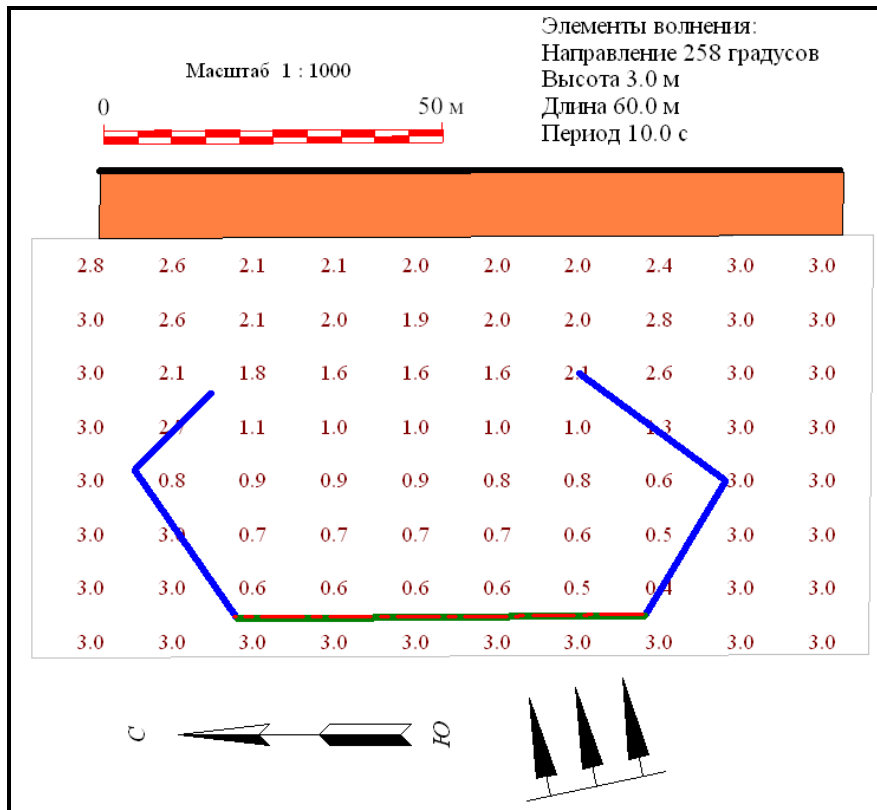
Рис. 3. Схема конфигурации оградительных сооружений островного комплекса.

а) - волноломы не сходятся внутрь акватории острова

б) – волноломы сходятся внутрь акватории острова



а)



б)

Рис. 4. Остаточные волны на акваториях ИОК при волноломах, не сходящихся а) и сходящихся внутрь гавани б)

### 3. Проекты островных комплексов на Черноморском побережье России.

В настоящее время разработаны в основном макеты или предварительные эскизы островных комплексов для Черноморского побережья России, например островная марина «Хомар», «Остров Федерация» – рис. 5, 6.





Рис. 5. Макет островной марины «Хомар» в Хостинской бухте г. Сочи

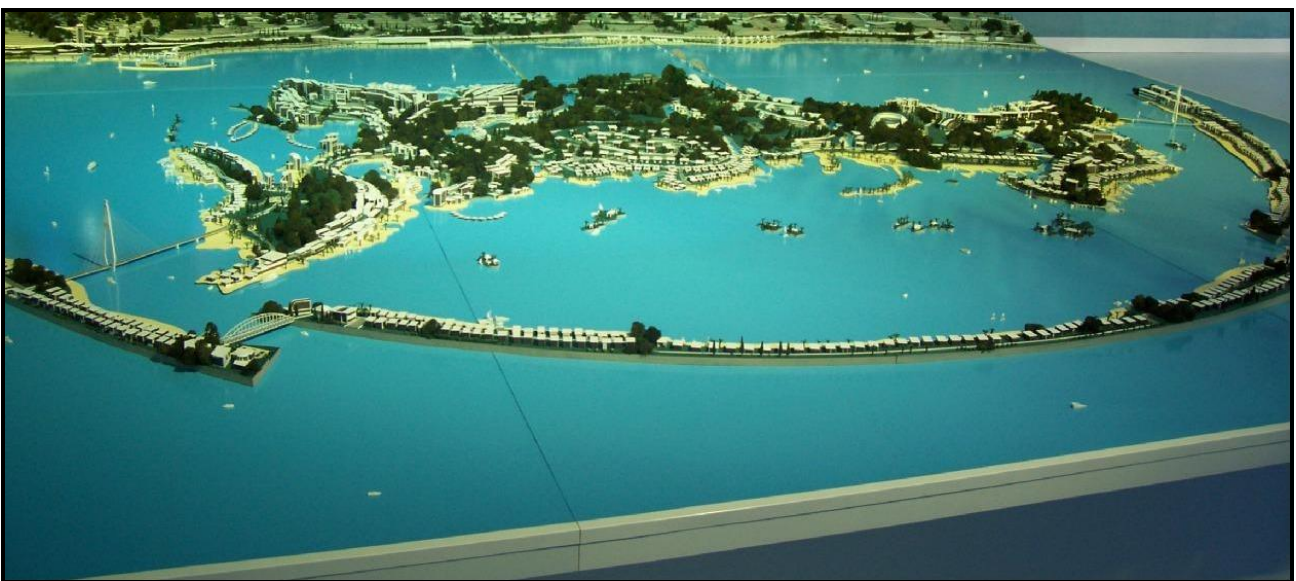


Рис. 6. Макет «Острова Федерация» в Хостинском районе г. Сочи

Необходимо, на наш взгляд, предостеречь разработчиков эскизных макетов и «околопроектных» проработок от прямых аналогий с иностранными проектами. Например, часто ссылаются на так называемые «пальмовые» острова в Арабских эмиратах или на искусственный остров с аэропортом в г. Осака в Японии.

Однако эти острова расположены первые – в Персидском заливе, второй – в заливе Осака. В этих заливах волновые условия не соизмеримы с условиями открытого Черноморского побережья. Так расчетная высота волны при проектировании указанных островов составляла 3.0–3.5 м, а в Черном море – порядка 10–12 м. Поскольку энергия волн зависит от их высоты в квадрате [6], сила волнового воздействия на сооружения островов в

Черном море будет примерно в 10 раз больше, чем на острова в заливах. Этим воздействиям должны будут противостоять оградительные сооружения, устойчивость и надежность которых определит возможность существования самих островов.

В настоящее время наиболее готовым к реализации, на наш взгляд, является проект островного комплекса «Остров Югра», разработанный ОАО «Ленморниипроект». Строительство острова предполагается на участке Черноморского побережья к западу от г. Туапсе - рис. 7.



Рис. 7. Модель «Острова Югра»

При разработке этого проекта был выполнен обширный комплекс специальных научных исследований, включающий, в частности:

- гидравлическое моделирование различных вариантов конструкции оградительного сооружения острова в волновом лотке и в бассейне (рис. 8) НИЦ «Морские берега» (г. Сочи), по результатам которого был принят вариант, показанный на рис. 9;
- математическое моделирование взаимодействия волн с оградительным сооружением острова;
- моделирование динамики берегового пляжа, расположенного в волновой тени острова;
- моделирование волновых колебаний в яхтной гавани острова.



Рис. 8. Модель «Острова Югра» в волновом бассейне НИЦ «Морские берега»

Были выполнены и другие расчеты для обоснования оптимальной конструкции и конфигурации проектируемых сооружений. В итоге был разработан рабочий проект «Острова Югра», к реализации которого заказчик намерен приступить в ближайшее время.

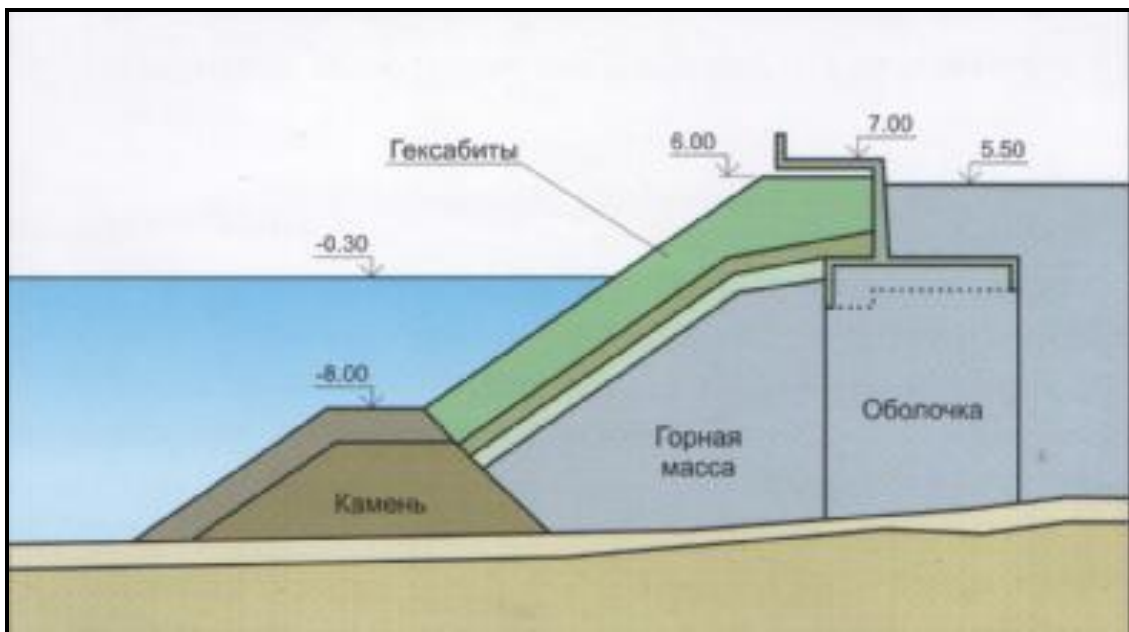


Рис. 9. Конструкция оградительного сооружения «Острова Югра»

Таким образом, в настоящее время имеется некоторый опыт научного обоснования проектов островных сооружений на Черноморском побережье России. Однако, поскольку любой такой проект уникален, в каждом конкретном случае необходимо выполнять его детальное научное обоснование на основе комплексного сочетания методов гидравлического и математического моделирования.

#### **4. Правовые аспекты строительства и эксплуатации ИОК.**

В заключение представляется полезным остановиться на некоторых правовых аспектах строительства искусственных островов, строящихся не государством, а частными инвесторами.

Устройство искусственных островов в России регламентируется специальным Постановлением Правительства Российской Федерации [11].

Постановление опирается на Федеральные законы «О внутренних водах, территориальном море и прилегающей зоне Российской Федерации» и «О континентальном шельфе Российской Федерации».

На таких островах возможно сооружение оградительных молов, волноломов, защитных дамб, площадок предприятий морских портов, судоремонтных заводов, причалов, судоподъемных слипов, сооружений для добычи полезных ископаемых, военных объектов. Допускается использование искусственных островов и для рекреационных целей.

Но российским законодательством не предусмотрена возможность создания искусственных территорий с целью размещения на них объектов капитального строительства – жилых домов, гостиниц, объектов инфраструктуры.

Предполагается, например, что «Остров Федерация» будет собственностью России, поскольку находится в ее прибрежных водах, а построенные на острове объекты – собственностью тех, кто их построил. И говорится это так, как будто все уже решено и проблем не предвидится. А это далеко не так.

Действующим российским законодательством не определен правовой статус искусственных островов, возведенных на средства инвесторов.

До недавнего времени все эти территории создавались самим государством, и вопрос их собственности не вызывал сомнения. Другое дело сейчас, когда искусственные территории создаются инвесторами.

Являются ли искусственные острова объектами недвижимости, коль достаточно прочно связаны с земельными участками под этими островами? По нашему законодательству, вроде бы, да. Но, с другой стороны, строительство прямо связывается с земельными участками и не предусматривает возможности размещения зданий и сооружений (то есть объектов недвижимости) на других объектах недвижимости.

Поэтому для реализации проектов по образованию искусственных территорий в России необходимо внесение комплекса изменений в Водный кодекс РФ; Земельный кодекс РФ; Градостроительный кодекс РФ; Федеральный закон «Об экологической экспертизе»; Федеральный закон «О переводе земель и земельных участков из одной категории в другую»; Федеральный закон «О внутренних морских водах, территориальном море и прилегающей зоне РФ» и Федеральный закон «О континентальном шельфе РФ».

В первую очередь надо четко определить, что искусственно образованные инвесторами участки суши на водных объектах являются земельными участками. Это позволит заключить инвестиционные соглашения между инвестором и собственником водного объекта.

Указанное соглашение должно включать в себя обязанность собственника водного объекта предоставить искусственно созданный земельный участок инвестору в аренду для строительства на срок, указанный в инвестиционном соглашении, с зачетом вложенных в создание искусственного земельного участка инвестиций без проведения торгов и предварительного согласования мест размещения объектов. В нем также необходимо установить целевое назначение искусственного земельного участка и порядок распределения права собственности на созданные участки в случае участия в проекте по их созданию нескольких инвесторов.

В процессе образования искусственного земельного участка необходимо в полной мере не только учитывать все требования природоохранного законодательства, но и четко предусмотреть дополнительные «экологические» обязанности сторон.

Кроме того, после создания искусственного земельного участка необходимо включить его в границы муниципального образования, на территории которого создан искусственный земельный участок либо от которого искусственный земельный участок отделяет наикратчайшее расстояние. Поэтому после получения инвестором разрешения на ввод в эксплуатацию искусственного земельного участка необходимо перевести его из категории

земель водного фонда в земли населенных пунктов, установив при этом, факт создания участка как безусловное основание для такого перевода.

А также необходимо учесть, что искусственные земельные участки не обладают статусом островов и потому не имеют своего территориального моря и континентального шельфа.

**Выводы.** Таким образом, частные заказчики строительства искусственных островов должны хорошо понимать, что, в существующем правовом поле, построив свои искусственные острова, они могут столкнуться с рядом проблем, в частности, при получении разрешений для строительства на них гостиниц, жилых домов и другой инфраструктуры.

#### **Примечания:**

1. Макаров К.Н., Королев К.И. Конфигурация оградительных сооружений островных портов на Черноморском побережье Кавказа. Строительство в прибрежных курортных регионах. Материалы 5-й международной научно-практической конференции. Сочи, 2008, С. 113-116.

2. Абакумов О.Л. Математическая модель динамики берегов в зоне влияния искусственных островных комплексов. XX Международная конференция, посвященная 90-летию со дня рождения профессора В.П.Зенковича «ЧЕЛОВЕЧЕСТВО И БЕРЕГОВАЯ ЗОНА МИРОВОГО ОКЕАНА В XXI ВЕКЕ». М.: ГЕОС, 2001. С. 206-211.

3. Макаров К.Н., Пудовинникова В.В., Оселедец С.С. Оградительные сооружения искусственных островных комплексов. Бетон и железобетон в третьем тысячелетии. Третья международная научно-практическая конференция. Ростов-на-Дону, 2004. С. 528–534.

4. СП 38.13330.2012. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). М., Минрегионразвития РФ, 2012.

5. Р 31.3.07-01. Указания по расчету нагрузок и воздействий от волн, судов и льда на морские гидротехнические сооружения. М., Минтрансстрой РФ, 2001.

6. Лаппо Д.Д., Стрекалов С.С., Завьялов В.К. Нагрузки и воздействия ветровых волн на гидротехнические сооружения. М., 1990.

7. Макаров К.Н., Королев К.И. Расчет дифракции волн на акваториях островных портов // Обозрение прикладной и промышленной математики, 2008, т. 15, Вып. 1, С. 77-78.

8. Макаров Н.К. Моделирование островного галечного пляжа. // Вестник МГСУ, 2013, № 11, с. 200-209.

9. Макаров Н.К. Прогноз динамики галечных пляжей на внутренних акваториях искусственных островных комплексов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века, № 10 (165), 2012. С. 26–28.

10. Макаров К.Н., Макарова И.Л. Расчет водообмена огражденной акватории с открытым морем. // Обозрение прикладной и промышленной математики, 2008, т. 15, Вып. 1. С. 78–79.

11. Порядок создания, эксплуатации и использования искусственных островов, сооружений и установок во внутренних морских водах и территориальном море Российской Федерации. Постановление Правительства РФ № 549 от 26.07.2010.

УДК 626.01

### **Искусственные острова на черноморском побережье России – инфраструктура, научное обоснование и правовые аспекты**

<sup>1</sup>Константин Николаевич Макаров

<sup>2</sup>Николай Константинович Макаров

<sup>1</sup> Сочинский государственный университет, Российская Федерация  
354000, Краснодарский край, г. Сочи, ул. Советская, 26 а  
Доктор технических наук, профессор

E-mail: ktk99@mail.ru

<sup>2</sup> Сочинский государственный университет, Российская Федерация

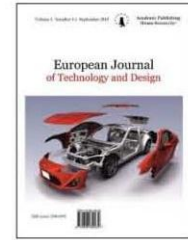
354000, Краснодарский край, г. Сочи, ул. Советская, 26 а  
аспирант  
E-mail: n.makarov@engpro.ru

**Аннотация.** В настоящее время в России зарождается новое перспективное направление освоения рекреационных ресурсов прибрежных зон (Черноморского побережья Кавказа, побережья Балтики, крупных водохранилищ и других) – создание искусственных территорий непосредственно в море на определенном удалении от берега в виде искусственных островных комплексов (ИОК). При этом ряд эскизных проектов носит откровенно утопический характер, заведомо не возможный для реализации в условиях, в частности, Черноморского побережья России. В то же время уже имеется некоторый опыт реального проектирования ИОК для этого побережья. Статья посвящена обсуждению проблем и перспектив научного обоснования и проектирования искусственных островов, а также их правового статуса.

**Ключевые слова:** искусственные островные комплексы; волновые условия; оградительные сооружения; рекреационная инфраструктура; искусственные островные пляжи; математическое и физическое моделирование; правовой статус островов.

**ISSN:** 2310-0133**Founder:** Academic Publishing House *Researcher***DOI:** 10.13187/issn.2310-0133

Has been issued since 2013.

**European Journal of Technology and Design**

UDC 621

## **Polymeric Numerical Model and Parametric Study on Heat transfer in Sandwich and Stringer Panel Systems**

<sup>1</sup>Janet Norgaard<sup>2</sup>Md Azree Othuman Mydin

<sup>1</sup>Architectural and Environmental Engineering Department, University of Texas 301E Dean Keeton St. STOP C1700 Austin, Texas 78712-1056 USA

PhD (Fire Engineering), Researcher

E-mail: j.norgaardzz@hotmail.com

<sup>2</sup> University Sains Malaysia, Malaysia

11800, Penang

PhD (Civil Engineering), Senior Lecturer

E-mail: azree@usm.my

### **Abstract**

Numerical analyses play an important role in today's research. Although they cannot always be a complete substitute for testing or other practical methods, they are important supplements to deepen our understanding of an existing material or to explore a subject in depth. A computer program has been developed at the University of Texas to calculate temperature distributions within a GRP structure when exposed to fire attack. This paper will discuss the behaviour of GRP at high temperatures and the theory behind the heat transfer program. This paper also reviews a number of different polymeric numerical heat transfer models by other researchers. Finally, a series of parametric studies will be presented to demonstrate the practical use of this computer program.

**Keywords:** heat transfer; sandwich panel; GRP; temperature; model.

### **1. Introduction to GRP Behaviour in Fire**

In order to model the heat transfer and thermal performance of a GRP laminate realistically, its basic behaviours under fire conditions must firstly be established. When exposed to fire, a GRP laminate will undergo both chemical and physical changes at different levels of heat flux. In the beginning, the heat flux from the fire source will be transferred through the laminate by transient heat conduction. The temperature will be less than 200-300°C and there is no chemical reaction. The temperature rise depends on the heat conduction rate into the material and the boundary conditions [1].

As the temperature rises to 200-300°C, pyrolysis occurs and creating gaseous products. The resin degrades to form a layer of char. This char layer will build up as the pyrolysis front moves further into the laminate. Due to its low thermal conductivity, the char forms a thermal barrier keeping the interior cool. Once the pyrolysis reaction is completed, the temperature of the laminate increases and heat transfer afterwards is by transient heat conduction, governed by the thermal properties of the remaining fibres [2].

When the surface temperature exceeds 1000°C, carbon-silica reactions occur in which the carbon residue from the pyrolysis reactions and the silica filler react chemically. Finally, as the temperature continues to rise, the residue char oxidises and erodes away, and the remaining glass fibres will eventually burn out.

Almost every mathematical model of combusting GRP laminate has been developed according to the above material decomposition behaviour. Most of the models deal with the decomposition process up to the completion of the pyrolysis reaction. The later stage of composite decomposition, e.g. carbon-silica reactions, is not of main interest as most of the material strength will be lost [3]. Many numerical models have been developed, each having its own assumptions and claiming to resemble the true decomposition scenario best.

#### *1.1 Decomposition*

Plastic materials are organic in nature and are inherently combustible, i.e. they will decompose or burn in a fire environment. At present, it is not possible to model this effect from basic chemical reactions. In the numerical models, decomposition is modelled using an Arrhenius equation (Eq. 2) to relate the mass loss to the heat of reaction.

#### *1.2 Formation of Char*

The formation of char in polymeric material is a complex process which depends on hydrodynamics together with physical and chemical interactions. Again, current models can only deal with the macroscopic behaviour without explaining the fundamental charring process. In the simple approach, a plastic composite is separated into rigid material and char, depending on the ratio of  $m/m_o$  where  $m$  is the remaining mass and  $m_o$  is the initial mass, obtained from a first order Arrhenius equation [4]. Some investigators have attempted to include different degrees of the charring process. This requires knowledge of the final density of the char in which the process might give rise to two problems in application. Firstly the precise definition of the final char status is difficult to establish. Also an additional expression for char pyrolysis will be required if it commences its final breakdown in the time zone of interest.

#### *1.3 Delamination*

Many experimental researchers experience loud 'bang' sounds when delaminations of composite laminates occur. This is particularly the case with phenolic resins. It is believed that delamination is caused by the increasing internal pressure due to vaporisation of the chemically bonded water in the resin when the temperature rises to over 100°C. The water vapour is initially trapped within the composite matrix owing to its low permeability and attains very high internal pressures upon heating the laminate. At about 200°C, a sudden release of high pressure can tear the laminate. Due to delamination, the mechanism of heat transfer from the hot (exposed) side to the cold (unexposed) side is altered. Before the incident, heat transmission is only by conduction. However, after delamination heat transmission depends on radiation and convection in the gaps. The simple approach is to adopt a single value of temperature of delamination [5].

#### *1.4 Moisture Content*

The heat transfer rate in a hygroscopic material is influenced significantly by moisture evaporation [6]. In the context of the present research, this effect can be significant with certain facing materials, such as the gypsum board. Moisture content is in the form of chemically or physically trapped water. The mechanism of the combined heat and moisture transfer is a function of temperature, moisture distributions, chemical reactions, multiphase mass transfer, permeability and non-linear material properties. During the heating of a hygroscopic material, a process of dissociation (dehydration), vaporization and migration of moisture take place. Energy is needed to evaporate the moisture, to break the chemical bond of water and to absorb free water from the material. The simple approach is to convert these energies into additional specific heat of the material.

## **2. Theory and Formulations of a Numerical Heat Transfer Model for Polymeric Materials**

### **2.1 The Mathematical Model**

The section will discuss the GRP-specific features of a mathematical model and the formulations used in a two-dimensional finite element based numerical heat transfer model [7]. The model is mathematically simple, yet it can capture the main features of the pyrolysis process and the consequent heat transfer behaviour. The following idealisations have been adopted:

- The GRP material is assumed to be homogenous and the transport of heat and mass is perpendicular to the face of a panel so that the problem is assumed to be one-dimensional.



- There is a thermal equilibrium between the decomposition gases and the solid material but there is no accumulation of these volatile gases in the solid material.
- The feedback of the heat released by the flames of the combustible volatiles back to the panel in a small scale post-flashover fire furnace test is neglected owing to its relatively small contribution compared with the enormous heat flux created by the furnace.

Following the principles of the conservation of mass and energy, the one-dimensional energy equation in a panel undergoing thermal decomposition, pyrolysed convection, and energy sink due to pyrolysis, is [8]:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) = \frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial T}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial x} (m_g h_g) - Q \frac{\partial \rho}{\partial t} \quad 1$$

where  $\rho$  is the density (kg/m<sup>3</sup>)  
 $h$  is the enthalpy (J/kg)  
 $t$  is the time in seconds  
 $T$  is the temperature (K)  
 $k$  is the thermal conductivity (W/mK)  
 $x$  is the spatial variable (m)  
 $h_g$  is the enthalpy of gas (J/kg)  
 $m_g$  is the mass flux of gas (kg/m<sup>2</sup>s)  
 $Q$  is the heat of decomposition (J/kg)

The rate of decomposition of the resin is assumed to conform to a mean reaction which is described by a single first-order Arrhenius function:

$$\frac{d\rho_r}{dt} = -A\rho_r \exp\left(\frac{-E_A}{RT}\right) \quad 2$$

where  $\rho_r$  is the instantaneous density of the partially pyrolysed resin  
 $E_A$  is the activation energy (J/mol)  
 $R$  is the gas constant (8.314 J/K.mol)  
 $T$  is the temperature (K)  
 $A$  is the pre-exponential factor (s<sup>-1</sup>)

Resin pyrolysis is assumed to be one way until it is totally consumed. If the accumulation of gasses is ignored, the conservation of mass may be written as:

$$\frac{\partial m_g}{\partial x} = -\frac{\partial \rho}{\partial t} \quad 3$$

where the mass flux,  $m_g$ , at any spatial location and time can be calculated by integration of Equation 3.

Equation 1 can be modified by expanding the first three terms, and substituting in the specific heat and the continuity equations. After rearranging, Eq. 3.1 becomes:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - m_g C_{pg} \frac{\partial T}{\partial x} - \frac{\partial \rho}{\partial t} (Q + h - h_g) \quad 4$$

where  $C_p$  is the specific heat of the material at constant pressure (J/kg°C)  
 $C_{pg}$  is the specific heat of gas at constant pressure (J/kg°C)

## 2.2 Thermal and Transport Properties

The thermal response of a polymeric material is significantly sensitive to the stage of decomposition, i.e. the rate of density change. This is expected since the rate of energy consumption and the thermal and transport properties of the material are all functions of the rate of pyrolysis. The values of the pyrolysis reaction in Eq. 2 for kinetic parameters  $A$  and  $E_A$  will determine the intensity and duration of decomposition corresponding to a given intensity of heat flux. Since the in-situ measurement of  $A$  and  $E_A$  under the required thermal condition is difficult, the current practice is to estimate them by choosing reasonable values which give good agreement between theory and experiment. In Wang's model, for accurate modelling without making the model too complicated, two sets of values are assumed, for the hot (exposed) and the cold (unexposed) sections of the panel.

The variation of thermal conductivity also complicates the heat transfer pattern because it will change with both the temperature and the stage of decomposition. A simple expression for thermal conductivity is to assume a linear function of temperature, giving

$$k = k_o + \alpha T \tag{5}$$

where  $k_o$  is the thermal conductivity at ambient temperature. At the beginning of the heating process,  $\alpha$  is negative, indicating a reduction in thermal conductivity due to the low conductivity of the char. As heating continues, the char will be oxidised and erode away, leaving the fibreglass alone. During this phase,  $\alpha$  will be positive, giving an increase in thermal conductivity close to that of the crumbling glass mat. The specific heat of GRP is also assumed to be a linear function of temperature. Table 1 gives the thermal and transport properties of numerous materials [9].

### 2.3 Moisture Effect

In the heat transfer model, moisture evaporation is assumed to take place during a temperature interval of 85°C to 135°C and the latent heat energy of evaporation is added into the heat capacity of the material. The latent heat of evaporation is taken as  $2.25 \times 10^6$  J/kg so that the additional specific heat is obtained from

$$DC_p = \frac{2.25 \times 10^6 e}{\Delta T} \text{ (J/kg}^\circ\text{C)} \tag{6}$$

where  $DC_p$  is the additional specific heat

$e$  is the moisture content expressed as the percentage in weight

$\Delta T$  is the magnitude of the given temperature interval

In the case of gypsum boards, increasing the above value by a factor of 1.8 to include the effects of moisture movement and recondensation. The rate of temperature increase will be slowly reduced, but not halted, during this temperature interval. The advantage of this approach is that a gradual increase of temperature during vaporisation can be simulated.

**Table 1** Thermal and transport properties of composite materials

Product	Thermal Conductivity Eq. 3.6 (W/m°C)	Specific Heat $C_p = C_o + C_1 T$ (J/kg°C)	Kinetic Parameters Eq. 3.2 $A(s^{-1}), E_A(J/mol)$	Heat of Decomposition (J/kg)
GR Polyester panel	$k_o = 0.26$ $\alpha_1 = -0.0001356$ $\alpha_2 = 0.002$	$C_o = 1200$ $C_1 = 0.8$	<i>Cellulosic Fire:</i> $A = 1200$ [400] $E_A = 54000$ [70000] <i>Hydrocarbon Fire:</i> $A = 1200$ [600] $E_A = 54000$ [68000]	-2500000
Ameron pipes (epoxy resin)	$k_o = 0.24$ $\alpha_1 = 0$ $\alpha_2 = 0.0012$	$C_o = 1270$ $C_1 = 0.23$	<i>Cellulosic Fire:</i> $A = 800$ $E_A = 56000$ <i>Hydrocarbon Fire:</i> $A = 1200$ $E_A = 52000$	-30000
Phenolic laminates	$k_o = 0.28$ $\alpha_1 = 0$ $\alpha_2 = 0.0018$	$C_o = 1300$ $C_1 = 0.3$	<i>Hydrocarbon Fire:</i> $A = 1200$ [600] $E_A = 60000$ [58000]	-1600000

Vermiculux	$k_o = 0.28$ $\alpha_1 = -0.00008$ $\alpha_2 = 0$	$C_o = 800$ $C_1 = 0.2$	N/A	N/A
Voidfill 7D	$k_o = 0.0396$ $\alpha_1 = -0.00012$ $\alpha_2 = 0$	$C_o = 1470$ $C_1 = 0$	N/A	N/A
Gypsum board	$k_o = 0.24$ $\alpha_1 = 0$	$C_o = 950$ $C_1 = 0$	N/A	N/A

The thermal conductivity values in Table 1 are for dry materials. The value of the thermal conductivity will increase as temperature increases under conditions of constant moisture content. On the other hand, the moisture content is gradually reduced as a fire test progresses. The resultant thermal conductivity therefore is assumed to arise as a combination of both effects. The general equation considering the effect of moisture content on thermal conductivity can be expressed as:

$$k(M) = k(o) \times f(M) \tag{7}$$

where  $k(o), k(M)$  is the thermal conductivity values at  $o$  and  $M$  moisture content in volume respectively  
 $f(M)$  is an empirical factor

Jakob (1949) recommended empirical factors  $f(M)$  for masonry or similar materials, allowing the conductivity  $k(M)$  of a moist material to be estimated for any moisture level when the thermal conductivity is known for a given moisture content:

$$f(M) = 1.0891 + 0.17675 M - 8.7812 \times 10^{-3} M^2 + 1.7617 \times 10^{-5} M^3 \tag{8}$$

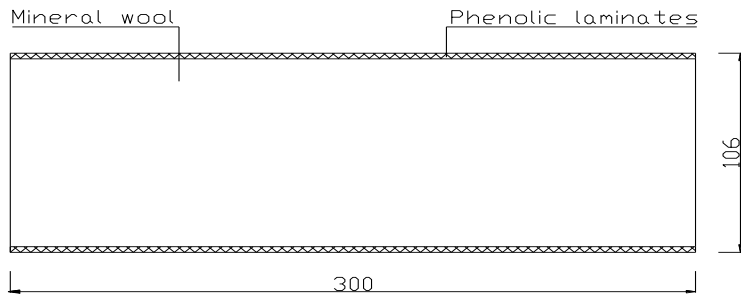
Since the thermal properties, i.e. thermal conductivity, specific heat, emissivity and charring rate, of building materials vary to a greater or lesser extent with temperature, there is very little information available regarding the actual values to be used in analysis [9,10]. The thermal properties of most materials relevant to this study are unknown and the experimental measurements of these properties are complicated and time consuming. Previous researchers have assumed the initial values using the information supplied by the manufacturer. These values were then refined by fitting them to some representative fire tests. The numerical solution using this approach provides a good agreement with the experimental results [11,12]. Numerous models have been generated by the author to verify the heat transfer program and to look at the temperature profiles of composite materials in the forms of sandwich or stringer wall panels [13]. The results from these numerical models will be presented in the next section.

### 3 Examples of Using Numerical Heat Transfer Analysis for Polymeric Materials

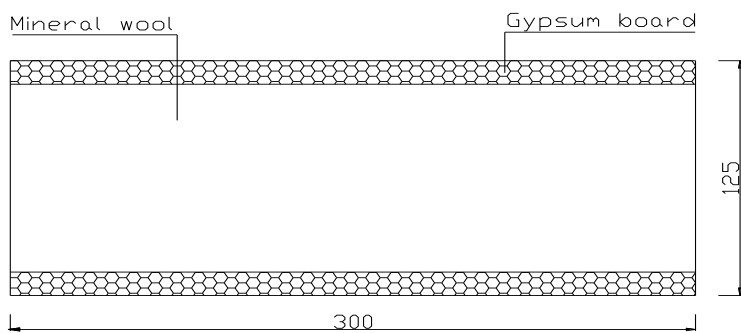
This section will present the results of some examples of numerical simulations using the heat transfer program. This numerical study is intended to demonstrate the important parameters of heat transfer in polymeric materials. Detailed results used in the validation of the program tested on four GRP panels:

- Specimen 1: Sandwich panel  
Phenolic laminates as skin, mineral wool as core
- Specimen 2: Sandwich panel  
Gypsum boards as skin, mineral wool as core
- Specimen 3: Stringer wall panel  
Phenolic laminates as skin, mineral wool as core and GRP C-channel as strut
- Specimen 4: Stringer wall panel  
Gypsum boards as skin, mineral wool as core and GRP C-channel as strut

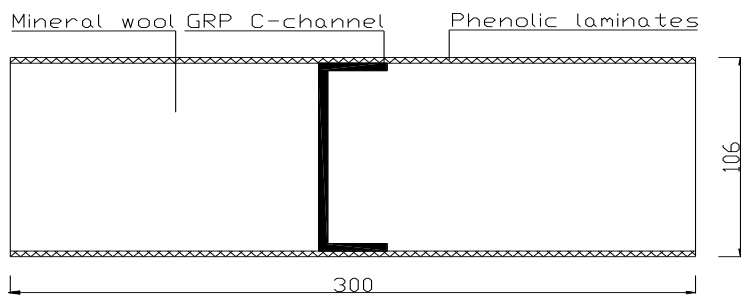
Figure 1 shows the dimensions of these four specimens. The fire tests were conducted in the 1.5 x 1.5 x 1.5 m furnace at the University of Texas by subjecting the specimens to the standard BS476 fire exposure on one side. Figure 2 shows the locations of the thermocouples.



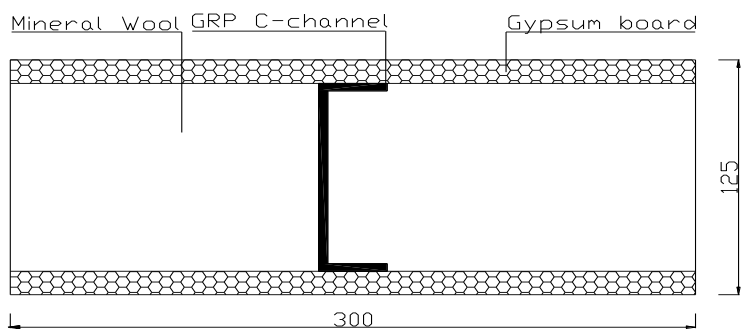
(a) Specimen 1: Sandwich panel, Phenolic laminates, mineral wool core



(b) Specimen 2: Sandwich panel, gypsum boards, mineral wool core

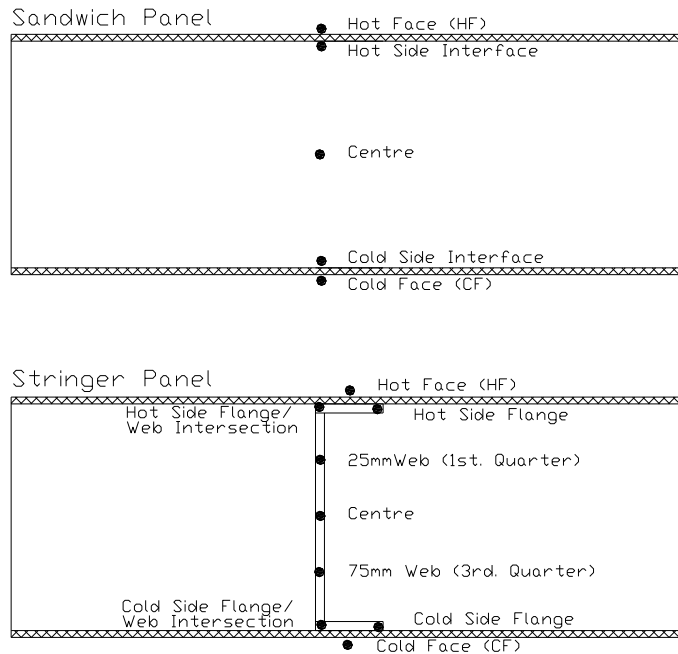


(c) Specimen 3: Stringer wall panel, GRP C-channel strut, Phenolic laminates, mineral wool core



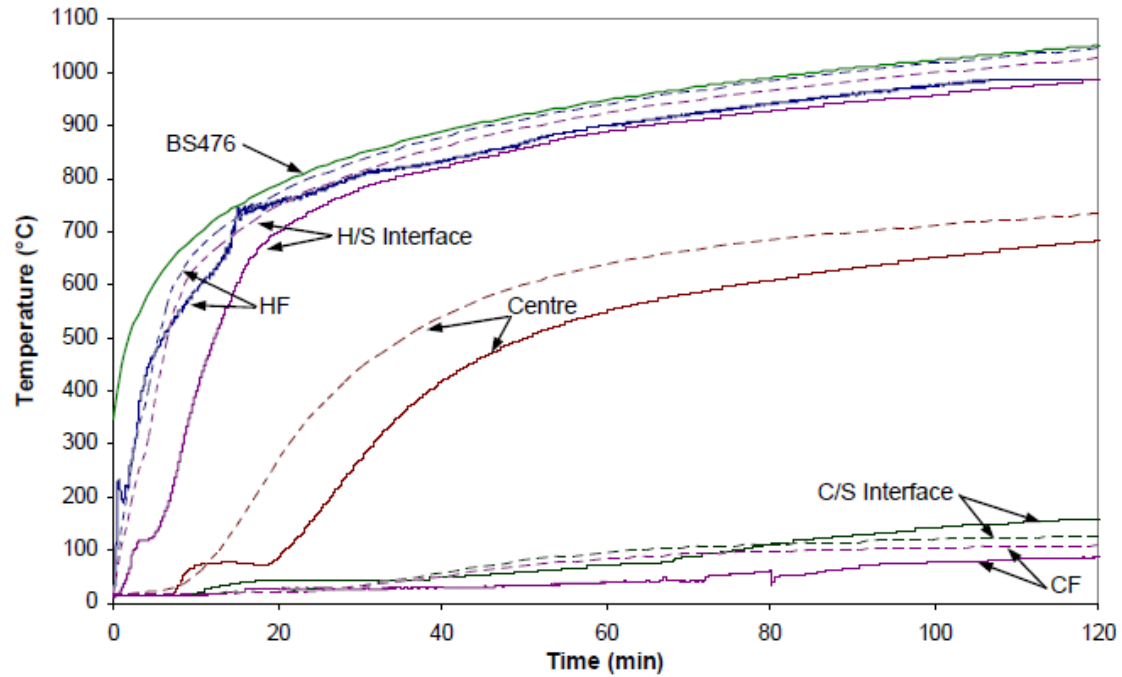
(d) Specimen 4: Stringer wall panel, GRP C-channel strut, gypsum boards, mineral wool core

**Figure 1** Specimens tested by Currie *et al.* (2001a)

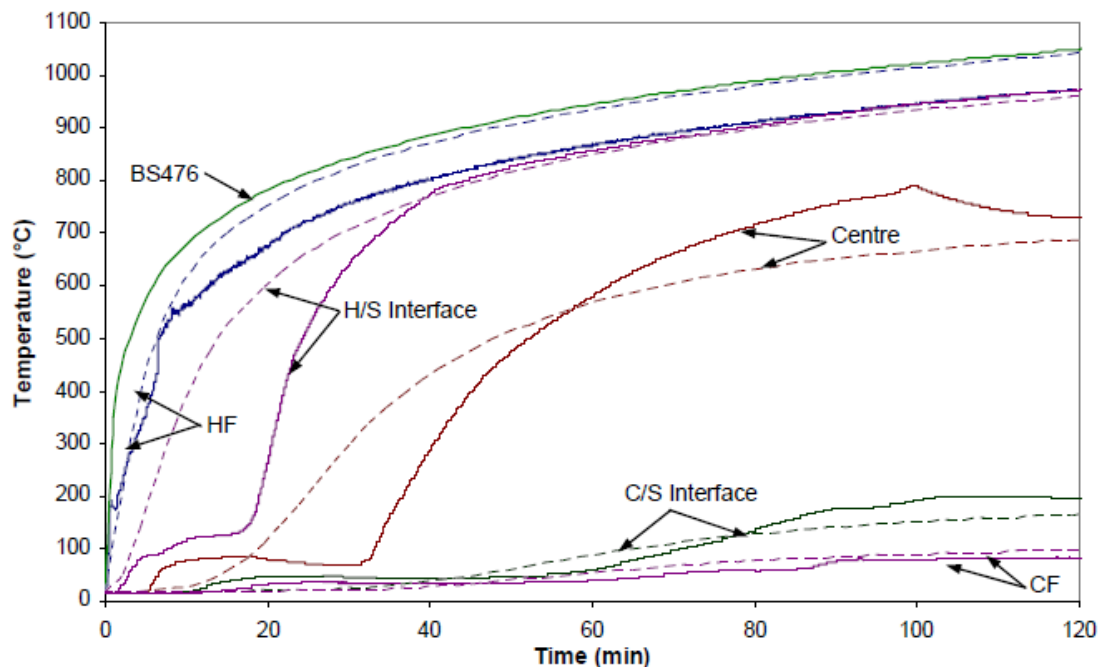


**Figure 2** Exact location of thermocouple for sandwich and stringer wall panels (Currie *et al.* 2001a)

Numerical heat transfer simulations were performed for different models of the test specimens. The first four models adopted the BS476 fire curve as the input fire source in the analysis. Figures 3(a)-3(b) compare the temperature-profiles between experimental (solid lines) and numerical results (dotted lines). Gypsum plasterboard has a high moisture content and when subjected to high temperatures energy sink will occur requiring extra energy to evaporate the moisture content. In the numerical simulations, the moisture in gypsum plaster is not included, resulting in higher temperatures.



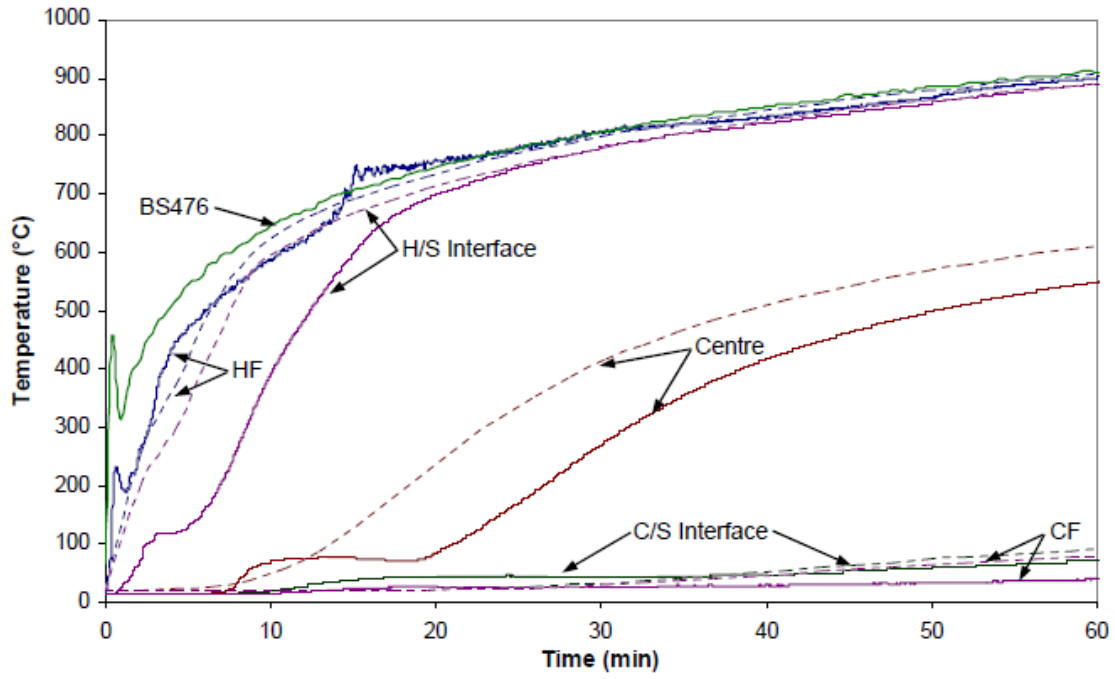
(a) Specimen 1: Sandwich panel



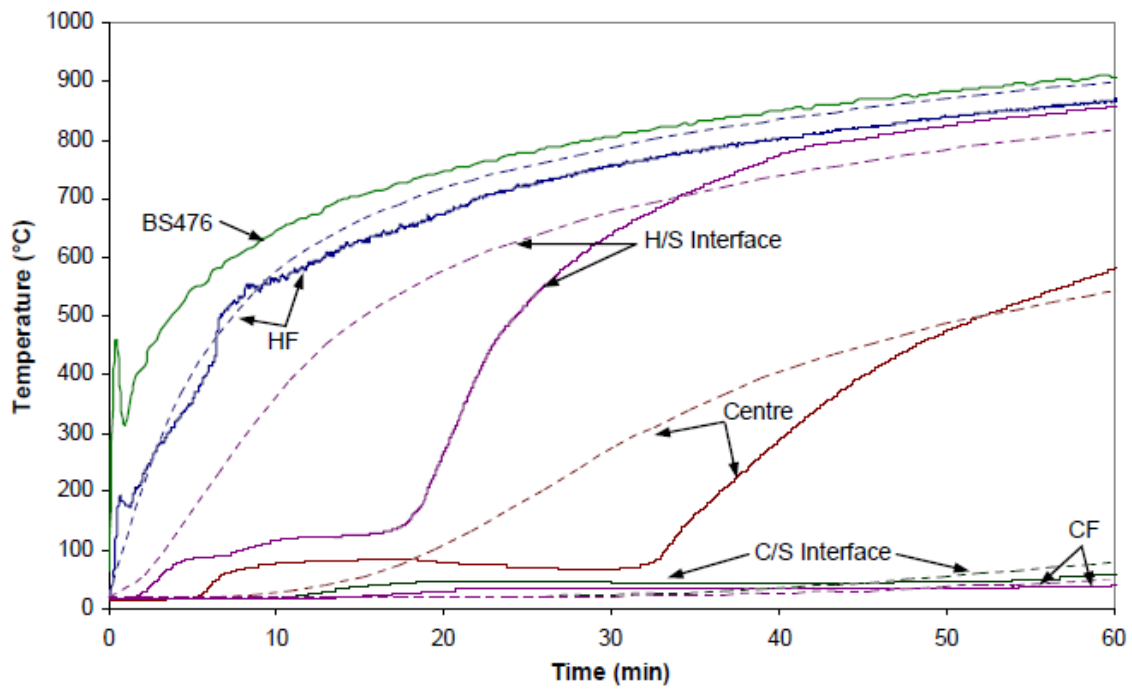
(b) Specimen 2: Sandwich panel

**Figure 3** Measured and predicted temperature-time profiles of Specimens 1-4 BS476 fire curve as input, no moisture effects in gypsum boards

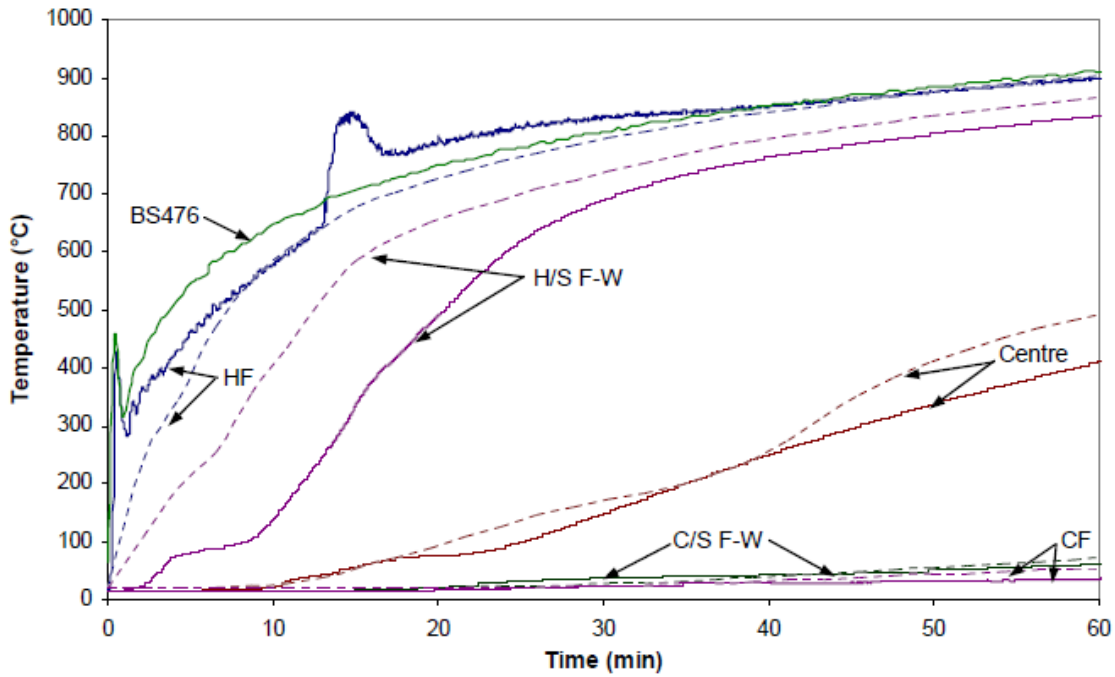
During fire tests, it was found that the measured furnace temperature was averagely 30°C lower than the specified values of the standard BS476 fire curve. In the next four models, the measured furnace temperatures were used as input in simulations. Figures 4(a)-4(d) compare simulations and test results. For clarity, temperature-time profiles at the 1<sup>st</sup> and 3<sup>rd</sup> quarters of the panel are excluded. Comparing the corresponding graphs (Figure 3 and Figure 4), it can be noticed that the predicted hot face temperatures were closer to the measured values when the actual furnace temperature was used as input.



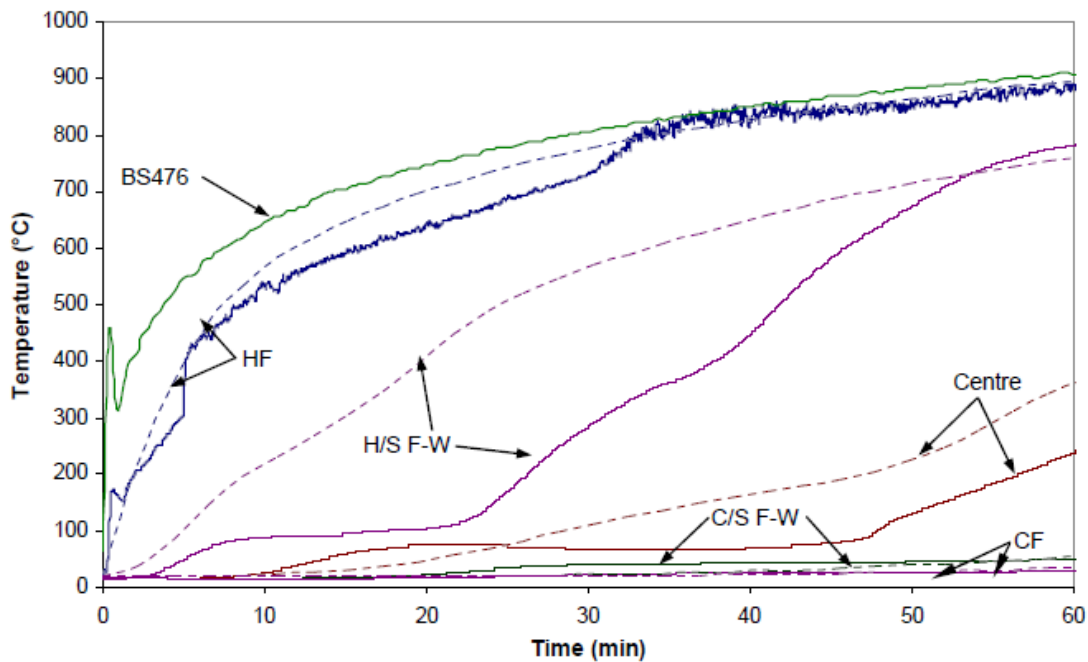
(a) Specimen 1: Sandwich panel



(b) Specimen 2: Sandwich panel



(c) Specimen 3: Stringer wall panel



(d) Specimen 4: Stringer wall panel

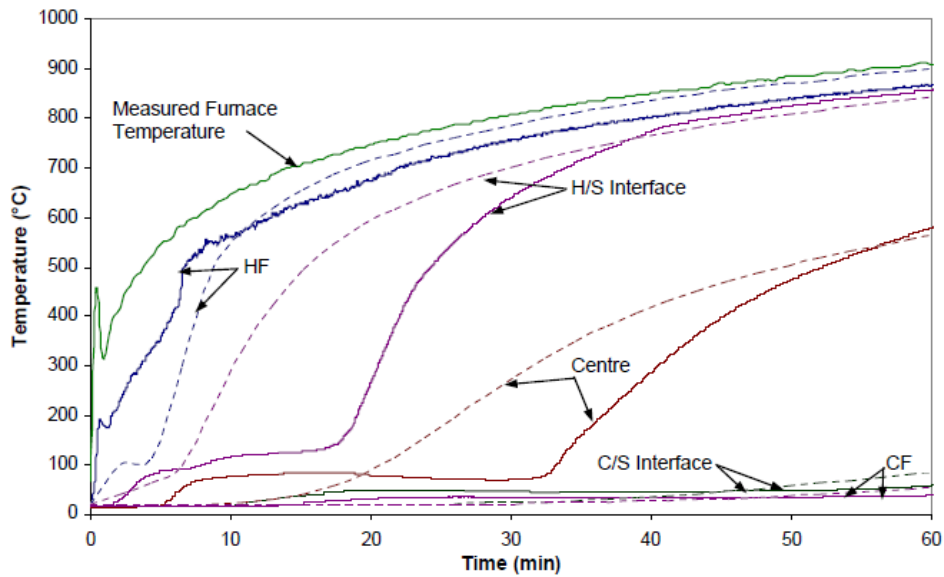
**Figure 4** Measured and predicted temperature-time profiles of Specimens 1-4  
Measured furnace temperatures as input, no moisture effects in gypsum boards

Further numerical simulations have been performed by taking into account moisture effects of the gypsum plasterboards. To do this, the specific heat and thermal conductivity of the gypsum were treated differently; the specific heat being increased sharply within the 85°C to 135°C region (determined using Eq. 6), while the thermal conductivity stayed constant up to 135°C and then being increased at a constant rate.

Figure 5 presents the results for specimens 2 & 4 where gypsum was used. The measured furnace temperatures were used as input in the analysis. As can be observed, the numerical profiles show the same trend of temperature rise compared to the experimental results. Temperature plateau regions are now noticeable from the numerical profiles although not as long as the

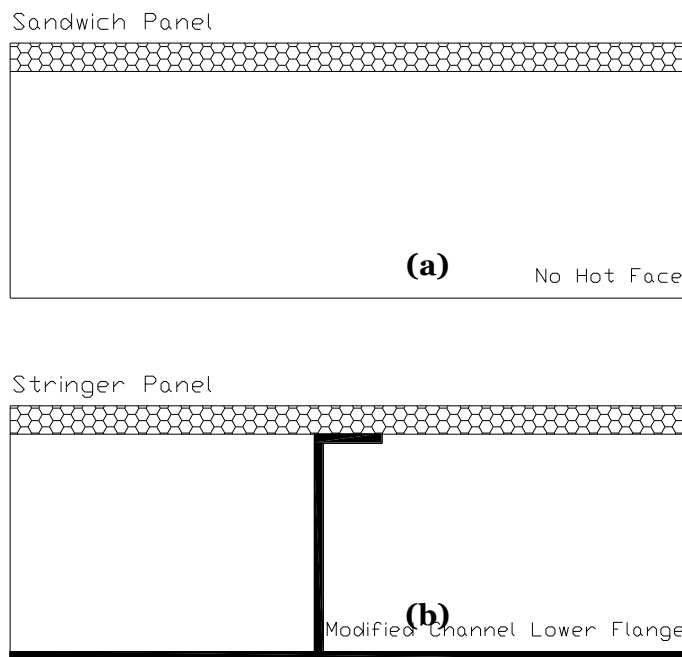


experimental ones. Nevertheless, this gave improvement compared to the previous cases (Figure 3(b) and 4(d)).

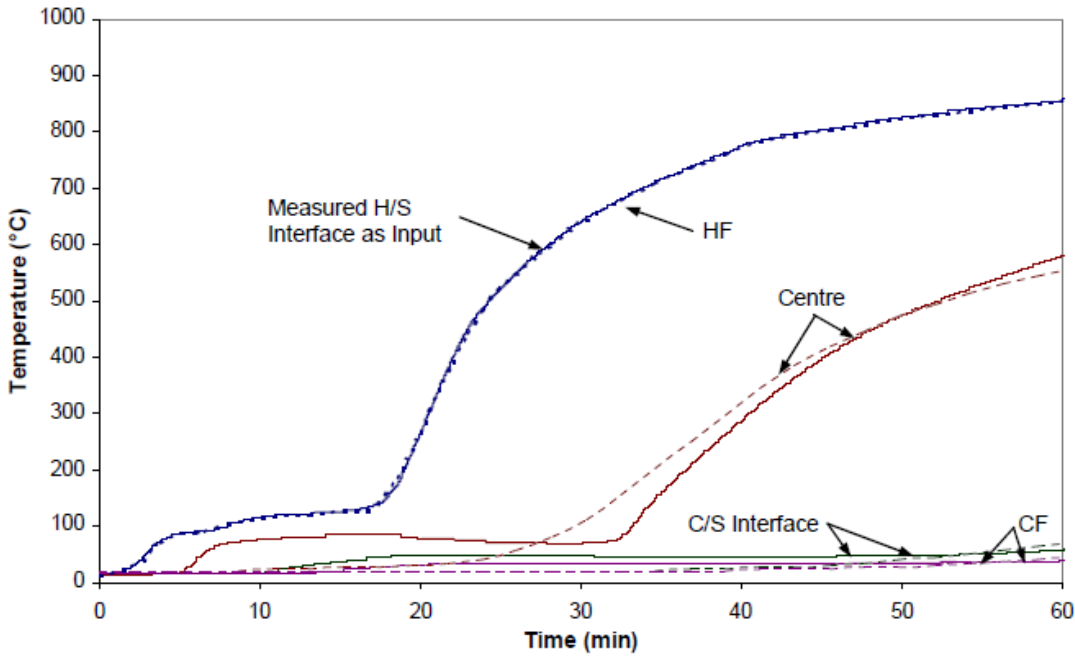


**Figure 5** Measured and predicted temperature-time profiles of Specimens 2. Measured furnace temperatures as input, consider moisture effects in gypsum boards

A possible factor influencing the accuracy of the numerical result is the thermal boundary conditions. To eliminate the uncertainties associated with this factor, two more models have been generated without any facing material on the exposed side. Figure 6 shows these modified panels schematically. Model (a) was generated to simulate test specimen 2 sandwich panels without the hot side. The measured board/mineral wool interface temperatures were taken as the input data in the analysis. The resulting temperature-time profiles are plotted in Figure 7. As expected, the predicted hot face temperature profile coincides with the input temperature. Temperatures at the centre of the panel were underestimated, which could be due to the low conductivity used for the mineral wool core. Nonetheless, the numerical results are much closer to the test values, indicating the importance of correctly considering the thermal boundary condition.

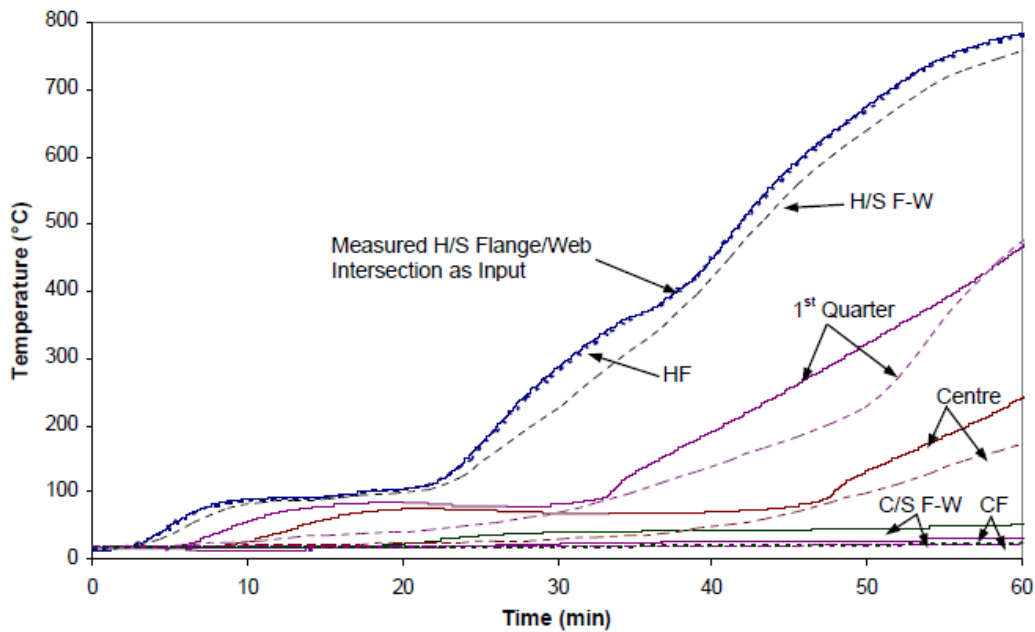


**Figure 6** Sandwich panel and stringer wall panel models with no hot faces



**Figure 7** Measured and predicted temperature-time profiles of Specimen 2: Sandwich panel.  
Measured hot side interface as input, no hot face

Model (b) deals with specimen 4 without the hot face. Due to numerical instability experienced using the program, the best alternative to simulating test specimen 4 without the hot face was to use a long lower flange for the channel (see Figure 6(b)). As far as heat transfer along the web of the channel is concerned, this condition should not incur high inaccuracy in the modelling. The measured temperatures at the flange/web intersection of the channel were taken as the input source in the analysis. Figure 8 shows the results of the modified panel. In general the model has slightly underestimated the temperatures within the panel. Nevertheless, the simulated results are quite satisfactory.



**Figure 8** Measured and predicted temperature-time profiles of Specimen 4: Stringer panel.  
Measured hot side channel flange/web intersection as input, no hot face

#### 4. Conclusions

This paper has discussed the heat transfer analysis in GRP sandwich and stringer panels. Understanding the behaviours of polymeric material under fire is vital in developing a suitable numerical model from appropriate heat transfer simulations. This paper focused on a two-dimensional heat transfer analysis using finite element method. Numerous simulations were conducted based on the available test results. These simulations were performed to investigate the effects of changing material properties and to examine the accuracy of the analysis. In general, the two-dimensional FE heat transfer analysis is capable of giving useful results. However, the accuracy of these simulations still leaves a little to be desired and the user needs to be aware of its limitations. This comes about partly because the program deals with the complex phenomena in a simple way, i.e. treating heat and mass transfer in wet materials by adding a value to the specific heat of the dry materials, using a first order Arrhenius equation for charring of the polymeric material, neglecting the generation of volatiles and using simplistic treatment of delamination. Another important factor is the lack of the availability of accurate material information. Such information is difficult to find and manufacturers of different materials give, at best, only information at ambient temperature. In addition, the thermal boundary condition needs careful consideration. Whilst numerical heat transfer in fire is developing fast, for construction involving polymeric materials, it is still essential to carry out experiments with numerical tools providing supplementary extension of the test results.

#### References

1. Sidey, M. P. and Teague, D. P. (1988), Elevated temperature data for structural grades of galvanized steel, British Steel (Welsh Laboratories) Report
2. Outinen, J., Kaitila, O., Mkelinen, P. (2001). High-temperature testing of structural steel and modelling of structures at fire temperatures, Research report, Helsinki University of Technology, Laboratory of Steel Structures, Espoo.
3. Young, B. Rasmussen, J. R. (1998), Shift of the effective centroid of channel columns, Proceeding of Fourteenth International Specialty Conference on Cold-formed Steel Structures, St Louis, Missouri U.S.A, pp. 265-287.
4. Lau, S. C. W., and Hancock, G. J. (1987), Distortional buckling formulas for channel columns. *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 113(5), pp. 1063-1078.
5. Ala-Outinen, T. and Myllymaki, J. (1995), The local buckling of RHS members at elevated temperatures, VTT Research Notes 1672, Technical Research Centre of Finland, VTT, Espoo, Finland.
6. Gerlich, J. T. and Collier, P. C. R. and Buchannan, A. H. (1996), Design of light steel-framed walls for fire resistance, *Fire and Materials*, vol. 20, pp.79-96.
7. Franssen, J. M., Kodur, V. K. R. And Mason, J (2000), User's manual of SAFIR 2001. A computer program for analysis of structures submitted to the fire, University of Liege, Belgium.
8. Lawson R M. (1993), Building design using cold formed steel sections: Fire protection. The Steel Construction Institute, Publication P129.
9. Outinen, J., Kaitila, O., M<sup>TM</sup>kel<sup>TM</sup>inen, P. (2000). A study for the development of the design of steel structures in fire conditions, Proceedings of the First International Workshop on Structures in Fire, Page 269-281, Copenhagen
10. Young, B. Rasmussen, J. R. (1998), Design of lipped channel columns, *Journal of Structural Engineering*, Vol. 124, No. 2, pp 140-148.
11. Kirby, B. R. and Preston, R. R. (1988), High temperature properties of hot-rolled structural steels for use in fire engineering studies, *Fire Safety Journal*, 13(1), 27-37.
12. Young, B. Rasmussen, J. R. (1998), Behaviour of locally buckled singly symmetric columns, Proceeding of Fourteenth International Specialty Conference on Cold-formed Steel Structures, St Louis, Missouri U.S.A, pp 218-264.
13. Alfawakhiri, F. and Sultan, M. A. (2000), Fire resistant of loadbearing LSF assemblies, Proceedings of 15<sup>th</sup> International Specialty Conference on cold-formed Steel Structures, St. Louis, U.S.A, pp545-561.

**Полимерная вычислительная модель и параметрическое исследование теплопроводности систем сэндвич-панелей и панелей, подкрепленных стрингерами**

<sup>1</sup>Джэнет Норгаард

<sup>2</sup>Мд Азри Отуман Мудин

<sup>1</sup>Техасский университет, США  
301 Един Китон Ст. STOPC1700 Остин, Техас 78712-1056  
Доктор наук (пожаротехника), научный работник  
E-mail: j.norgaardzz@hotmail.com

<sup>2</sup> Научный университет Малайзии, Малайзия  
11800, Пенанг  
Доктор наук (гражданское строительство), старший преподаватель  
E-mail: azree@usm.my

**Аннотация.** Многочисленные исследования играют важную роль в современных научных работах. Хотя они не могут полностью заменить апробацию или другие практические методы, они являются важными заменителями для улучшения нашего понимания существующего материала или для детального изучения предмета. В Техасском университете была разработана компьютерная программа для расчета температурных распределений в стеклопластиковых конструкциях во время пожара. В данной статье изучается поведение стеклопластика при высоких температурах и теория, лежащая в основе программы температурных распределений. В данной статье также рассматриваются различные полимерные вычислительные модели распределения температур, разработанные другими исследователями. В заключении представлен ряд параметрических исследований для демонстрации практического применения данной компьютерной программы.

**Ключевые слова:** температурные распределения; сэндвич-панели; стеклопластик; температура; модель.

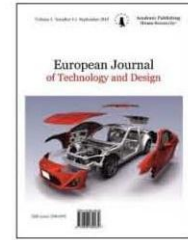
ISSN: 2310-0133

Founder: Academic Publishing House *Researcher*

DOI: 10.13187/issn.2310-0133

Has been issued since 2013.

<b>European Journal of Technology and Design</b>
--



UDC 004.6; 528; 004.8

## Geoinformation Modeling in Logistics

Vladimir Markelov

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Russian Federation

E-mail: vmarkel123456@yandex.ru

**Abstract.** This article brings to light the characteristics of geoinformation modeling. The author demonstrates that geoinformation modeling employs data integration. It is illustrated that geoinformation modeling is characterized by the use of spatial relations. The article describes primary logistics objectives. It demonstrates the link between logistics and spatial analysis and logistics and geomodeling.

**Keywords:** geoinformatics; logistics; geoinformation technology; geoinformation modeling; information; spatial information; information models.

**Введение.** Моделирование, как метод научного познания, представляет собой построение модели и действия с моделью. Моделирование в технологическом аспекте может быть рассмотрено как форма отражения действительности [1]. Моделирование в геоинформатике создает возможность переноса результатов, полученных в ходе построения и исследования моделей, на оригинал, и тем самым решает задачу переноса знаний [2, 3]. Применение геоинформационного моделирования в разных областях, особенно связанных с анализом реального пространства дает больший эффект чем применение других видов моделирования. Логистика широко использует пространственный анализ. Однако большинство методов и курсов логистики весьма слабо применяют методы пространственного анализа и еще меньше методы геоинформатики. Поэтому исследование применения методов геоинформатики и в частности геоинформационного моделирования в логистике весьма актуально.

**Геоинформационное моделирование как инструмент анализа и обработки.** Геоинформатика строится на интеграции разных наук [4], а обработка информации в геоинформатике строится на основе применения моделей [5]. Поэтому геоинформационное моделирование является ключевым в логистической цепочке обработки геоданных.

Геоинформационное моделирование имеет несколько видов [2, 3, 6]:

- моделирование с использованием ранее созданных моделей пространственных данных;
- моделирование с использованием ГИС для построения картографических или трехмерных моделей [7];
- трехмерное моделирование с использованием ГИС, САПР или других программ трехмерного моделирования;
- моделирование с использованием геоданных и геоинформации для построения пространственных моделей.

Общим для этих видов является использование трех интегрированных групп данных «место», «время», «тема».

Геоинформационное моделирование не только одно из средств отображения явлений и процессов реального мира, но и объективный практический критерий проверки

истинности знаний. Геоинформационное моделирование создает в итоге новые информационные модели и информационные ресурсы [8].

При моделировании исходный объект заменяется другим объектом, называемым моделью. В модели входят множество параметров, связанных между собой. Часть параметров подлежит определению на основе измерений исходного объекта и рассматривается как совокупность известных значений. Другая часть параметров определяется на основе расчетов с использованием известных параметров. Целью геоинформационного моделирования является либо «объяснение того, что есть», либо «прогнозирование того, что будет».

Моделирование позволяет с меньшими затратами воссоздать процессы взаимодействия реального объекта и внешней среды и выявить критерии оптимизации этого взаимодействия. Особенностью геоинформационного моделирования является опора на пространственные отношения [9].

**Виды моделирования, входящего в геоинформационное.** При визуальном моделировании применяют знаковое геоинформационное моделирование. При знаковом геоинформационном моделировании моделями служат знаковые образования какого-либо вида: карты [10], схемы, графики, чертежи, формулы, графы, условные знаки, тайлы и т.п.

При исследовании явлений или процессов, при выявлении латентных связей, - предпочтительным является математическое моделирование. Математическая модель представляет собой совокупность формальных описаний (формул, уравнений, неравенств, логических условий), отражающих реальный процесс изменения состояния объекта в зависимости от различных внешних и внутренних факторов. Особенностью геоинформационного математического моделирования является использование топологии [11] и геоданных [12].

При исследовании пространственных объектов широко применяют цифровое моделирование. В информатике и геоинформатике [1] цифровое моделирование заключается в реализации возможностей математических методов и программных средств для моделирования объектов.

**Цифровая модель как основа геоинформационного моделирования.** В широком смысле слова цифровая модель (ЦМ) (digital model, DM) это информационная дискретная модель сформированная для обработки на компьютере. Цифровая модель – компьютерно-ориентированная модель. В этом смысле она является обобщением даталогической и физической модели [13]. Часто употребляют более узкое понятие цифровая модель местности (ЦММ).

В узком смысле слова цифровая модель это дискретная модель пространственных объектов, в которой одними из обязательных параметров являются: координаты, размеры, габариты, точность координат, масштаб и т.д. Естественно, что эта модель предназначена для обработки в информационных или геоинформационных технологиях.

Определяющим в названии цифровая модель является то, что она сформирована в цифровом коде, который воспринимает компьютер и может проводить обработку на этой основе. Цифровые модели содержат различные типы информации [1, 7]. По аспекту пространственных отношений выделяют метрическую и атрибутивную типы информации.

Метрическая информация определяет положение путем задания абсолютных координат точек ЦММ и размеры объекта путем относительных координат точек в условных или местных системах.

Качественным отличием метрической информации цифровых моделей, полученных по реальным измерениям, является точностная характеристика. Она обусловлена ошибками измерений и последующими ошибками вычислений. Этот параметр определяет применимость цифровой модели при решении практических задач в разных масштабах.

Атрибутивная информация в ЦММ определяет принадлежность точек или объектов к определенному классу или объекту (сложный или простой объект), описывает свойства объектов и их частей, задает взаимосвязи и условия обработки, условия воспроизведения и т.п. также как и во всей геоинформатике она решает главную задачу нахождения пространственных отношений

Семиотический аспект позволяет, рассматривая ЦМ как информационную модель, вводит известные в информатике оценки коэффициент информативности и коэффициент

содержательности цифровой модели [14]. Семантическая часть информации определяет ее содержательную сторону, она связана с кодированием данных, но таким образом, что кодированная информация включает семантические информационные единицы [15].

Синтаксическая информация определяет набор правил и отношений работы с цифровой моделью как с обычной информационной моделью. Она связана с классификацией и правилами построения моделей.

**Логистика и информационные методы.** Современная логистика широко использует информационные методы. Геоинформатика близка к информатике, а геоинформационный подход [16] близок к информационному подходу. Поэтому целесообразно применять геоинформационный подход для решения логистических задач [17].

Транспорт служит материальной базой производственных связей между отдельными территориями, выступает как фактор, организующий мировое экономическое пространство и обеспечивающий дальнейшее географическое (геоинформационное) разделение труда.

В этих условиях существенно возрастает значение логистики, развитие глобальной логистики и применение новых методов и подходов для решения логистических задач. Необходимо разделять логистические пространственные задачи и логистические экономические задачи. В экономических задачах главное – определение экономических показателей. В пространственных задачах главное – провести анализ пространственной ситуации для оптимизации перемещения и последующей экономической оценки. Поэтому современная логистика опирается на пространственный анализ. Он имеет специфическую реализацию при анализе протяженных объектов, размеры которых превосходят одну зону [18].

Современные геоинформационные системы служат основой изучения транспортных сетей [19]. Результаты анализа сетей служат основой решения логистических экономических задач [20]. Основой применения геоинформатики в логистике служат геоданные [11, 12] и динамические [13, 21] модели. Технически логистические задачи тесно связаны с пространственным анализом в геоинформатике. Они включают:

- выбор оптимальных вариантов транспортировки грузов;
- резервирование дополнительных маршрутов движения транспортных средств с учетом возможных аварий и пробок.

Перемещение подвижных объектов требует проведения мониторинга и навигационного обеспечения подвижных объектов. Это делает актуальным применение спутниковых технологий мониторинга подвижных объектов [22]. Применение спутниковых навигационных систем позволяет осуществлять:

- контроль перевозочного процесса;
- мониторинг в режиме реального времени перевозок особо важных грузов
- оперативное управление глобальными транспортными потоками;
- контроль безопасности движения транспортных средств.

Многие направления логистических процессов связаны с геоинформационными технологиями. Это определяет необходимость применения методов геоинформатики в логистике [23].

Необходимым условием согласованной работы всех звеньев логистической цепочки является применение информационных систем. Основная их задача – быстро и экономично подвести нужный груз к нужной точке в нужный момент. В практике логистики применяются информационные логистические системы. Однако учитывая перечисленные особенности логика приводит к необходимости использовать ГИС в качестве логистической системы или к созданию геоинформационной логистической системы [24]. Эти системы представляют собой автоматизированные системы управления логистическими процессами в первую очередь, и во вторую системы создания карт или построения цифровых моделей.

**Принципы геоинформационного моделирования.** Структурно принцип геоинформационного моделирования в логистике опирается на ряд специализированных моделей. Эти модели делятся на три категории: модели объектов, модели ситуаций, модели процессов или процессные модели.

Модели объектов строятся как информационные модели и представляют собой совокупность информационных единиц [25]. Этим подчеркивается связь информационного

и геоинформационного подходов. Построение моделей часто опирается на трехмерное моделирование [7]. В этой части моделирования доминирующую роль играет информационный подход и чисто информационные модели.

Модели ситуаций уже больше включают пространственную, конфигурационную и позиционную составляющую. При этом, что требуется определить не только модель ситуации, но модель позиции анализируемого объекта в этой ситуации [26]. При этом понятие ситуации и позиции используется широко. Например ситуация и позиция в одном пространстве. Это может быть пространственная ситуация и пространственная позиция. Это может быть экономическая ситуация и экономическая позиция. Это может быть экологическая ситуация и экологическая позиция.

Возможны комбинации ситуаций и позиций. Например пространственная ситуация и экономическая позиция. Другой пример, пространственная ситуация плюс экологическая ситуация плюс пространственная позиция и экономическая позиция. В целом такие комбинации создают основу геоинформационного ситуационного моделирования [27].

Модели процессов включают динамические модели перемещения объектов [13, 21] и модели процессов, среди которых наиболее характерным является процессы управления, в частности подвижными объектами [28]. В целом геоинформационное моделирование в совокупности с информационным подходом и информационным моделированием служит источником получения новых знаний [29].

Следует подчеркнуть, что применение геоинформационного моделирования в логистике относится к инновационным разработкам [30]. Это перспективное направление, которое приводит к новым прорывным результатам.

**Выводы.** Геоинформационное моделирование позволяет решать широкий круг задач, который с помощью иных методов моделирования решить нельзя. Это обусловлено двумя факторами. 1) геоинформационное моделирование использует широкий набор данных (место, время, тема), который в других технологиях не используют. 2) с другой стороны, методически геоинформационное моделирование является более широким в равнении с другими видами моделирования, поскольку включает в единой среде моделирование ситуаций (пространственных и любых), объектов и процессов. В логистике геоинформационное моделирование является обязательным инструментом при решении пространственных задач и дополнительным инструментом для комбинированного решения пространственных и экономических задач. Результаты получаемые с помощью геоинформационного моделирования в логистике нельзя получить в других технологиях.

#### **Примечания:**

1. Майоров А.А. Современное состояние геоинформатики // Инженерные изыскания. 2012. № 7. С. 12-15.
2. Цветков В.Я. Геоинформационное моделирование // Информационные технологии, 1999. №3. С. 23-27.
3. Цветков В.Я. Основы геоинформационного моделирования // Геодезия и аэрофотосъемка. 1999. №4. С.147-157.
4. Майоров А.А. О современном состоянии геодезического образования // Дистанционное и виртуальное обучение. 2013. №2. С. 71-77.
5. Цветков В.Я. Информационные модели как основа обработки информации в ГИС // Геодезия и аэрофотосъемка. 2005. №2. С. 118-123.
6. Булгаков С.В. Особенности геоинформационного моделирования // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2013. №3. С. 77-80.
7. Дышленко С.Г. Принципы трехмерного моделирования в ГИС. // Международный научно-технический и производственный журнал «НАУКИ О ЗЕМЛЕ». 2012. №4. С. 65-71.
8. Вознесенская М.Е. Формирование информационных ресурсов в геоинформатике // Международный научно-технический и производственный журнал «НАУКИ О ЗЕМЛЕ». 2012. № 2. С. 90-92.
9. Цветков В.Я. Виды пространственных отношений // Успехи современного естествознания. 2013. № 5. С. 138-140.



10. Маркелов В.М. Создание картографических логистических моделей логистике // Международный научно-технический и производственный журнал «Науки о Земле». 2012. Выпуск 03. С. 54-58.
11. Маркелов В.М. Применение топологических моделей геоданных для оптимизации транспортных маршрутов // Математические методы и модели анализа и прогнозирования развития социально-экономических процессов черноморского побережья Болгарии / Материалы Международной научно-практической конференции 16-23 июля 2012 г. Бургас, Болгария, 2012. С. 56-61.
12. Markelov V. Application Geodata in Logistics // European Researcher, 2012, Vol.(33), № 11-1. Pp. 1835-1837.
13. Цветков В. Я., Маркелов В.М. Применение цифровых моделей в логистике // Геодезия и картография. 2013. №7. С. 59-62.
14. Прикладная информатика Поляков А.А., Цветков В.Я.: Учебно-методическое пособие для студентов, обучающихся по специальности «прикладная информатика» (по областям) и другим междисциплинарным специальностям: В 2-х частях: / Поляков А.А., Цветков В.Я.; Под общ.ред. А.Н. Тихонова. М.: МАКС Пресс. 2008.
15. Tsvetkov V.Ya. Semantic Information Units as L. Floridi's Ideas Development // European Researcher, 2012, Vol.(25), № 7, p. 1036-1041.
16. Rozenberg I.N., Tsvetkov V.Ya. The Geoinformation approach // European Journal of Natural History. 2009. № 5. P. 102-103.
17. Майоров А.А., Цветков В.Я., Маркелов В.М. Геоинформационный подход в логистике // Геодезия и аэрофотосъемка, 2012. №6. С. 93-97.
18. Цветков В.Я., Омельченко А.С. Особенности построения моделей объектов большой протяженности в геоинформатике // Фундаментальные исследования. 2006. №4. С. 39-40.
19. Цветков В.Я., Кужелев П.Д. Геоинформационные системы и технологии как новый метод изучения транспортных сетей // Геодезия и аэрофотосъемка, 2002, №5. С. 155-161.
20. Маркелов В.М. Логистика и пространственная экономика / Материалы международного образовательного форума «Бургас 2013». Бургас: Изд-во «ЕООД ИХНИИТ», 2013. С. 91-95.
21. Цветков В.Я. Модель геоданных для управления транспортом // Успехи современного естествознания. 2009. №4. С. 50-51.
22. Савиных В.П. Использование методов дистанционного зондирования для управления транспортом // Международный научно-технический и производственный журнал «НАУКИ О ЗЕМЛЕ». 2012. № 2. С. 58-61.
23. Vladimir M. Markelov. Application of Geoinformation Monitoring in Logistics // European Researcher, 2012, Vol.(31), № 10-1, p. 1632-1634.
24. Цветков В.Я., Маркелов В.М. Интеллектуализация логистики с применением геоинформатики // Международный журнал экспериментального образования. 2012. №6. С. 111-112.
25. Tsvetkov V.Ya. Information objects and information Units // European Journal of Natural History. 2009. № 2. P. 99.
26. Viktor Ya. Tsvetkov. Information Situation and Information Position as a Management Tool // European Researcher, 2012, Vol.(36), № 12-1, p. 2166-2170.
27. Маркелов В.М. Геоинформационное ситуационное моделирование // Международный научно-технический и производственный журнал «НАУКИ О ЗЕМЛЕ». 2012. №4. С.72-76.
28. Tsvetkov V.Ya. Information Management of Mobile Object // European Journal of Economic Studies, 2012, Vol.(1), №1. P. 40-44.
29. Иванников А.Д., Тихонов А.Н., Мордвинов В. А. Получение знаний методами информатики и геоинформатики // Вестник Московского государственного областного университета. 2012. №3. С. 140-142.
30. Маркелов В.М., Романов И.А. Инноватика и геоинформатика // Дистанционное и виртуальное обучение. 2012. № 12. С. 53-57.

УДК 004.6; 528; 004.8

## **Геоинформационное моделирование в логистике**

Владимир Михайлович Маркелов

Московский государственный университет геодезии и картографии, Российская Федерация

Соискатель

E-mail: vmarkel123456@yandex.ru

**Аннотация.** Раскрываются особенности геоинформационного моделирования. Показано, что геоинформационное моделирование использует интеграцию данных. Показано, что особенностью геоинформационного моделирования является использование пространственных отношений. Описаны основные логистические задачи. Показана связь логистики с пространственным анализом и с геомоделированием.

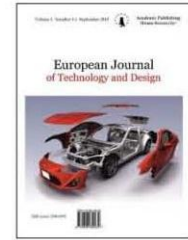
**Ключевые слова:** геоинформатика; логистика; геоинформационные технологии; геоинформационное моделирование информация; пространственная информация; информационные модели.

ISSN: 2310-0133

Founder: Academic Publishing House *Researcher*

DOI: 10.13187/issn.2310-0133

Has been issued since 2013.



## European Journal of Technology and Design

### Systems Analysis in Geoinformatics

Victor Y. Tsvetkov

National Research University Higher School of Economics, Russian Federation  
 Doctor of Technical Sciences, Professor  
 E-mail: cvj2@mail.ru

**Abstract.** This article brings to light the application of the systemic approach to the analysis of spatial phenomena and objects. The term “system” is used for the generalized description of spatial objects, spatial phenomena, and spatial processes. The article brings to light the notion of the internal and external determinants of a spatial object as a system. The author examines the functions and information units of a system that describes spatial objects. The author illustrates the significance of classification as a tool for describing spatial objects.

**Keywords:** systems analysis; geoinformatics; structural nesting; emergence; determinant; paradigmatic relations; information units.

**Введение.** Геоинформатика относительно молодая наука. Поэтому в ней появляются новые методы, принципы и подходы. Любая научная дисциплина которая создает свои новые положения, понятия и средства, нуждается в периодическом упорядочении и систематизации нововведений. В геоинформатике изучают отдельные объекты, системы объектов окружающий мир и связь объектов с внешней средой [1]. Все это дает основание применить системный анализ для исследования пространственных объектов в геоинформатике. Изучение поведения разных объектов как систем позволяет создать категориально-понятийный аппарат, который используется в геоинформатике.

**Структурная вложенность объектов.** Употребляя термин «система» в дальнейшем будем понимать обобщение пространственного объекта, пространственного явления и пространственно-временного процесса.

С позиции системного подхода пространственный объект – это сложная система, выполняющая определённую функцию в объекте более высокого уровня – надсистеме. С другой стороны пространственный объект – это сложная система, имеющая свои части и элементы по отношению к которому он также является надсистемой. Структурная вложенность пространственных объектов в геоинформатике, выраженная в терминах системного анализа приведена на рис. 1.

Мир есть система систем [2]. Это отражается и в геоинформатике. Пространственный объект, обозначаемый в дальнейшем термином «система» занимает средний уровень. Он находится во внешней среде, которая образует внешний уровень по отношению к объекту исследования, и, которую можно назвать термином «надсистема». Пространственный объект имеет компоненты, которые можно назвать «подсистема».

Триада «надсистема-система-подсистема» образуют основу функционирования системы. Подсистема может включать определенные части или блоки. Они образуют еще более мелкий и уровень. Такое деление продолжается до элемента и элементарного уровня. Однако подчеркнем, что при таком делении необходимо определять критерий делимости системы [3]. В зависимости от критерия делимости могут получаться разные элементы и разные элементарные уровни [4]. Принципиальной является модель структурной вложенности, приведенная на рис.1.

Структурная вложенность – это не структура, а отражение иерархии уровней системы и ее окружения. Структурой системы называют схему связей и отношений между частями и элементами системы. Место элемента системы в структуре характеризует позицию элемента [5] в этой структуре.

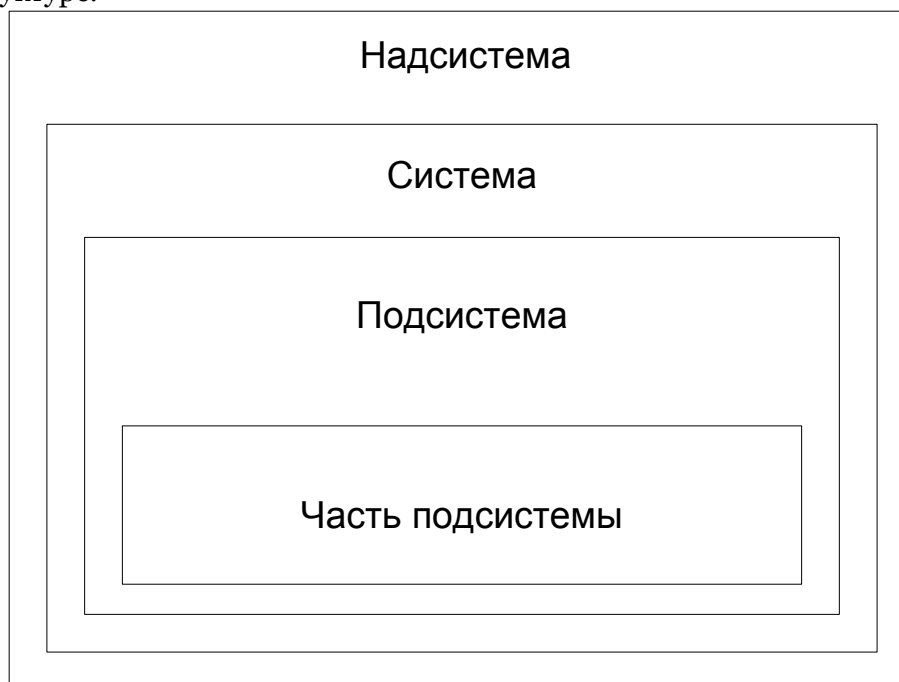


Рис. 1. Структурная вложенность пространственных объектов в терминах систем

Части системы элементы и компоненты – являются субстанцией этой системы. Но части и элементы не являются самостоятельными. Только система обладает свойством эмерджентности – несводимости свойств системы к сумме свойств ее частей и элементов.

**Внутренняя и внешняя детерминанты пространственного объекта как системы.** Основными характеристиками, с помощью которых выявляется своеобразие любой системы, являются ее функциональное назначение и целенаправленность [6]. Пространственный объект, как система, характеризуется внешней надсистемой, в которой сформировалась сущность данной системы (объекта). Функцию системы как целого называют общей функцией, а функции подсистем – частными функциями [7].

Пространственный объект (как система) имеет два вида целей [8]: внутренние и внешние. Внутренние цели связывают части системы с тенденцией к целостности, как свойству системы. В силу этого система детерминирует особенности всех своих составляющих единиц в их системной взаимосвязи. Составные части и элементы такой сложной системы формируют внутренние свойства системы как целого, направленного на внутреннее единство системы. Эти свойства можно определить как внутренняя согласованность и целостность. Условия функционирования системы, направленные на обеспечение внутренней согласованности и целостности называют внутренней детерминантой. Знание внутренней детерминанты системы помогает предсказывать и согласовывать все характеристики и процессы в системе.

Внешние цели системы направлены на адаптацию объекта (системы) к внешней среде и на обеспечение его устойчивости в этой среде (надсистеме). В процессе адаптации пространственного объекта в надсистеме формируются и закрепляются особенности её конкретных свойств. Составные части и элементы такой сложной системы также формируют свойства системы как целого. Эти свойства можно определить как внешняя целостность и устойчивость.

Системный анализ часто не учитывает и не использует такое понятие как ресурс системы. В геоинформатике это понятие присутствует и требует учета. Поскольку ресурс системы ограничен, то может возникнуть противоречие между внутренней и внешней

целостностью при распределении ресурсов. Сформированность системы – это ее свойство эффективно использовать свои ресурсы. Чем выше сформированность объекта, тем выше его устойчивость во внешней среде (надсистеме).

Необходимость приспособления (адаптации) порождается взаимодействием объекта с внешней средой.

Внешней детерминантой системы называют условия функционирования системы, направленные на обеспечение адаптации к внешней среде, внешней устойчивости и сформированности.

**Функции системы и информационные единицы системы.** Любая система имеет функциональное назначение и целенаправленность [6]. Любой пространственный объект как система обладает рядом функций. Наличие функций предполагает наличие функциональных единиц, благодаря которым становится возможной реализация каждой функции. При информационном взаимодействии в геоинформатике следует говорить об информационных единицах.

Объект как система взаимодействует с другими объектами. В информационном поле такое взаимодействие является информационным. Наличие информационного взаимодействия определяет коммуникативную функцию системы как одну из главных. Эта функция приводит к необходимости введения исследования информационных единиц обмена информацией [9].

Вопрос о природе информационных единиц обмена и других информационных единиц [10] тесно переплетается с вопросами семиотики, теории информации по Шеннону, теории информации по Флориди [3], с вопросами семантики и знаковых систем [11].

Наличие информационных ресурсов системы определяет функцию хранения ресурсов системы. Эта функция приводит к необходимости введения и исследования информационных единиц хранения информации.

Потребность в обработке информационных потоков внутри системы определяет функцию обработки информации внутри системы. Эта функция приводит к необходимости введения и исследования информационных единиц обработки информации.

Потребность в получении и передачи знания внутри системы определяет функцию анализа содержательности и смысловых значений. Обработка информации с учетом ее семантического содержания влечет образование нового качества [12]. Это может быть новое качество исходной сущности, а может быть новая сущность. Обработка информации с учетом ее семантического содержания принципиально отличается от подхода основанного только на кодировании и декодировании. Функция анализа содержательности и смысловых значений приводит к необходимости введения и исследования семантических информационных единиц [13].

Потребность в представлении информации системы для внешней среды, в частности для восприятия ее человеком определяет функцию представления информации вне системы. Эта функция приводит к необходимости введения и исследования информационных единиц представления информации [10]

Таким образом, пространственный объект как система характеризуется не только разными функциями, но и разными группами информационных единиц.

**Сущность системы и классификация ее компонент.** В работе Аристотеля [14] даются следующие понятия «формой я называю суть бытия каждой вещи и ее первую сущность», «то, что обозначено как форма или сущность, не возникает, а возникает сочетание, получающее от нее свое наименование, и что во всем возникающем есть материя, так что одно [в нем] есть материя, а другое – форма».

Сущность системы определяется совокупностью устойчиво проявляющихся свойств системы и является объективной характеристикой.

Сущность системы формируется её внутренней детерминантой, которая является следствием внешней детерминанты. В качестве оснований сущности системы могут использоваться детерминантные признаки ее компонент.

Напомним, что к компонентам относят подсистемы, части и элементы. Отметим, что в данном контексте рассматриваем не только гомогенные элементы, что широко принято в классическом системном анализе, но и гетерогенные элементы [15]. Именно гетерогенные

элементы как системообразующие элементы вносят вклад в определение существенных признаков системы.

Представление о сущности системы и о сущностных её признаках, можно получить путём сущностной (содержательной) классификации [16]. При отсутствии данных для её построения применяют характерологическую (формальную) классификацию компонентов системы по существенным признакам. Поэтому необходимо остановиться на важнейших видах существенных характеристик компонентов, которые могут быть основаниями для характерологических классификаций.

Классификация по компонентам имеет существенный недостаток, поскольку исключает свойства эмерджентности системы, пропадающее при рассмотрении только компонент.

Следует отметить, что сущностная (эссенциологическая) классификация решает несколько задач. 1) Она выявляет сущностные признаки системы как целого. 2) Она позволяет определить структуру системы. 3) Она позволяет устанавливать и определять вид связи между элементами системы. 4) Она помогает уточнить иерархию компонентов системы. 5) Она помогает определить ключевые или системообразующие компоненты и элементы.

На практике применяют три вида классификаций: феноменологическая, характерологическая и содержательная [16]. Феноменологическая классификация осуществляется по наиболее выраженным внешним: идентификационным или формальным признакам. При этом идентификационные признаки могут не относиться к существенным признакам объектов. Эта классификация свойственна начальным стадиям систематизации. Такого рода классификации близки к дескрипторным классификациям.

Характерологическая классификация осуществляется по наиболее выраженным внутренним признакам, являющихся скрытыми причинами существенных свойств объектов. Такого рода классификации близки к онтологическим классификациям.

Сущностная или содержательная классификация осуществляется по связанной системе внешних и внутренних сущностных признаков объектов. Такую классификацию также называют эссенциологической.

Делимость системы на компоненты, как и делимость системы на элементы, может быть различной. При стратифицированном подходе можно выделять компоненты уровня иерархий [17].

Компоненты одного уровня иерархии системы образуют её субстанциальный фрагмент. Имманентные свойства такого фрагмента можно изучать, не рассматривая межуровневые отношения. Если эти свойства устойчивы и сложились именно в данной системе, то они являются существенными. Возможна субстанциальная классификация компонентов любого уровня системы, относящаяся к одной из классификаций.

Субстанциальную парадигматическую классификацию компонентов системы можно построить посредством сопоставления компонентов определённого уровня системы, используя меры сходства/различия их имманентных свойств. Такая классификация является родовидовой, в которой каждому компоненту соответствуют свой узел иерархической модели и парадигматическая значимость.

Знание имманентных субстанциальных свойств компонентов позволяет выявить их предрасположенность к определённым видам взаимодействия с другими компонентами другого уровня. На основе этого можно определить способности компонентов данного уровня к вступлению в синтагматические связи с компонентами другого (соседнего) уровня. Эти связи называют валентными свойствами компонентов. Для иерархических систем они определены правилом «один ко многим».

Валентные свойства характеризуют межуровневые связи компонентов. Они тоже могут стать основанием для построения структуры системы. Они могут стать основанием для валентностной парадигматической родовидовой классификации. Основой представлений о валентностных характеристиках компонентов являются знания об их имманентных субстанциальных свойствах.

**Выводы.** Применение системного подхода к изучению пространственных объектов и явлений позволяет создавать обоснованный категорийно-понятийный аппарат. Сложные системы в геоинформатике характеризуются внутренней и внешней детерминантой.

Наличие функций пространственных объектов и информационных взаимодействий обуславливает введение и применение различных функциональных информационных единиц. Описание этих информационных единиц много шире чем описание в рамках теории информации по К.Э. Шеннону. Они требуют привлечения теории информации по Флориди, вопросов семантики, семиотики, когнитологии и пр. Пространственный объект как система характеризуется не только разными функциями, но и разными группами информационных единиц. Сущностная (эссенциологическая) классификация, кроме основной классификационной задачи, решает несколько дополнительных задач. Парадигматические отношения позволяют строить объекты иерархии на каждом уровне стратифицированного описания системы.

### **Примечания:**

1. Майоров А.А. Состояние и развитие геоинформатики // Международный научно-технический и производственный журнал «Науки о Земле». 2012. Выпуск 03. С. 11-16.
2. Иванников А.Д., Кулагин В.П., Мордвинов В.А, Найханова Л.В., Овезов Б.Б., Тихонов А.Н., Цветков В.Я. Получение знаний для формирования информационных образовательных ресурсов. М.: ФГУ ГНИИ ИТТ «Информика», 2008. 440 с.
3. Tsvetkov V.Ya. Semantic Information Units as L. Floridi's Ideas Development // European Researcher, 2012, Vol.(25), № 7, p. 1036-1041.
4. Цветков В.Я. Разработка и исследование моделей и методов семантического управления интенсифицированными потоками мультимедиа в образовательном пространстве. М. ФГБОУ МГТУ МИРЭА, 2013. 178 с., электронное издание, номер государственной регистрации 0321302879 от 28 июня 2013 года.
5. Tsvetkov V.Ya. Information Situation and Information Position as a Management Tool // European Researcher, 2012, Vol.(36), № 12-1, p. 2166-2170.
- 6 Tsvetkov V.Ya. Spatial Information Models // European Researcher, 2013, Vol.(60), № 10-1, p. 2386-2392.
7. Tsvetkov V.Ya. Multipurpose Management// European Journal of Economic Studies 2012, Vol.(2), № 2. p. 140-143.
8. Тихонов А.Н., Иванников А.Д., Соловьёв И.В., Цветков В.Я., Кудж С.А. Концепция сетцентрического управления сложной организационно-технической системой. М.: МаксПресс, 2010. 136 с.
9. Цветков В.Я. Информационные единицы сообщений // Фундаментальные исследования. 2007, №12. С. 123-124.
10. Tsvetkov V.Ya. Information objects and information Units // European Journal of Natural History. 2009. № 2. p. 99.
11. Иванников А.Д., Тихонов А.Н., Цветков В.Я. Основы теории информации. М., 2007.
12. Цветков В.Я. Обработка информации с учетом семантического содержания // Вестник Московского государственного областного университета. 2012. №3. С. 152-155.
13. Цветков В.Я. Семантика информационных единиц // Успехи современного естествознания. 2007. № 10. С. 103-104.
14. Метафизика. *Аристотель*. Сочинения. В 4 т. (Серия «Философское наследие») Т. 1. М.: Мысль, 1975—1983. 552 с.
15. Kuja S.A., Solovjev I.V., Tsvetkov V.Y. System Elements Heterogeneity // European Researcher, 2013, Vol.(60), № 10-1, p. 2366-2373.
16. Цветков В.Я. Формальная и содержательная классификация // Современные наукоёмкие технологии. 2008. № 6. С. 85-86.
17. Месарович М., Мако Д., Такахага Н. Теория иерархических многоуровневых систем. М.: Мир, 1973. 344 с.

УДК 001.51: 528: 001.891.3

### **Системный анализ в геоинформатике**

Виктор Яковлевич Цветков

Национальный исследовательский университет высшая школа экономики, Россия  
Доктор технических наук, профессор  
E-mail: cvj2@mail.ru

**Аннотация.** В статье раскрывается применение системного подхода к анализу пространственных явлений и объектов. Понятие система используется для обобщенного описания пространственных объектов, пространственных явлений и пространственных процессов. Раскрывается понятие внутренней и внешней детерминанты пространственного объекта как системы. Раскрываются функции и информационные единицы системы, описывающей пространственные объекты. Показано значение классификации как инструмента описания пространственных объектов.

**Ключевые слова:** системный анализ; геоинформатика; структурная вложенность; эмерджентность; детерминанта; парадигматические отношения; информационные единицы.