

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
"МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"  
ФАКУЛЬТЕТ АРКТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ**  
МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
(Мурманск, 4–8 апреля 2016 г.)  
Часть 2

Мурманск  
Издательство МГТУ  
2016

УДК 001: [5+62] (08)

ББК 20+3я431

Н 34

Редакционная коллегия:

*М. В. Васеха*, канд. техн. наук;

*С. В. Власова*, д-р филос. наук, доцент;

*М. А. Волков*, канд. физ.-матем. наук, доцент (ответственный за выпуск);

*С. Ю. Буряченко*, заведующая кафедрой;

*Н. Е. Козлов*, д-р геол.-минерал. наук, профессор;

*В. С. Малышев*, канд. техн. наук, доцент;

*О. А. Федорова*, канд. техн. наук, доцент

Н 34 Наука и образование в Арктическом регионе : мат. междунар. науч.-практ. конф., Мурманск, 4–8 апреля 2016 г. : в 2 ч. Ч. 2 / Федер. гос. бюджетное образоват. учреждение высш. проф. образования "Мурм. гос. техн. ун-т". – Мурманск : Изд-во МГТУ, 2016. – 188 с. : ил.

ISBN 978-5-86185-916-5 (общ.)

ISBN 978-5-86185-918-9 (ч. 2)

В сборнике опубликованы доклады участников Международной научно-практической конференции "Наука и образование в Арктическом регионе", которая состоялась 4–8 апреля 2016 г. в Мурманском государственном техническом университете.

Издание предназначено для научных, научно-педагогических работников, докторантов, аспирантов, специалистов, ведущих научные исследования по направлениям работы конференции.

УДК 001: [5+62] (08)

ББК 20+3я431

© Мурманский государственный  
технический университет, 2016

ISBN 978-5-86185-916-5 (общ.)

ISBN 978-5-86185-918-9 (ч. 2)

## СОДЕРЖАНИЕ

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА .....	6
К вопросу о строительстве нефтеналивного терминала "Лавна" .....	7
Герасимова О. В.	
The submarine for oil and gas field development in ice-infested region .....	11
Городишенин А. А.	
Вычисление упругих характеристик ребристых пластинок, из композиционных материалов применяемых при большом перепаде температуры.....	17
Дарбинян А. З., Аракелян Л. П.	
Об устойчивости обсадных колонн для крепления нефтяных и газовых скважин .....	24
Джамалова Э. Б.	
Формирование туристских дестинаций в Арктике .....	29
Колесникова Н. В.	
Анализ падения давления в модели полосообразной залежи при движении газовой смеси .....	34
Коротаев Б. А., Еремеев И. В.	
Теплоемкость и тепловое расширение жидкостей (воды и гелия-4).....	38
Путинцев Н. М., Путинцев. Д. Н.	
Особенности транспорта смеси газ-газоконденсат в Арктических условиях по подводному трубопроводу. ....	42
Шишко А. Л.	
ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ: ИЗУЧЕНИЕ ОПЫТА И РАЗВИТИЕ НОВЫХ НАПРАВЛЕНИЙ .....	49
Разработка жаростойких бетонов на основе вспучивающихся сланцев Мурманской области.....	50
Бастрыгина С. В., Конохов Р. В.	
Влияние способа измельчения угля на структуру и свойства водоугольного топлива .....	56
Белогурова Т. П., Миханошина И. А.	

Повышение прочности и долговечности материалов из древесины.....	61
Глушко Е. Н.	
Получение гранулированного серпентинито-магнезита с применением смесителя-гранулятора периодического действия.....	68
Иванова Т. К., Кременецкая И. П.	
Новые возможности повышения прочности строительных древесно-цементных материалов и уменьшения расхода цемента для условий Арктики.....	74
Колесников Г. Н., Андреев А. А., Чалкин А. А.	
Интегральная жесткость железобетонной балки с трещинами .....	79
Котов А. А.	
Технико-экономические показатели эффективности применения ограждающих конструкций стен из легкобетонных блоков в малоэтажном строительстве.....	85
Кузьменков А. А.	
Технико-экономическая оценка ограждающих конструкций стен малоэтажных жилых зданий .....	92
Кузьменков А. А., Девятникова Л. А.	
Способы улучшения свойств блочных теплоизоляционных материалов из техногенного сырья.....	100
Манакова Н. К., Суворова О. В.	
Особенности пропаривания многослойного полистиролгазобетона.....	105
Пак А. А., Сухорукова Р. Н.	
Особенности структуры заполнителя древесно-цементного композита, применяемого для изготовления строительных блоков.....	110
Титова С. А.	
Технологические аспекты использования мезопористого кремнезема в составе цементных композиций .....	115
Тюкавкина В. В., Касиков А. Г., Гуревич Б. И.	
ЭНЕРГЕТИКА И ТРАНСПОРТ .....	121
Технология измерения эмиссии "черного углерода" в отработавших газах стационарных дизельных установок и котельных.....	
122	
Баринов А. С.	
Принципы реализации интеллектуальных систем для обеспечения безопасности процесса перевозок .....	127
Баус М. С.	
Мероприятия по энергосбережению при промышленном выращивании растений.....	132
Блаженкова А. А., Данилова Я. Р., Цикота В. В.	
Логический уровень разработки навигационной системы судна на базе архитектурного подхода.....	138
Бурзун М. С.	

Биоэнергетические аспекты переработки отходов окорки круглых лесоматериалов.....	143
Гаврилов Т. А., Колесников Г. Н.	
Методы формирования матрицы корреспонденций транспортной инфраструктуры города.....	148
Гусев Е. С., Малышев В. С.	
Способы обработки обводненных мазутов в системах топливоподачи стационарных котлов .....	153
Зимнухов Е. Н., Малышев В. С., Пантлеев С. П.	
Транспортная связность арктического и субарктического пространства Европейской части России .....	158
Колесников Н. Г.	
Исследование инфильтрационной нагрузки в многоквартирном жилом доме серии 93М.....	164
Куренков В. В.	
Повышение эффективности использования эксплуатируемого теплогенерирующего оборудования.....	171
Малышев В. С., Пантлеев С. П.	
Определение средней температуры наружных ограждений с помощью распространённых программных продуктов, имеющих функцию цветового интегрирования. ....	181
Чепракова Е. Е., Шорников В. П.	

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ  
АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА**

## **К вопросу о строительстве нефтеналивного терминала "Лавна"**

**Герасимова О. В.** (г. Мурманск, ФГБОУ ВПО "Мурманский государственный технический университет", кафедра механики сплошных сред и морского нефтегазового дела, e-mail: ovger@mail.ru)

**Аннотация.** Представлено предложение по обустройству Мурманского транспортного узла, а именно нефтяного терминала.

**Abstract.** The proposal for the construction of the Murmansk oil terminal presented.

**Ключевые слова:** нефтяной терминал, подземный резервуар.

**Key words:** oil terminal, underground storage.

Арктические районы России являются одними из самых богатых энергетическими ресурсами российских территорий. До 25 % мировых запасов нефти и газа сосредоточено на арктическом шельфе, а половина из них на российском арктическом шельфе. В ближайшем будущем "Газпром" запланировал организацию четырех новых газодобывающих и нефтедобывающих районов: Штокмановского, Обско-Тазовского, Приямальского и Печорского. Реализация этого плана позволит, начиная с 2030 г, получать в создаваемых добычных районах не менее 20 млн т нефти и 170 млрд куб. м газа с последующим увеличением добычи газа до 300 млрд куб. м в год [1].

Единственным незамерзающим портом в российской части Баренцева моря является крупнейший в Арктическом бассейне морской порт Мурманск, через который могут осуществляться перевозки грузов как для обустройства и обеспечения разработки прибрежных и шельфовых месторождений, так и для экспорта нефтепродуктов.

На западном берегу Кольского залива в устье реки Лавна московская компания "Синтез" собирается строить нефтеперерабатывающий завод. В километре от него будет создан нефтяной терминал. Проектная мощность первой очереди НПЗ – 6 млн т нефти в год. В дальнейшем эта цифра будет расти. В качестве конечных продуктов планируется получать бензин различных марок, дизельное топливо, мазут и сжиженный газ [3].

Федеральная антимонопольная служба (ФАС) России удовлетворила ходатайство дочерней структуры "Роснефти" – "РН-Актив" – о приобретении 100 % ЗАО "Нефтяной терминал "Лавна" [2].

Нефтяной терминал "Лавна" входит в проект по развитию Мурманского транспортного узла (МТУ).

Реализация данного комплексного проекта основана на распоряжении Правительства РФ от 08.12.2008 г. № 1821-р. Финансирование предусмотрено Федеральной целевой программой "Развитие транспортной системы России (2010–2015 гг.)". Проект "Комплексное развитие Мурманского транспортного узла" – партийный проект партии "Единая Россия". В состав Генплана г. Мурманска включены зоны, планируемые под размещение объектов Мурманского транспортного узла – это контейнерный, угольный и нефтяной терминалы; дистрибуционно-логистический комплекс; координационно-логистический центр; автодорожные подходы к морскому порту Мурманск на восточном берегу Кольского залива (рисунок 1).

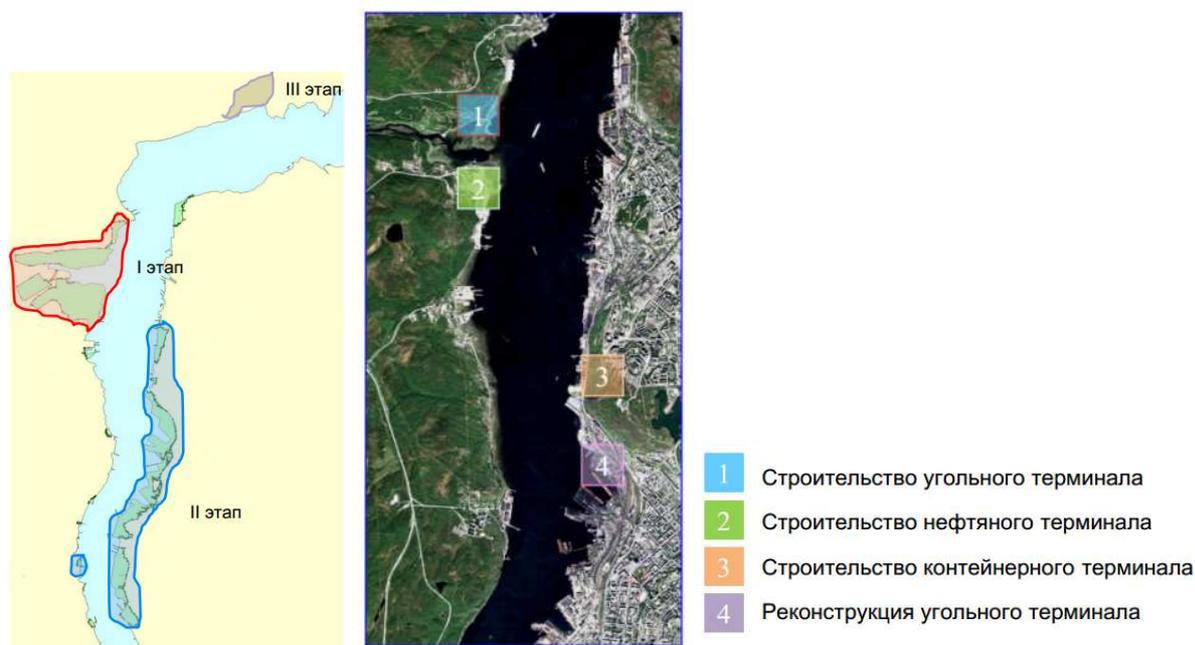


Рисунок 1 – Схема размещения основных объектов МТУ по проекту "Комплексное развитие Мурманского транспортного узла" [2]

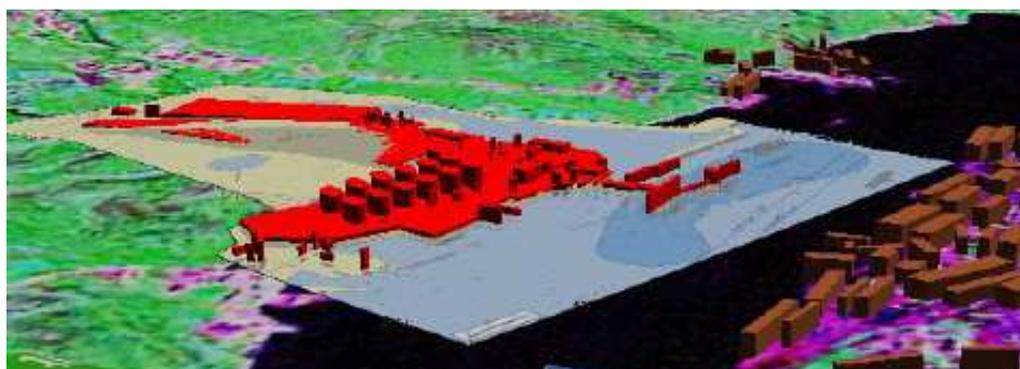


Рисунок 2 – Нефтяной терминал "Лавна" [2]

Предлагается в районе нефтяного терминала "Лавна" создать подземный резервуарный парк для хранения нефтепродуктов, работа которого основана на технологии хранения с использованием принципа работы сообщающихся сосудов заполненных несмешивающимися жидкостями с различной плотностью (рисунки 3, 4):

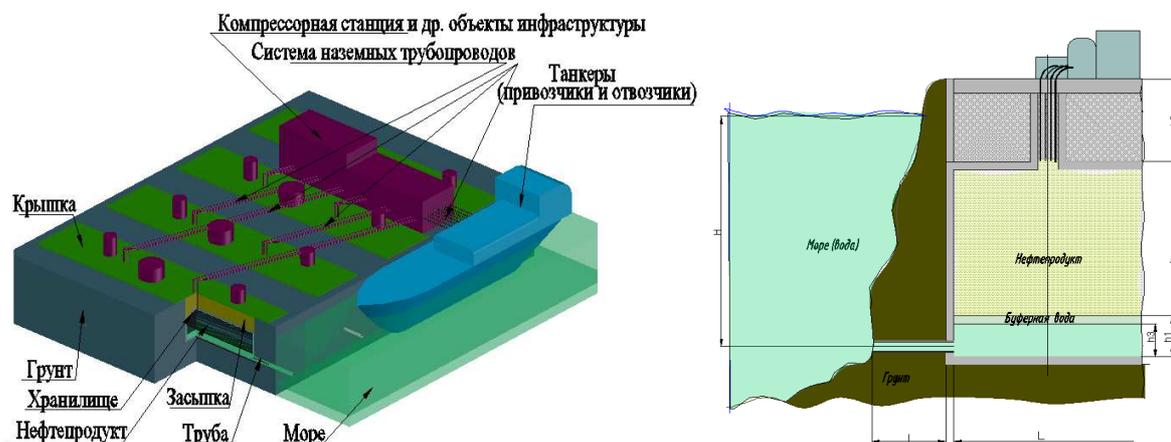


Рисунок 3 – Конструкция подземного резервуара

Различные жидкости	
Наименование жидкости	Плотность жидкости $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>
Бензин	750
Керосин	800
Нефть	820...920
Вода морская	1 025

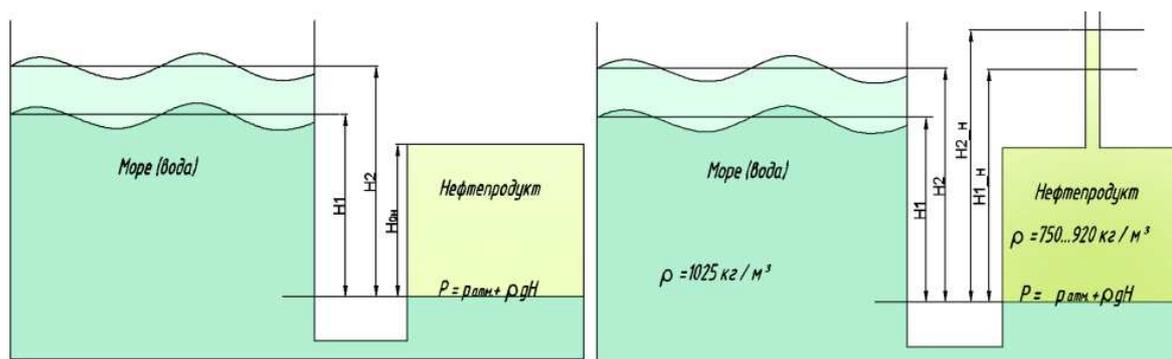


Рисунок 4 – Схемы работы предлагаемого резервуара

Нефтепродукт в резервуаре находится под гидростатическим давлением столба морской воды и как следствие, не испаряется. Если в сообщающиеся сосуды налиты жидкости с различной плотностью, уровни жидкости в сосудах будут разными, и в результате при открытии клапана "на выход" нефтепродукт будет самотёком поступать на береговую станцию (рисунок 4).

Использование предлагаемой конструкции резервуаров позволит решить ряд проблем, например:

- исключить потери нефтепродуктов от испарения;
- сэкономить энергоресурсы на отбор нефтепродуктов из резервуара;
- предотвратить влияния температурных колебаний внешней среды;
- решить экологическую проблему, исключив возможность разлива нефтепродуктов.

### **Библиографический список**

1. О компании Газпром Нефть [Электронный ресурс] : CL-GazpromNeft-Arctic-Gas.pdf // Режим доступа: <http://changellenge.com/wp-content/uploads/2014/03/CL-GazpromNeft-Arctic-Gas.pdf>

2. "Роснефть" покупает терминал "Лавна" [Электронный ресурс] //. Режим доступа: [http://www.arctic-info.ru/news/27-11-2015/-rosneft\\_--рокурует-terminal--lavna](http://www.arctic-info.ru/news/27-11-2015/-rosneft_--рокурует-terminal--lavna)

3. На западном берегу залива построят НПЗ и нефтяной терминал [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.b-port.com/smi/5/1890/35969.html#ixzz45KCyHhs6>

## **The submarine for oil and gas field development in ice-infested region**

**Городишенин А. А.** (*г. Москва, Российский государственный университет нефти и газа им. И. М. Губкина; г. Ставангер (Норвегия), Университет Ставангера, кафедра освоения морских нефтегазовых месторождений, e-mail: alekseygorod92@gmail.com*)

**Abstract.** The main idea of this paper is to show that submarines can be used as a mothership or, in simple words, carrier for ROVs, which application is very versatile, but main one is the field maintenance during the cycle of production in ice infested regions. Surfacing of the submarine at ice conditions is quite a difficult challenge, but it is the question of emergency situations or necessity of crew changing. This problem is considered here.

**Аннотация.** Данная статья рассказывает о возможности использования подводного флота в качестве корабля-носителя дистанционно-управляемых подводных аппаратов для обслуживания морских месторождений нефти и газа в регионах с ледовым покровом. Всплытие подводной лодки в ледовых условия – очень сложная операция, но порой необходимая в экстремальных ситуациях или для смены команды. Данная статья также рассматривает это.

**Key words:** Submarine. ROV. Break the surface. Ice surfacing. Arctic region. Mothership for ROV. Simulation. Ice strength.

The key area of applicability of the technology is the Russian continental shelf with the ice-infested waters. Nevertheless, the project work is applicable for the entire shelf in general and for the one field in particular [Shtokman gas and condensate field].

The submarine main applications can be summarized as inspection, installation, repair of subsea equipment, maintenance, sub-ice oil spill response.

Some small cargoes can be transported inboard, but some of them can be transported outboard due to lack of space inside the submarine. There come the problems: attached cargo items will be responsible for high additional drag and might cause vortex-induced vibrations. This should be considered when the submarine takes different weight/size cargoes.

The crane can be used to lift or lower subsea modules, which need to be exchanged or installed.

The ROVs will ensure visual control of the operation and will be launched for different manipulative tasks.

Subsea equipment with a maximum weight of 100 t can be lifted from or delivered to the water depth of 1000 m. The submarine will then take a position within the depth of 200–250 m. Thus, no surface effects like ices or waves will disturb the operation. Nevertheless, this does not negate the fact that a subma-

rine has to ascend to replenish supplies and change the crew. DP (dynamic position) system will be responsible for holding in place.

The submarine also has a spill detections system and if the spill happens it is very important to stop the leakage. The capping stack will be deployed, but it has to have small weight and sizes due to lack of space and weight. Thus, 15 kpsi capping stack is perfect. It can be lowered to the wellhead by the gantry crane. The installation operation will be performed by the ROVs. In order to remove spilled oil, the dispersants can be used with help of ROVs [6].

First of all, it was decided that the submarine has to be capable of staying underwater for a long period without surfacing due to length of some operations and to ice-infested waters. Thus, diesel submarines can't be used here because of the oxygen refill requirement, so they have to come to the surface every 30–40 hours. Nuclear submarines are not suitable due to its dangerous, especially if they operate near to the oil and gas wells. Thereby, the submarines running on the diesel-sterling-electric engine will be great option. Thus, the real submarine is taken for the concept but with the different location of the objects inside.

So, here are the main characteristics of the Japanese submarine The *Sōryū*-class (16SS):

Table 1 – Submarine Characteristics [1]

Length, (m)	Beam, (m)	Draught, (m)	Submersion, (m)	Complement	
84	9,1	8,5	275	65	
Speed, kn		Propulsion		Displacement, t	
Submerged	Surfaced	Submerged	Surfaced	Submerged	Surfaced
20	13	4 × Kawasaki Kockums V4-275R Stirling engines 6000 kW	1-shaft 2 × Kawasaki 12V 25/25 SB-type diesel engines diesel-electric 2900 kW	4 200	2 900

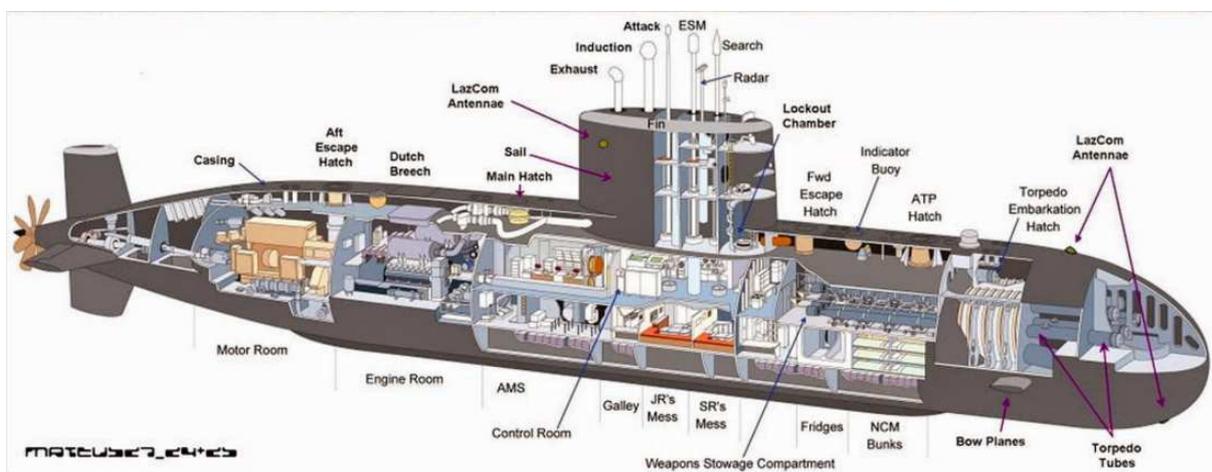


Figure 1 – The *Sōryū*-class submarine [2]

One of submarine`s many instruments measures the thickness of ice. Submarine`s sensor package is moored on the ocean floor and quietly sends out a single ping every few seconds. Think of this ping as the sound you make when you tap your desk with a finger. The sound travels from the desk to your ear where you hear it, because your inner ear has a drum that picks up the vibrations that the tapping makes when it hits your eardrum. Well, the ice-profiling sonar sends out this ping that travels through the water to the ice above, bounces off the ice, and returns to the sensor. We then measure the time it takes for a ping to travel to the ice and back. If we know the speed of sound in the water, if we know the density of the water, if we know the pointing direction of the sonar, and if we know how much water is above our sensor, then we can estimate the thickness of the ice [7].

The Ministry of Defense (Japan) designation for the Oyashio and Soryu steel is NS80 and NS110. NS80 can be deciphered as proof stress of 80 kgf/mm<sup>2</sup> or 784 MPa. In another words, NS80 is 114 000 lbf/in<sup>2</sup> or HY-114. Same for NS110 – 110 kgf/mm<sup>2</sup> = 1 079 MPa = 156 000 lbf/in<sup>2</sup> or HY-156.

So, there can be two assumptions: it is “sandwich” of the two grades or different parts in the hull use different grades.

Thus, “In terms of depth HY156 for the Soryu may indicate an operating depth of just over 600 m with a “crush depth” much deeper than that” [3]

Mainly, we don`t need such strong steel parameters with present wall thickness because 300 m depth submersion is more than enough to operate with help of ROVs. Moreover, the major submarine purpose is Shtokman gas and condensate field with depths is around 310–380.

We don`t know wall thickness of our submarine due to military secret but it should be reduced and calculated on the basis of our material assumptions. So, with knowledge of the maximum submersion depth with the von Mises yield criterion:

$$\sigma_y = \eta_{safety} \sigma_{vM}; \sigma_{vM} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1 \sigma_2 - \sigma_1 \sigma_3 - \sigma_2 \sigma_3}. \quad (1)$$

Diameter of the hull  $\gg$  wall thickness, thus we can use this equation. The principal stress for a cylinder:

$$\sigma_1 = \sigma_r = 0; \quad \sigma_2 = \sigma_t = -\frac{r}{t} P; \quad \sigma_{32} = \sigma_z = -\frac{r}{2t} P. \quad (2)$$

Till  $t/r > 0$  we can use this formulas. Lets put (2) in (1):

$$\sigma_{vM} = P \frac{r\sqrt{3}}{2t}.$$

Finally, we can get equation for the wall thickness:

$$t = P \frac{r\sqrt{3}}{2\sigma_{vM}}. \quad (3)$$

Calculation result for HY-130 (well-known steel and something average between HY-116 and HY-156:

Table 2 – Results of the wall thickness calculations

Parameter	Symbol	Value
Operating pressure	P	2.94 Mpa
Safety margin	$\eta_{safety}$	2
Yield Srength	$\sigma_y$	900 Mpa
Hull radius	r	9.1 m
Hull thickness(safety margin included)	t	52 mm

Now, we know required wall thickness with present materials approximately, nevertheless another way is to change our steel, but due to lack of data it is not possible to calculate what specific grade of steel we need.

The main idea is that highest stresses affect the sail of the submarine during the sail-ice interaction and a hull doesn't have so many problems with that.

The hull and sail have a deal with an average ice thickness of 1 m in the Barents region. So, the failure of a material is usually classified into brittle failure (fracture) or ductile failure (yield). Depending on the conditions (such as temperature, state of stress, loading rate) most materials can fail in a brittle or ductile manner or both. However, for most practical situations, a material may be classified as either brittle or ductile. Ice can be considered as brittle material, thus next things should be right:

1. Relatively little plastic deformation.
2. Crack is unstable: propagates fast without increase in applied stress.
3. Low energy absorption before fracture.
4. Crack propagates almost perpendicular to the direction of applied stress.

We decided to take September as a month for our project. Therefore, according to figure 5 ice thickness is 1 m and our temperature is around -10 degrees Celsius. Such processes are not so easy to calculate, thus, it was decided to use ANSYS – an american computer software for engineering with finite ele-

ment analysis, structural analysis, computational fluid dynamics, Explicit and implicit methods, and heat transfer. The hull material properties were taken for steel HY-130 and the calculated wall thickness was applied [4] [5].

Nevertheless, due to incompleteness of results it was decided to make simulation of full submarine with its all sizes and near geometry.

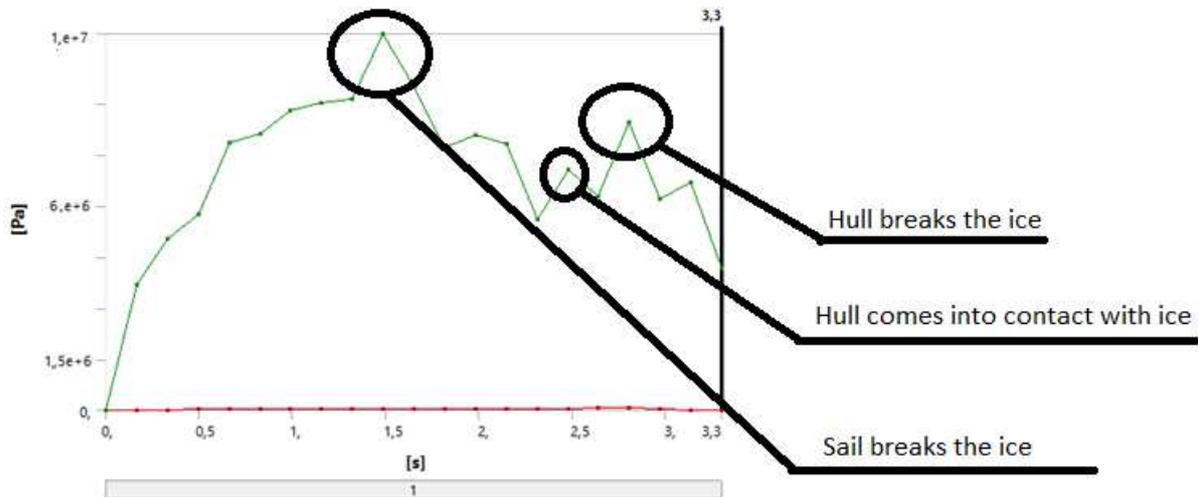


Figure 2 – Graph of the equivalent stress (von-Mises)

As you can see from the analyzed graph, the highest stress is in the sail as it was expected, but let us look at the Figure 11.

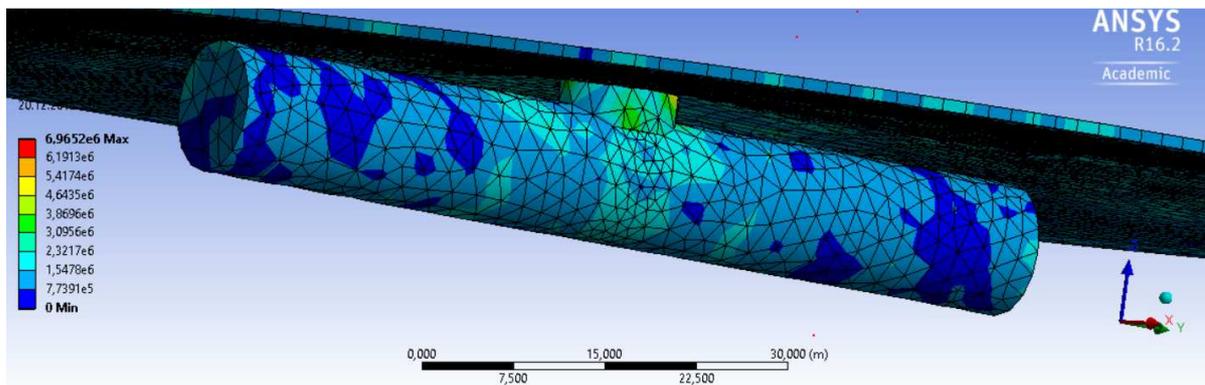


Figure 3 – Final stage of submarine modeling (Equivalent stresses for submarine)

Such stresses are quiet easy to withstand for this submarine. The second picture (Fig 12) proves this statement: no deformations in the hull of the submarine.

Nevertheless, we should understand the fact that the highest stresses in the sail and the whole hull part to the bottom under the sail. Those places have to be fortified if we plan to avoid problems. Steel HY-156 or “sandwich” of HY-156 and higher steel grade is a good solution.

The next figure proves that there is no deformation in the submarine hull during submarine surfacing through ice with 1 m thickness:

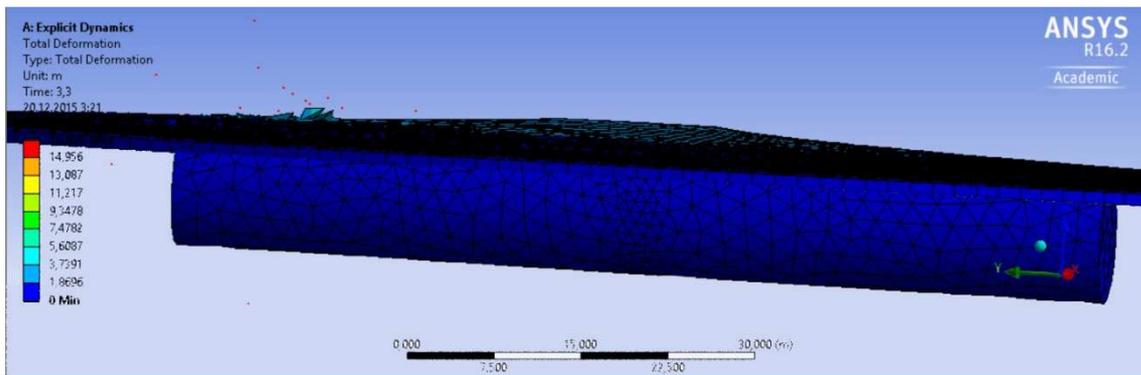


Figure 4 – Final stage of submarine modeling (deformations)

Another simulation was done for the ice thickness 3.2 m:

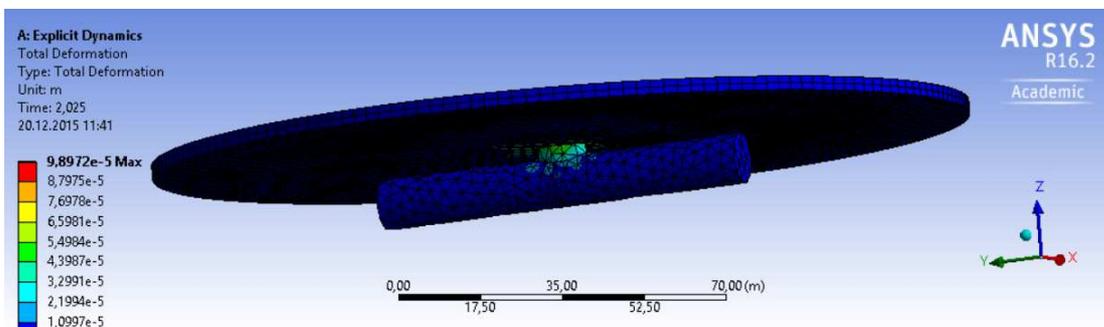


Figure 5 – Submarine modeling (deformations) 3.2 m ice thickness.

The deformation of the sail and hull are presented. They are not so big, but somehow influence the submarine.

## Reference

1. Soryu class submarine: available at: [http://www.military-today.com/navy/soryu\\_class.htm](http://www.military-today.com/navy/soryu_class.htm) (accessed 14 November 2015).
2. DMR Editorial 020215: Of Sub Concern: Available at: <http://defensemediareview.com/2015/02/02/dmr-editorial-020215-of-sub-concern>(accessed 17 November 2015).
3. Soryu submarine – Japan offer to Australia: available at (1 December 2015)<http://gentle seas.blogspot.no/2015/01/japan-offer-to-australia-soryu.html>
4. [https://en.wikipedia.org/wiki/Material\\_failure\\_theory](https://en.wikipedia.org/wiki/Material_failure_theory)
5. Chapter online: failure: available at (15 December 2015): <http://people.virginia.edu/~lz2n/mse209/Chapter8.pdf>
6. Gorodishenin Aleksei, Concept design of the submarine for oil and gas fields development, OFF600 project, December 2015.
7. <http://icyseas.org/2014/05/30/measuring-ice-thickness-from-the-ocean/>

**Вычисление упругих характеристик ребристых пластинок,  
из композиционных материалов, применяемых  
при большом перепаде температуры**

**Дарбинян А. З., Аракелян Л. П.** (г. Мурманск, ФГБОУ ВПО "Мурманский государственный технический университет", кафедра механики сплошных сред и морского нефтегазового дела, e-mail: darbinyan1954@mail.ru, lemon5645@yandex.ru)

**Аннотация.** Рассматривается многослойная прямоугольная пластинка, изготовленная из композиционного материала и усиленная по двум противоположным кромкам ребрами жесткости. Определяется напряженно-деформированное состояние пластинки при одновременном действии поперечной нагрузки и температурного поля. Произведена численная реализация задачи.

**Abstract.** We consider a multi-layer rectangular plate made of a composite material and reinforced by two opposite edges of the ribs. It determines the stress-strain state of the plate, while the action of transverse load and temperature field. Produced numerical implementation tasks.

**Ключевые слова:** напряжение, ребро, композитный, температура, пластина.

**Key words:** oltage, edge, composite, temperature, plate.

Рассматривается задача изгиба прямоугольной пластинки размерами  $a \times b \times h$ , шарнирно опертой по продольным кромкам  $y = 0$ ,  $y = b$  и подкрепленной ребрами жесткости сечением  $\gamma h_r \times h_r$  на свободных краях  $x = \pm a/2$  (представлено на рисунке 1), под действием поперечной нагрузки  $q(x, y)$  при наличии стационарного температурного поля  $T(x, y, z)$ . Задача термоупругости однослойной ортотропной ребристой пластинки рассмотрена в работе [1]. Здесь предполагается, что пластинка составлена из нечетного числа  $(2n + 1)$  слоев, симметрично расположенных относительно срединной плоскости пластинки (представлена на рисунке 2). Слои пластинки изготовлены из монослоев композиционного материала (КМ), поочередно уложенных под углами  $\varphi_s$  к оси  $x$  абсцисс, а в ребрах монослои КМ уложены вдоль оси  $y$ .

Рассматриваемую пластинку можно считать слоистой ортотропной, для которой уравнение изгиба пластинки при наличии температурного поля имеет вид [2, 3]

$$D_{11} \frac{\partial^4 w(x, y)}{\partial x^4} + 2(D_{12} + 2D_{66}) \frac{\partial^4 w(x, y)}{\partial x^2 \partial y^2} + D_{22} \frac{\partial^4 w(x, y)}{\partial y^4} + \frac{\partial^2 R_{1t}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 R_{2t}}{\partial y^2} = q(x, y), \quad (1)$$

где

$$D_{ik} = \frac{2}{3} \left[ B_{ik}^{n+1} h_{n+1}^3 + \sum_{s=1}^n B_{ik}^s (h_s^3 - h_{s+1}^3) \right] \quad (i, k = 1, 2, 6), \quad (2)$$

$$h_s = \frac{h}{2} - \sum_{j=1}^{s-1} \delta_j,$$

$$R_{it} = 2 \left[ B_{it}^{n+1} \int_0^{h_{n+1}} Tz dz + \sum_{s=1}^n B_{it}^{n+1} \int_{h_{s+1}}^{h_s} Tz dz \right] \quad (i = 1, 2). \quad (3)$$

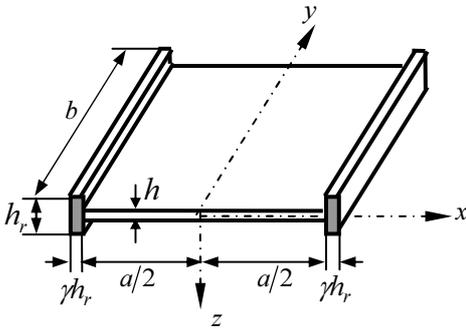


Рисунок 1 – Расчетная схема пластинки

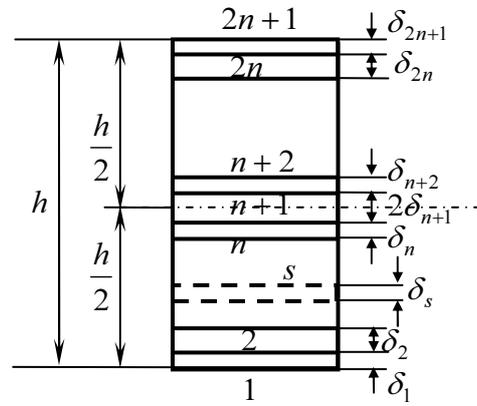


Рисунок 2 – Структура пластинки

Упругие характеристики слоев пластинки в ее главных геометрических направлениях  $B_{ik}^s$  ( $i, k = 1, 2, 6$ ) определяются через характеристики в главных физических направлениях  $B_{ik}^0$  по формулам [2]:

$$B_{11}^s = B_{11}^0 \cos^4 \varphi_s + 2(B_{12}^0 + 2B_{66}^0) \sin^2 \varphi \cos^2 \varphi_s + B_{22}^0 \sin^4 \varphi_s$$

$$B_{22}^s = B_{22}^0 \cos^4 \varphi_s + 2(B_{12}^0 + 2B_{66}^0) \sin^2 \varphi \cos^2 \varphi_s + B_{11}^0 \sin^4 \varphi_s$$

$$B_{12}^s = B_{12}^0 + \left[ B_{11}^0 + B_{22}^0 - 2(B_{12}^0 + 2B_{66}^0) \sin^2 \varphi \cos^2 \varphi_s \right]$$

$$B_{66}^s = B_{66}^0 + \left[ B_{11}^0 + B_{22}^0 - 2(B_{12}^0 + 2B_{66}^0) \sin^2 \varphi \cos^2 \varphi_s \right]$$

где

$$B_{11}^0 = \frac{E_1}{1 - \nu_1 \nu_2}, \quad B_{22}^0 = \frac{E_2}{1 - \nu_1 \nu_2}, \quad B_{12}^0 = \frac{E_1 \nu_2}{1 - \nu_1 \nu_2}, \quad B_{66}^0 = G.$$

$E_1, E_2, G, \nu_1, \nu_2$  – модули упругости и сдвига, коэффициенты Пуассона ортотропного КМ.

Коэффициенты  $B_{ii}^s$  ( $i = 1, 2$ ) определяются по формулам [4]:

$$B_{1i}^s = (B_{11}^0 \alpha_{1i} + B_{12}^0 \alpha_{2i}) \cos^2 \varphi_s + (B_{12}^0 \alpha_{1i} + B_{22}^0 \alpha_{2i}) \sin^2 \varphi_s$$

$$B_{2i}^s = (B_{11}^0 \alpha_{1i} + B_{12}^0 \alpha_{2i}) \sin^2 \varphi_s + (B_{12}^0 \alpha_{1i} + B_{22}^0 \alpha_{2i}) \cos^2 \varphi_s$$

где  $\alpha_{1i}$  и  $\alpha_{2i}$  – коэффициенты температурного линейного расширения КМ.

Предполагая, что изменение температуры по толщине пластины следует линейному закону и что в плоскостях, параллельных поверхностям пластинки, температура остается постоянной, т. е.

$$T(x, y, z) = 2zT_0 / h, \quad (4)$$

выражение (3) приведет к виду

$$R_{ii} = 2 \frac{T_0}{h} D_{ii}, \quad (5)$$

где

$$D_{ii} = \frac{2}{3} \left[ B_{ii}^{n+1} h_{n+1}^3 + \sum_{s=1}^n B_{ii}^s (h_s^3 - h_{s+1}^3) \right] \quad (i = 1, 2). \quad (6)$$

Граничные условия пластинки запишутся в виде:  
шарнирного опирания на кромках  $y = 0, y = b$

$$w = 0, \quad D_{22} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + D_{12} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + R_{2i} = 0 \quad \text{при } y = 0, y = b, \quad (7)$$

симметрии на линии  $x = 0$

$$\frac{\partial w}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial^3 w}{\partial x^3} = 0 \quad \text{при } x = 0 \quad (8)$$

упругого опирания на ребра жесткости

$$C \frac{\partial^3 w}{\partial x \partial y^2} = D_{11} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + D_{12} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + R_{1i}$$

$$E_1 J \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = D_{11} \frac{\partial^3 w}{\partial x^3} + (D_{12} + 4D_{66}) \frac{\partial^3 w}{\partial x \partial y^2} \quad \text{при } x = \frac{a}{2} \quad (9)$$

где  $C = G\gamma h_r^4 \beta$  – жесткость ребра при кручении,  $J = \gamma h_r^4 / 12$  – момент инерции ребра,  $\beta = \gamma^2 \left[ \frac{1}{3} - \frac{64}{\pi^5} \gamma \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{1}{n^5} \frac{\pi n}{2\gamma} \right]$ .

Предполагая, что функция нагрузки  $q$  зависит только от  $y$  и разложив ее в ряд

$$q = \sum_1^{\infty} q_k \sin \lambda_k y, \quad q_k = \frac{2}{b} \int_0^b q \sin \lambda_k y dy, \quad \lambda_k = \frac{\pi k}{b},$$

решение уравнения (1), удовлетворяющее условиям (7), представляется в виде [3]

$$w = 0.5 \frac{R_{2t}}{D_{22}} y(b-y) + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{q_k}{D_{22} \lambda_k^4} \sin \lambda_k y + \sum_{n=1}^{\infty} f_k(x) \sin \lambda_k y. \quad (10)$$

Подстановка (10) в уравнение (1) приводит к следующим последовательным обыкновенным дифференциальным уравнениям относительно искомым функций  $f_k(x)$

$$D_{11} f_k^{IV} - 2(D_{12} + 2D_{66}) \lambda_k^2 f_k'' + D_{22} \lambda_k^4 f_k = 0. \quad (11)$$

Решение уравнений (11) представляется в виде:

$$f_k(x) = \sum_{i=1}^4 C_{ik} e^{r_i \lambda_k x}. \quad (12)$$

Здесь  $r_i$  – корни соответствующего характеристического уравнения:

$$D_{11} r^4 - 2D_3 r^2 + D_{22} = 0, \quad (13)$$

где  $D_3 = D_{12} + 2D_{66}$ .

В зависимости от значений жесткостей пластинки  $r_i$  могут принимать как вещественные, так и комплексные значения, и соответственно решение однородного уравнения (11) будет иметь различные представления:

1) при  $D_3^2 - D_{11} D_{22} < 0$ ,  $r = \pm(\alpha \pm i\beta)$ , где

$$\alpha = \sqrt{\frac{\sqrt{D_{11} D_{22}} + (D_{12} + 2D_{66})}{2D_{11}}}, \quad \beta = \sqrt{\frac{\sqrt{D_{11} D_{22}} - D_3}{2D_{11}}}$$

и выражение (12) с учетом (8) представится в виде:

$$f_k(x) = c_{1k} \operatorname{sh} \alpha \lambda_k x \sin \beta \lambda_k x + c_{2k} \operatorname{ch} \alpha \lambda_k x \cos \beta \lambda_k x; \quad (14)$$

2) при  $D_3^2 - D_{11}D_{22} < 0$ ,  $r_{1,2} = \pm m_1$ ,  $r_{3,4} = \pm m_2$ , где

$$m_1 = \sqrt{\frac{D_3 + \sqrt{D_3^2 - D_{11}D_{22}}}{D_{11}}}, \quad m_2 = \sqrt{\frac{D_3 - \sqrt{D_3^2 - D_{11}D_{22}}}{D_{11}}},$$

$$f_k(x) = c_{1k} \operatorname{ch} m_1 \lambda_k x + c_{2k} \operatorname{ch} m_2 \lambda_k x; \quad (15)$$

3) при  $D_3^2 - D_{11}D_{22} = 0$ ,  $r_i = \pm m_0$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ), где  $m_0 = \sqrt{D_3/D_{11}}$ ,

$$f_k(x) = c_{1k} \operatorname{ch} m_0 \lambda_k x + c_{2k} x \operatorname{sh} m_0 \lambda_k x \quad (16)$$

Коэффициенты  $c_{1k}$  и  $c_{2k}$  определяются из граничных условий (9), которые с учетом (10) и разложения

$$1 = \sum_{k=1}^{\infty} a_k \sin \lambda_k y, \quad a_k = \frac{2}{\pi k} [1 - (-1)^k]$$

приводятся к виду

$$D_{11} f_k'' + C \lambda_k^2 f_k' - D_{12} \lambda_k^2 f_k = \frac{q_k}{\lambda_k^2} \frac{D_{12}}{D_{22}} + \left( \frac{D_{12}}{D_{22}} R_{2t} - R_{1t} \right) a_k \quad \text{при } x = \frac{a}{2}. \quad (17)$$

$$D_{11} f_k''' - (D_{12} + 4D_{66}) \lambda_k^2 f_k' - E_1 J \lambda_k^4 f_k = E_1 J \frac{q_k}{D_{22}}$$

где функция  $f_k(x)$ , в зависимости от значения  $D_3^2 - D_{11}D_{22}$ , определяется из выражений (14)–(16).

После определения коэффициентов  $c_{1k}$  и  $c_{2k}$  функция прогибов определится из (10) а внутренние усилия – по формулам

$$M_1 = - \left( D_{11} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + D_{12} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + R_{1t} \right) \quad M_2 = - \left( D_{12} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + D_{22} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + R_{2t} \right),$$

$$H = -2D_{66} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y},$$

$$N_1 = - \left[ D_{11} \frac{\partial^3 w}{\partial x^3} + (D_{12} + 2D_{66}) \frac{\partial^3 w}{\partial x \partial y^2} \right], \quad (18)$$

$$N_2 = - \left[ D_{22} \frac{\partial^3 w}{\partial y^3} + (D_{12} + 2D_{66}) \frac{\partial^3 w}{\partial x^2 \partial y} \right].$$

Здесь  $M_1$  и  $M_2$  – изгибающие моменты,  $H$  – крутящий момент,  $N_1$  и  $N_2$  – поперечные силы.

Численные расчеты проведены для квадратной ( $a = b = 1\text{ м}$ ) трехслойной ( $\delta_1 = \delta_3 = 0.15h$ ,  $\delta_2 = 0.35h$ ) пластины, усиленной ребрами размерами  $h_r = 0.2h$ ,  $\gamma = 0.2$ , при постоянной нагрузке  $q = q_0 = 1\text{ м}/\text{м}^2$ , изготовленной из монослоев однонаправленного КМ Kevlar49/ERLA4617 ( $\varphi_1 = \varphi_3 = 0^\circ$ ,  $\varphi_2 = 90^\circ$ ), для которого принято

$$E_1 = 69\text{ GPa}, E_2 = 4.52\text{ GPa}, G = 2.48\text{ GPa}, \nu_{12} = 0.41, \\ \alpha_{1t} = -5.17 \times 10^{-6}\text{ K}^{-1}, \alpha_{1r} = 68.7 \times 10^{-6}\text{ K}^{-1}.$$

Работа полностью не завершена, и поэтому расчеты сделаны для монослоя ребристой композиционной пластинки, и результаты показывают, что прогибы из нагрузки уравниваются прогибами из температуры.

Расчеты сделаны для монослоя, где толщина пластинки изменяется от 0,05 до 0,1, а температура изменяется от  $-40$  до  $+40$ .

$$D_{11} = 0.679, D_{22} = 0.386, D_{12} = 0.027, D_{66} = 0.035, D_{1t} = -0.69 \cdot 10^{-6}, \\ D_{2t} = 1.71 \cdot 10^{-6}, E = 0.98$$

$$C = 0.448 \cdot 10^{-6} \left[ \frac{1}{3} - 0.042 \sum_{n=1,3,5..}^{\infty} \frac{1}{n^5} \text{th}(7.85n) \right],$$

$$q_0 = 0,143 \cdot 10^{-6}, h_r = 0.2, \gamma = 0.2.$$

Для условий  $h = 0.1$  и  $T = 40$ , получены следующие данные: Прогиб (W) (Рисунок 3).

Изгибающий момент в оси OX (M1) (Рисунок 4).

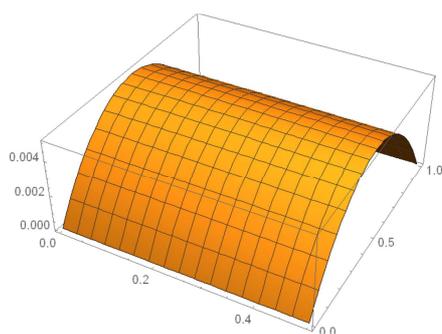


Рисунок 3

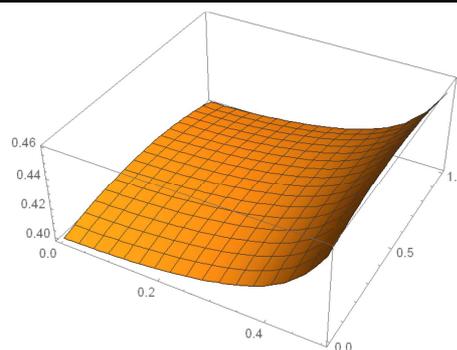


Рисунок 4

Изгибающий момент в оси  $OY$  ( $M_2$ ) (Рисунок 5).  
Крутящий момент ( $H$ ) (Рисунок 6).

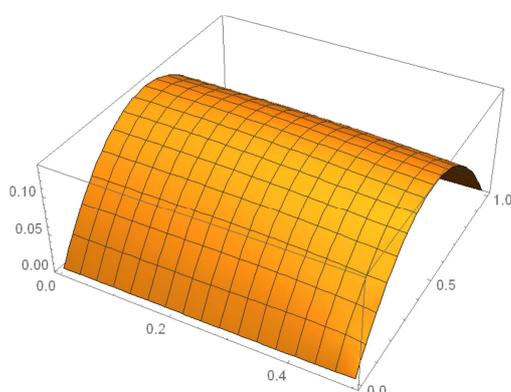


Рисунок 5

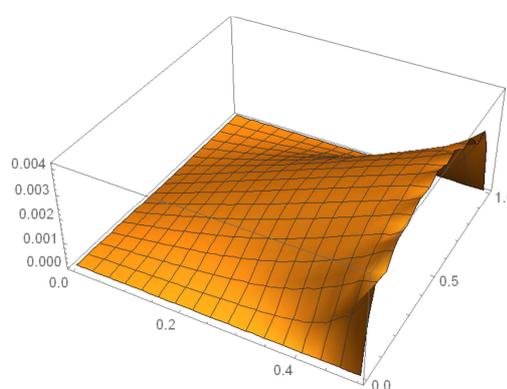


Рисунок 6

В случае  $T = -6$ , общий прогиб почти равен 0.

### Библиографический список

1. Дарбинян, А. З. Задача термоупругости прямоугольной ребристой ортотропной пластинки при изгибе / А. З. Дарбинян // Тр. VII межд. конф. "Проблемы динамики взаимодействия деформируемых сред" – Горис-Степанакерт, 2011. – С. 165–171.
2. Амбарцумян, С. А. Теория анизотропных пластин / С. А. Амбарцумян. – М. : Наука, 1987. – 448 с.
3. Белубекян, М. В. Управление перемещениями в пьезопластинках с помощью электрического поля / М. Г. Саргсян, Ю. Г. Саноян // Вестн. инженерной академии Армении. – 2009. – Т. 6. – № 2. – С. 255–261.
4. Васильев, В. В. Механика конструкций из композиционных материалов / В. В. Васильев. – М. : Машиностроение, 1988. – 272 с.

## Об устойчивости обсадных колонн для крепления нефтяных и газовых скважин

**Джамалова Э. Б.** (г. Мурманск, ФГБОУ ВПО "Мурманский государственный технический университет", кафедра механики сплошных сред и морского нефтегазового дела, e-mail: emma60@list.ru)

**Аннотация.** Проблема устойчивости обсадных колонн для крепления нефтяных и газовых скважин в многолетнемерзлых породах при строительстве на Арктическом шельфе из-за разности температур и их градиентов в жидкости внутри колонны и горных пород в заколонном пространстве.

**Abstract.** The problem of stability of the pipes in the permafrost rock formation of the Arctic shelf due to difference in temperature drops inside the string and formation in the annulus is studied in details.

Проблема устойчивости обсадных колонн для крепления нефтяных и газовых скважин в многолетнемерзлых породах из-за разности температур и их градиентов в жидкости внутри колонны и горных пород в заколонном пространстве рассмотрены в работах [1–3]. Однако ряд вопросов, касающихся влияния параметров несовершенства труб и свойств мерзлых горных пород на устойчивость колонн, входящих в конструкцию скважин при строительстве на Арктическом шельфе, остаются актуальными и требуют рассмотрения.

Целью работы является решение термоупругой задачи устойчивости несовершенных по форме обсадных колонн для крепления нефтяных и газовых скважин в многолетнемерзлых породах методами символьной алгебры Mathematica и численными методами системы ANSYS.

В основу методики расчета критических давлений на обсадные трубы, составляющих конструкцию нефтегазовых скважин, положена теория тонкостенных цилиндрических оболочек, для которой решается осесимметричная задача о расчете температурных и механических напряжений в обсадной трубе.

Известно, что добываемый флюид имеет температуру, которая выше температуры горных пород. Поэтому температурные напряжения, возникающие в стенке обсадной трубы, являются составляющими напряженного состояния трубы и которые возникают вследствие всестороннего сжатия обсадной колонны горным давлением.

При изучении распределения температуры вокруг обсадной колонны, расположенной в горной породе предполагается, что оно не зависит от мощности горной среды (слоя). Рассматривается стационарное распределение

температур в окрестности вертикальной скважины, как плоская задача. Составлена краевая задача для обсадной колонны и горной породы и найдены символьные решения системы уравнений равновесия обсадной трубы, включая распределения температур вокруг скважины.

Уравнения стационарного распределения температур в обсадной колонне и в горной породе имеют вид

$$\frac{d^2 T_i}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dT_i}{dr} = 0;$$

$$i = 1, 2$$

где индекс 1 относится к обсадной колонне, а 2 – к горной породе в окрестности скважины.

Граничные условия для обсадной колонны и для горной породы следующие:

$$T_1(R_1) = t_0,$$

$$T_1(R_2) = T_2(R_2);$$

$$T_2(R_2) = t_s;$$

$$\kappa_1 \left. \frac{\partial T_1}{\partial r} \right|_{r=R_2} = \kappa_2 \left. \frac{\partial T_2}{\partial r} \right|_{r=R_2}$$

В формулах введены обозначения:

- $R_1$  – внутренний радиус колонны (скважины)
- $t_0$  – температура на внутренней стенке трубы;
- $R_2$  – радиус наружной поверхности трубы, расстояние на котором устанавливается – температура пород;
- $t_s$  – температура наружной поверхности трубы;
- $\kappa_1, \kappa_2$  – коэффициенты теплопроводности трубы и породы.

Пример символьного решения для распределения температур вокруг скважины приведен ниже.

**solTemperature =**

**DSolve [Join [sys [S], {T1[R1] == t0, T1[R2] == T2[R2], T2[R2] == t\_s, \kappa\_1 T1'[R2] == \kappa\_2 T2'[R2]}], S, r] // Flatten // Simplify**

$$\left\{ T_1(r) \rightarrow \frac{(\log(r) - \log(R_2)) t_0 + (\log(R_1) - \log(r)) t_s}{\log(R_1) - \log(R_2)}, \right.$$

$$T_2(r) \rightarrow \left. \frac{(\log(r) - \log(R_2)) t_0 \kappa_1 + t_s ((\log(R_2) - \log(r)) \kappa_1 + (\log(R_1) - \log(R_2)) \kappa_2)}{(\log(R_1) - \log(R_2)) \kappa_2} \right\}$$

Далее построен совмещенный график радиальных напряжений в обсадной трубе (244.5x10 мм) и в горном скелете при изменении температуры внутри обсадной трубы от 0 °С до -2,5 °С и при температуре окружающей горной породы равной -2,5 °С (рис. 1).

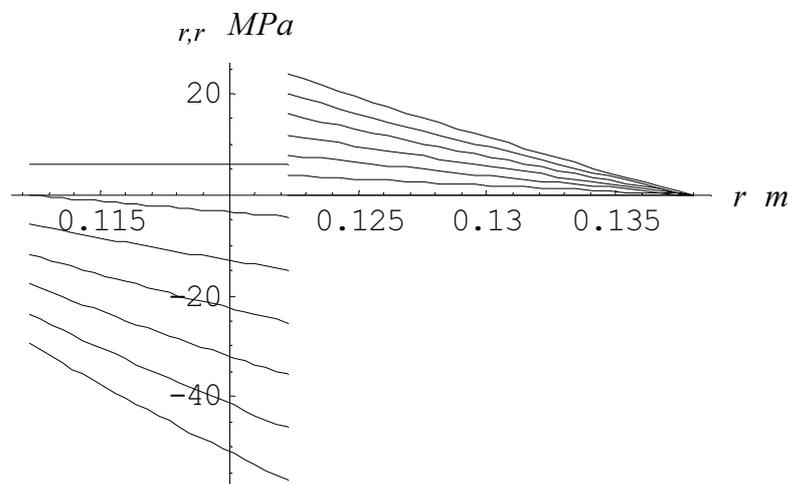


Рисунок 1 – Совмещенный график радиальных напряжений в обсадной трубе и в горном скелете

Очевидно, что радиальные напряжения в стенке трубы обсадной колонны изменяются от сжимающих напряжений до растягивающих и максимальны на внутренней поверхности стенки трубы.

Эпюра одновременных кольцевых напряжений в обсадной трубе (244.5x10 мм) и в горной породе, которые рассчитаны в окрестности скважины, при изменении температур внутри обсадной трубы от 0 °С до минус 2,5 °С и при температуре окружающей горной породы равной минус 2,5 °С, представлена ниже.

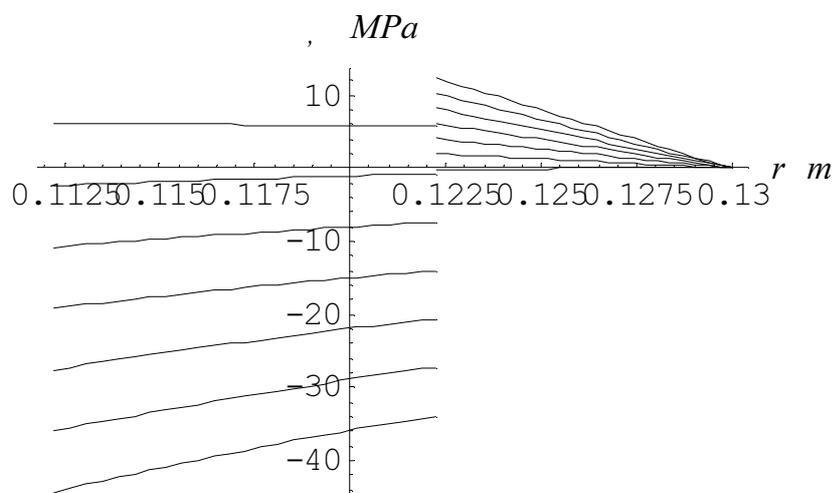


Рисунок 2 – Совмещенный график кольцевых напряжений в обсадной трубе и в горном скелете

Из представленной эпюры видно, что, в отличие от кольцевых напряжений в трубе, которые являются знакопеременными, и напряжениями, которые могут привести к потере устойчивости при изменении температур, окружные напряжения в горной породе являются растягивающими, т. е. фактически являются разрывными, т. е. такими, которые приводят к разрушению горных пород. По-видимому, данное обстоятельство оставалось незамеченным при проведении проектных расчетов устойчивости обсадных колонн, составляющих конструкцию нефтяных и газовых скважин в многолетнемерзлых породах.

Для решения термоупругой задачи устойчивости трубы обсадной колонны в компьютерной среде ANSYS применялся метод конечных элементов, основная идея которого состоит в том, что любую непрерывную величину (температура, давление, перемещение) можно аппроксимировать дискретной моделью, которая строится на множество кусочно-непрерывных функций, определенных на конечном числе подобластей.

Визуализация распределения перемещений и эквивалентных напряжений трубы обсадной колонны в виде непрерывных цветовых полей выполненная в программной среде ANSYS, представлена на рисунках ниже.

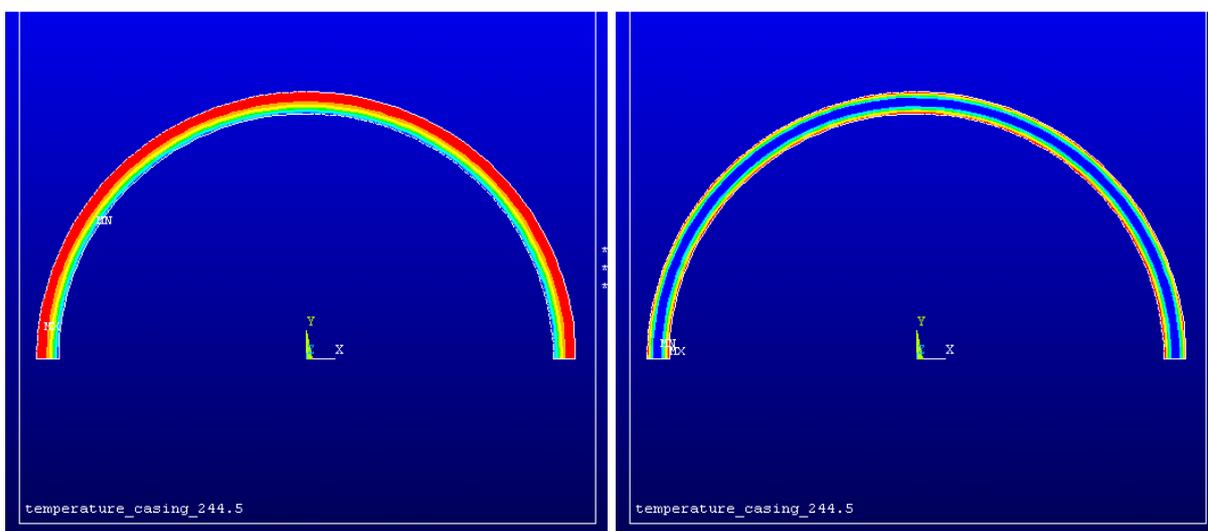


Рисунок 3 – Распределение перемещений    Рисунок 4 – Интенсивность распределения напряжений (по VonMises)

Таким образом, в работе рассмотрены задачи устойчивости обсадной колонны для крепления нефтяных и газовых скважин при строительстве на Арктическом шельфе в компьютерных средах Mathematica и ANSYS.

### **Библиографический список**

1. Антипов, В. И., Нагаев В. Б., Седых А. Д. Физические процессы нефтегазового производства : учеб. пособие для вузов. В 3-х т. – М. : ОАО "Изд-во "Недра", 1988. Т. 1. – 372 с.

2. Булатов, А. И. Макаренко П. П., Будников Ю. М. Теория и практика заканчивания скважин : В 5 т. – М. : ОАО "Изд-во "Недра", 1988. – Т. 4. – 496 с.

3. Кудряшов, Б. Б., Яковлев А. М. Бурение скважин в мерзлых породах. – М., Недра, 1983. – 286 с.

4. Морозов, Е. М., Муйземнек А. Ю., Шадский А. С. Ansys в руках инженера: Механика разрушения. – М. : ЛЕНАНД, 2008. – 456 с.

## **Формирование туристских дестинаций в Арктике**

**Колесникова Н. В.** (г. Петрозаводск, ФГБОУ ВО "Петрозаводский государственный университет", кафедра туризма,  
e-mail: natalia.v.kolesnikova@mail.ru)

**Аннотация.** В статье описывается междисциплинарный характер проблемы развития туристских дестинаций в Арктике, а также обосновываются направления исследований в сфере арктического туризма.

**Abstract.** The paper reviews interdisciplinary nature of Arctic tourism destinations development problems as well as proposed research directions in the field of Arctic tourism.

**Ключевые слова:** туризм, туристская дестинация, Арктика.

**Key words:** tourism, tourism destination, Arctic.

Туризм как сектор экономики в России интенсивно развивается [3, 5]. В последнее время особую актуальность приобрело развитие внутреннего и въездного туризма на основе местных ресурсов [4]. Развитие туризма в России происходит как за счёт увеличения объёма туристского спроса, так и за счёт его диверсификации, что проявляется в появлении новых видов туризма и увеличении количества центров туристского интереса, т. е. дестинаций. Вместе с тем, арктический туризм, являющийся сочетанием природного и научно-познавательного туризма, в России находится на начальной стадии развития. В связи с этим, разработка методических основ формирования и развития арктических дестинаций является актуальной научной проблемой.

В соответствии с Основами государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 г. и дальнейшую перспективу, утвержденными Президентом Российской Федерации 18 сентября 2008 г. № Пр-1969, под Арктической зоной Российской Федерации понимается часть Арктики, в которую входят полностью или частично территории Республики Саха (Якутия), Мурманской и Архангельской областей, Красноярского края, Ненецкого, Ямало-Ненецкого и Чукотского автономных округов, определенные решением Государственной комиссии при Совете Министров СССР по делам Арктики от 22 апреля 1989 г., а также земли и острова, указанные в Постановлении Президиума Центрального Исполнительного Комитета СССР от 15 апреля 1926 г. "Об объявлении территорией СССР земель и островов, расположенных в Северном Ледовитом океане", и прилегающие к этим территориям, землям и островам внутренние морские воды, территориальное море, исключительная экономическая зона и континентальный 13 шельф Российской

Федерации, в пределах которых Россия обладает суверенными правами и юрисдикцией в соответствии с международным правом. Состав Арктической Зоны Российской Федерации будет определяться федеральным законом "Об Арктической зоне Российской Федерации", над проектом которого в настоящее время работает экспертная группа.

К основным целям развития туризма в Арктике относится не только получение дохода от туристской деятельности, но и сохранение и восстановление уникальных природных и культурных комплексов и объектов, экологическое просвещение населения, разработка и внедрение научных методов охраны природы, осуществление экологического мониторинга, создание условий для регулируемого туризма и отдыха в арктической зоне. Перечисленные цели в их взаимосвязи создают основания для вывода об актуальности многоплановых исследований, включая анализ когнитивных аспектов функционирования туристской арктической дестинации [18, 19]. Обзор публикаций по затронутой теме велико, поэтому детальный анализ рассмотренных в них проблем выходит за рамки данной работы. Ограничимся минимально необходимыми краткими комментариями к определенным группам публикаций.

Процесс развития арктического туризма служит объектом исследований в отечественной и зарубежной научной литературе. Различные аспекты многоплановой проблемы становления и развития арктического туризма рассматриваются в работах: Пилявского В. П. [12], Ларченко Л. В. [10], Киренской Н. А. [2], Т. Армстронга [18], Д. Снайдера, Б. Стоунхауса [19] (арктический туризм как отрасль территориальной специализации); Семеновой Н. С. [11], Тотоновой Е. Е. [14], Грушенко Э. Б. [1], Павловой А. А. [13], Кулаковского Г. П., Алексеевой К. И. [9] (развитие туризма в отдельных арктических районах); Хаснулина В. И. [17] (туристско-рекреационный потенциал Арктики); Коростелева Е. М., Билецкого А. В. [8], Чижовой В. П. [15]. (эколого-географический подход к организации арктического туризма); Цекиной М. В., Гаврило М. В. [16] (потребности туристов в аспекте арктического туризма).

Проблема формирования и развития Арктики как туристской дестинации имеет междисциплинарный характер, зависящий от взаимовлияния рекреационной географии и экономики туризма. С точки зрения рекреационной географии арктический регион является одним из видов туристских дестинаций, обладающих спецификой по рекреационному потенциалу и видам туризма, возможным для развития в рамках дестинации. С точки зрения экономики туризма процесс развития туризма в Арктике является объектом управления, требующим специфических методов организации рекреационной дея-

тельности. При исследовании комплексной проблемы развития арктического туризма необходим учёт всех указанных аспектов.

Формирование и последующее развитие арктических туристских дестинаций требует соответствующего научного и методического обоснования с учетом региональных особенностей, при этом зарубежные научные разработки и практический опыт могут быть лишь ограниченно применимы в силу отличий институциональной среды развития российского туризма, организации туристской отрасли и других особенностей.

Тема Арктики на сегодняшний день является актуальной, однако исследование данных регионов в качестве потенциальных туристских дестинаций с позиций науки экономики туризма осуществляется крайне недостаточно. С другой стороны, вопросы организации туристских дестинаций, в целом, достаточно глубоко исследованы с позиций экономики туризма в трудах как иностранных, так и российских учёных, однако специфика Арктики в данных трудах практически не затрагивается, особенно в отечественной науке. В связи с этим, поставленная в рамках проекта проблема обладает научной новизной.

Необходимы дополнительные исследования по следующим направлениям с учетом системного подхода на основе рекреационной географии и экономики туризма:

1. Разработка методических основ формирования арктических туристских дестинаций. Необходимо решить задачи разработки методики оценки туристско-рекреационного потенциала Арктики, экономических и организационных принципов формирования туристских дестинаций в данном регионе.

2. Исследование возможности применения существующих методик оценки вклада туризма в развитие региона с учетом специфики арктического региона.

Исследование проблемы формирования арктических туристских дестинаций внесет вклад в развитие науки экономики туризма в части учения о дестинациях, в том числе за счёт применения междисциплинарного подхода путём привлечения научных положений науки рекреационной географии. Методика оценки туристско-рекреационного потенциала Арктики, а также оценка применимости существующих методик оценки вклада туризма в развитие региона с учетом специфики арктического региона, внесут вклад в научно-методологическое обеспечение управления туристскими дестинациями.

Результаты исследования будут иметь практическую значимость, так как их применение создаст условия для формирования нового для России вида туризма – арктического. Несмотря на наличие множества уникальных объектов

в арктической зоне с потенциально высоким туристско-рекреационным потенциалом и постоянно увеличивающийся спрос на новые виды туризма, в развитии арктического туризма Россия значительно отстаёт от многих стран мира.

*Работа выполнена в рамках реализации комплекса научных мероприятий Программы стратегического развития ПетрГУ на 2012–2016 гг.*

### **Библиографический список**

1. Грушенко, Э. Б. Анализ развития арктического морского туризма в Баренцевоморском регионе // Север и рынок: формирование экономического порядка. – 2007. – Т. 2. – № 18. – С. 69–75.

2. Киренская, Н. А. Арктический туризм как социально-экономическое развитие РФ // Экономика, социология и право. – 2015. – № 12. – С. 26–28.

3. Кирилина, В. М., Колесникова Н. В. Об особенностях развития региональной туристско-рекреационной системы // В сборнике: Деревянное малоэтажное домостроение: экономика, архитектура и ресурсосберегающие технологии : сб. статей по мат. междунар. науч.-практ. конф. ФГБОУ ВПО "Петрозаводский гос. ун-т". Петрозаводск, 2015. С. 11–14.

4. Колесников, Н. Г. Разработка методики оценки социально-экономической эффективности использования местных ресурсов в регионе // диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук. – Петрозаводск, 2001.

5. Колесников, Н. Г., Колесникова Н. В. Кластерный подход к развитию туризма в регионе на примере Республики Карелия // В сборнике: Материалы конференций Института физической культуры, спорта и туризма Петрозаводского государственного университета М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. проф. образования Петрозавод. гос. ун-т. – Петрозаводск, 2015. – С. 426–430.

6. Колесникова, Н. В. Когнитивный аспект функционирования туристской дестинации // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 10–1. – С. 174–175.

7. Колесникова, Н. В., Колесников Н. Г. Туристская дестинация как элемент системы непрерывного образования // Научный альманах. – 2015. – № 8 (10). – С. 502–504.

8. Коростелев, Е. М., Билецкий А. В. Эколого-географический подход к организации регулируемого туризма в арктической зоне Российской Федерации // Российский журнал устойчивого туризма. – 2014. – № 4. – С. 12–16.

9. Кулаковский, Г. П., Алексеева К. И. Перспективы развития туризма в арктической зоне Республики Саха (Я) в условиях модернизации транспортной инфраструктуры // Региональная экономика: теория и практика. – 2013. – № 25. – С. 56–59.
10. Ларченко, Л. В. Современная Арктика: проблемы освоения и социально-экономического развития // Региональная экономика: теория и практика. – 2011. – № 11. – С. 2–8.
11. Павлова, А. А. Перспективы развития арктического туризма в Республике Саха (Якутия) // Альманах современной науки и образования. – 2010. – № 7. – С. 161–162.
12. Пилявский, В. П., Вигандт Е. Н. Предпосылки и основные направления развития туризма в российской Арктике // Вестн. Национальной академии туризма. – 2013. – № 3 (27). – С. 57–59.
13. Семенова, Н. С. Основные проблемы развития туризма в арктических районах Республики Саха (Якутия) // В сборнике: Актуальные вопросы в научной работе и образовательной деятельности : сб. научных трудов по мат. Междунар. науч.-практ. конф.: в 10 т. – Тамбов, 2015. – С. 136–137.
14. Тотонова, Е. Е. Перспективы развития туризма в арктических районах Республики Саха (Якутия) // Арктика XXI в. Гуманитарные науки. – 2015. – № 2. – С. 45–54.
15. Хаснулин, В. И., Сидорина Т. В., Комарова О. С., Малетин С. С., Кашин А. В., Юров А. А. Туристско-рекреационный потенциал, проблемы и перспективы развития арктического туризма России // В мире научных открытий. – 2015. – № 11.5 (71). – С. 1864–1872.
16. Цекина, М. В., Гаврило М. В. Территориальная дифференциация рекреационных потребностей туристов на примере архипелага Земля Франца-Иосифа (Архангельская область) и Кольского полуострова // В сборнике: туризм и региональное развитие Смоленский гуманитарный университет. – Смоленск, 2014. – С. 159–164.
17. Чижова, В. П. Туризм в русской Арктике: эколого-географические аспекты // В сборнике: Экологическое равновесие: Антропогенные изменения географической оболочки Земли, охрана природы / Под общ. ред. профессора В. Н. Скворцова. Санкт-Петербург, 2013. С. 48–52.
18. Armstrong, T. E., 1991. Tourist Visits to the North Pole, 1990, Polar Record, Volume 27, Number 161, Cambridge University Press, Notes, 130.
19. Snyder, J. M. and Stonehouse, B., 2007. Prospects for Polar Tourism, Wallingford, UK, CAB International.

## Анализ падения давления в модели полосообразной залежи при движении газовой смеси

**Коротаев Б. А., Еремеев И. В.** (г. Мурманск, ФГБОУ ВПО "Мурманский государственный технический университет", кафедра механики сплошных сред и морского нефтегазового дела)

**Аннотация.** В работе рассматривается вопрос моделирования движения воздуха в прямолинейной галерее заполненной песком с целью определения вида кривой падения давления вдоль галереи. Работа заключалась в замере распределения давления по длине трубки при работе одного из двух типов компрессоров: поршневого и центробежного.

**Annotation.** The article deals with the question of air flow simulation in rectilinear gallery filled with sand in order to determine the type of pressure drop curve along the gallery. The work was in the amount of pressure distribution along the length of the tube during operation one of the two types of compressors.

**Ключевые слова:** моделирование, распределение давления, компрессор, газовая смесь, дифференциальное уравнение.

**Key words:** modeling, pressure distribution, compressor, gas mixture, differential equation.

При моделировании распределения давления газа (воздуха) по трубке заполненной мелкозернистым песком применялись компрессоры двух типов: поршневой и центробежный.

Ниже приведена схема модельной установки для имитации модели полосообразной залежи (рис. 1).

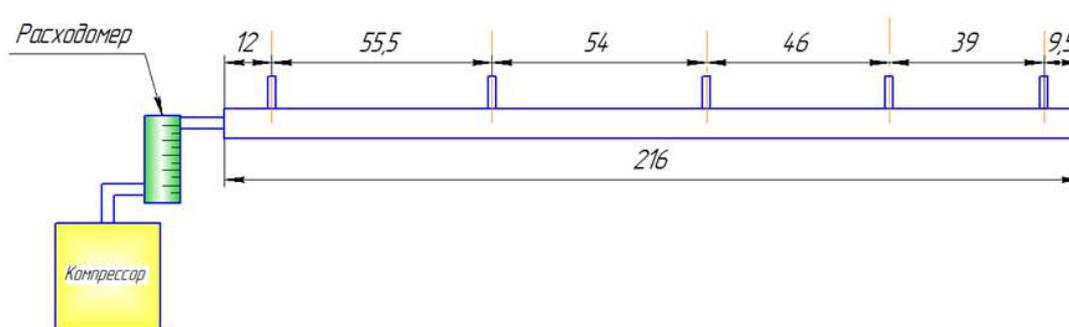


Рисунок 1 – Схема модельной установки, размеры на схеме указаны в см.

Параметры трубки с мелкозернистым песком:

$d = 1.9$  см – внутренний диаметр;

$l = 216$  см – длина модели пласта.

Работа заключалась в замере распределения давления по длине трубки при работе одного из двух типов компрессоров.

*Работа поршневого компрессора.*

График распределения давления по длине модели полосообразной залежи представлен на рис. 2.

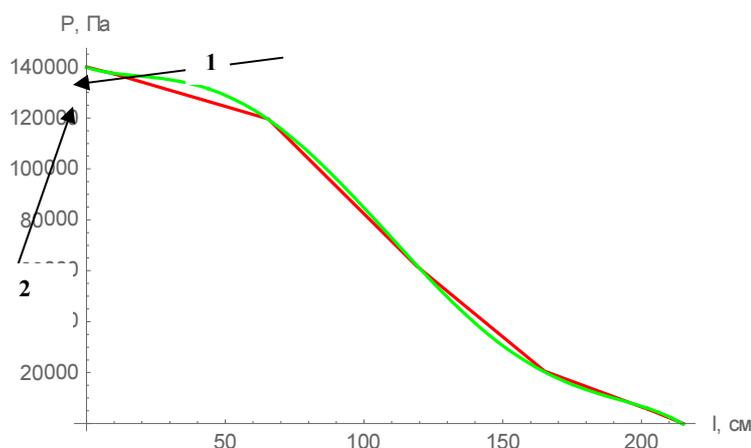


Рисунок 2 – Распределение давления по длине трубки при нагнетании воздуха поршневым компрессором

Красная линия (2) – экспериментальный замер давления, зеленая (1) – аппроксимация данных степенной функцией.

*Работа центробежного компрессора:*

График падения давления по длине модели полосообразной залежи приведен на рис. 3.

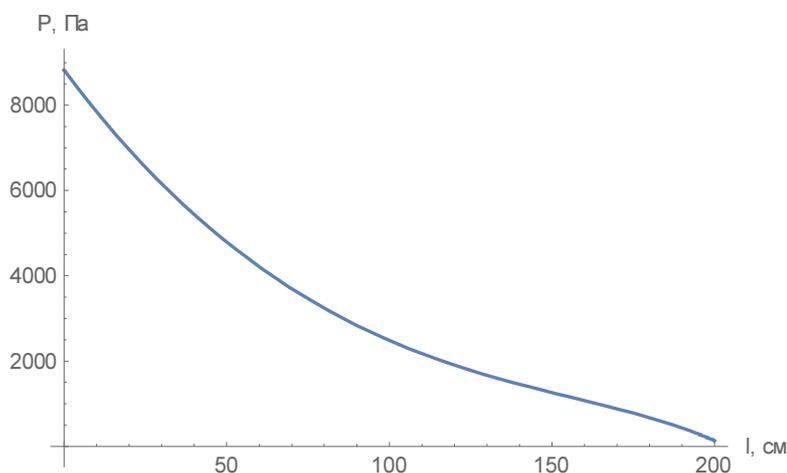


Рисунок 3 – Распределение давления по длине трубки при нагнетании воздуха центробежным компрессором

Л. С. Лейбензоном было получено решение задачи об истечении газа из полосообразной залежи. Задача сводится к интегрированию дифференциального уравнения (1) [2]:

$$\frac{\partial P^2}{\partial t^2} = \frac{k\rho}{m\mu} \frac{\partial^2 P^2}{\partial x^2} \quad (1)$$

при условиях:

$$P = P_H = \text{const при } t = 0,$$

$$P_H = \text{const при } x = 0,$$

$$\frac{\partial P^2}{\partial x} = 0 \text{ при } x = 1$$

График зависимости темпа падения давления в полоосообразной залежи по времени на период 6 лет.

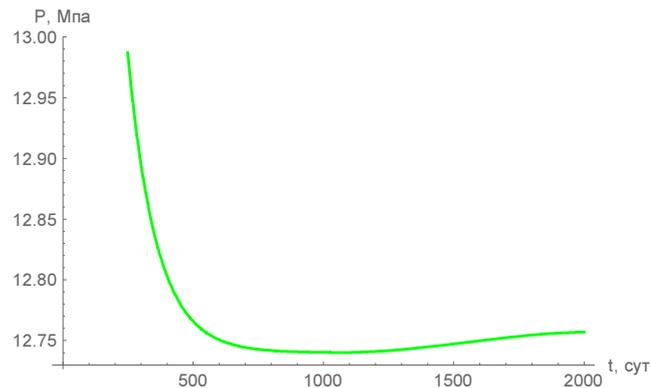


Рисунок 4 – Изменение пластового давления в течение 6 лет

Решим дифференциальное уравнение (1) через подстановку и разностным методом по модели поршневого компрессора [2].

$$y = P^2$$

$$\frac{\partial P^2}{\partial t^2} = \frac{k\rho}{m\mu} \frac{\partial^2 P^2}{\partial x^2}$$

$$\frac{\partial y}{\partial t} - \frac{k\sqrt{y}}{\mu m} \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = 0$$

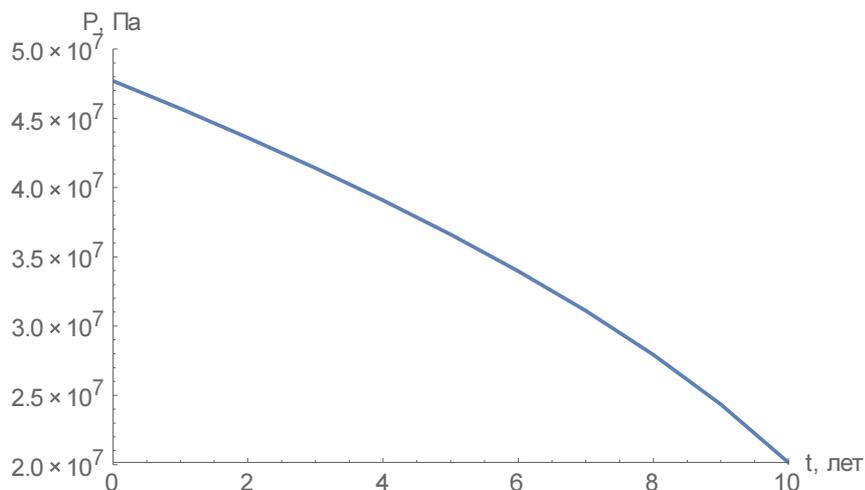


Рисунок 5 – График темпа падения давления во времени для Мурманского газового месторождения

Также рассчитаем падение давление во времени и по модели центробежного компрессора

$$P = P_n e^{-kt}. \quad (2)$$

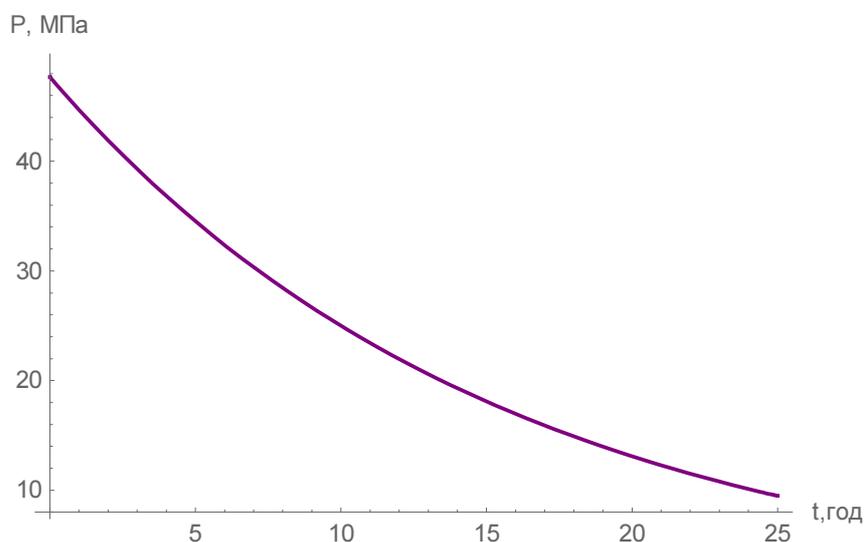


Рисунок 6

### Выводы

Дифференциальное уравнение (1) в [2] решается путем сведения данного уравнения к решению задачи теплопроводности. При расчете темпа падения давления при отборе газа с МГМ пришлось отказаться от методики расчета падения давления приведенной в работе [2] и расчеты выполнять через подстановку  $u = P^2$  и по выражению (2).

### Библиографический список

1. Муравьев, В. М. Эксплуатация нефтяных и газовых скважин / В. М. Муравьев. – Москва : Недра, 1978. – 448 с.
2. Евдокимова, В. А. Сборник задач по подземной гидравлике / В. А. Евдокимова, И. Н. Кочина. – Москва : Альянс, 2007. – 168 с.
3. Основы компьютерного моделирования. – М. : РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина. – М. : Нефть и Газ, 2000. – 288 с.

## Теплоемкость и тепловое расширение жидкостей (воды и гелия-4)

**Путинцев Н. М., Путинцев. Д. Н.** (г. Мурманск, ФГБОУ ВПО "Мурманский государственный технический университет", кафедра химии, e-mail: putintsevnm@mstu.edu.ru)

**Аннотация.** Разработан оригинальный метод расчета составляющих теплоемкости и коэффициента теплового расширения жидкой воды и  $^4\text{He}$ .

**Abstract.** The original method of account of components the heat capacity and the expansion coefficient of liquid water and  $^4\text{He}$  is developed.

**Ключевые слова:** Теплоемкость, коэффициент теплового расширения, изотермическая сжимаемость, колебательные и конфигурационные вклады.

**Key words:** Heat Capacity, the thermal expansion coefficient, the isothermal compressibility coefficient, a vibrational and configuration components.

Теплоемкость вещества при постоянном объеме ( $C_V = dU/dT$ ), согласно определению внутренней энергии ( $U = U_{\text{кин}} + U_{\text{пот}}$ ), имеет две составляющие. В [1] составляющая  $C_V$ , обусловленная различными видами движения молекул и их составных частей (колебаниями, либрациями, трансляциями и т. д.), названа колебательной ( $C_{\text{кол}}$ ), а составляющая  $C_V$ , связанная с изменением конфигураций молекул в системе, – конфигурационной ( $C_{\text{конф}}$ ):

$$C_V = C_{\text{кол}} + C_{\text{конф}}, \quad (1)$$

Феноменологическая термодинамика связывает теплоемкости при постоянном давлении  $C_P$  и постоянном объеме  $C_V$  соотношением

$$C_P - C_V = \frac{T\alpha_p^2 V_0}{\gamma_T}, \quad (2)$$

где  $V_0$  – мольный объем,  $T$  – температура в К,  $\alpha_p = (1/V) \cdot (\partial V / \partial T)_P$  – изобарный коэффициент теплового расширения,  $\gamma_T = - (1/V) \cdot (\partial V / \partial P)_T$  – коэффициент изотермической сжимаемости, ( $C_{\text{терм}} = T\alpha_p^2 V_0 / \gamma_T$ ) – теплоемкость, обусловленная термическим расширением вещества.

Наличие двух составляющих у теплоемкости  $C_V$  предполагает наличие соответствующих вкладов в коэффициенте теплового расширения ( $\alpha_p$ ). Так, в работе [2] коэффициент теплового расширения подразделяется на положительную ( $\alpha_1$ ) и отрицательную ( $\alpha_2$ ) составляющие. В [3] составляющие  $\alpha_p$

по аналогии с теплоемкостью, названы колебательным ( $\alpha_{\text{кол}}$ ) и конфигурационным ( $\alpha_{\text{конф}}$ ) коэффициентами теплового расширения:

$$\alpha_p = \alpha_{\text{кол}} + \alpha_{\text{конф}}. \quad (3)$$

Активация всех механических степеней свободы, имеющих место в веществе при данных условиях (включая и трансляцию молекул), приводит к увеличению объема вещества, поэтому "колебательный" коэффициент теплового расширения должен быть положительным ( $\alpha_{\text{кол}} > 0$ ).

Запишем выражение (2) с учетом (3):

$$C_p - C_v = \frac{T\alpha_{\text{кол}}^2 V_0}{\gamma_T} + \frac{T\alpha_{\text{конф}}^2 V_0}{\gamma_T} + \frac{2T\alpha_{\text{кол}}\alpha_{\text{конф}}V_0}{\gamma_T}. \quad (4)$$

При интерпретации составляющих выражения (4) следует учесть следующие эффекты:

- $\alpha_{\text{кол}}$  и  $\alpha_{\text{конф}}$  должны иметь разные знаки, так как существуют состояния вещества (вода, гелий, ...), у которых  $\alpha_p = 0$ ;
- выражения для  $C_p$  и  $C_v$  должны включать в себя  $\alpha_{\text{кол}}$  и  $\alpha_{\text{конф}}$ ;
- составляющая ( $T\alpha_{\text{кол}}^2 V_0 / \gamma_T$ ) должна включать в себя  $C_{\text{терм}} = T\alpha_p^2 V_0 / \gamma_T$  и  $C_{\text{кол}}$ , так как при увеличении амплитуды колебаний изменяются кинетическая составляющая внутренней энергии и объем системы;
- выражение для теплоемкости  $C_v$  должно содержать в себе знак минус, так как величина  $C_v > 0$ , а  $\alpha_{\text{кол}}$  и  $\alpha_{\text{конф}}$  имеют разные знаки.

Анализ экспериментальных данных воды  $\text{H}_2\text{O}$  по  $C_p$ ,  $C_v$ ,  $\alpha_p$ ,  $V_0$  и  $\gamma_T$  при 273.15К показывает, что качественная и количественная непротиворечивость в экспериментальных данных наблюдается только при выполнении следующие равенств:

$$C_p = \frac{T\alpha_{\text{кол}}^2 V_0}{\gamma_T} + \frac{T\alpha_{\text{конф}}^2 V_0}{\gamma_T}, \quad (6)$$

$$C_v = -2TV_0\alpha_{\text{кол}}\alpha_{\text{конф}}/\gamma_T, \quad (7)$$

$$C_{\text{конф}} = \frac{T\alpha_{\text{конф}}^2 V_0}{\gamma_T}, \quad (8)$$

$$C_{\text{кол}} = \frac{T\alpha_{\text{кол}}^2 V_0}{\gamma_T} - \frac{T\alpha_p^2 V_0}{\gamma_T}. \quad (9)$$

Заменяя в (6)  $\alpha_{\text{конф}}$  на  $(\alpha_p - \alpha_{\text{кол}})$  получаем квадратное уравнение. Физический смысл имеет решение:

$$\alpha_{\text{кол}} = \frac{\left\{ \alpha_p + \left[ \frac{2C_p \gamma_T}{TV_0} - \alpha_p^2 \right]^{1/2} \right\}}{2}. \quad (10)$$

Выражения (1)–(10) позволяют находить составляющие теплоемкости и теплового расширения вещества, если известны величины  $V_0$ ,  $C_p$ ,  $\gamma_T$  и  $\alpha_p$ .

Произведем расчет значений  $\alpha_{\text{кол}}$ ,  $\alpha_{\text{конф}}$ ,  $C_{\text{конф}}$  и  $C_{\text{кол}}$  воды  $\text{H}_2\text{O}$  и жидкого гелия  $^4\text{He}$ , а результаты представим в виде табл. и рис. 1–3.

Таблица 1 – Теплоемкость воды и ее составляющие при атмосферном давлении

T, К	C, Дж/моль К				
	$C_{\text{вспр}}$	$C_{\text{врасч}}$	$C_{\text{кол}}$	$C_{\text{конф}}$	$(TV_0 \alpha_p^2)/\gamma_T$
273.15	76.028	75.984	36.664	39.320	0.045
277.13	–	75.850	37.925	37.925	0.000
283.15	75.433	75.513	39.480	36.033	0.082
293.15	74.820	74.905	41.506	33.399	0.492
303.15	74.226	74.181	43.014	31.168	1.126
313.15	73.469	73.344	44.201	29.144	1.945
323.15	72.640	72.594	44.956	27.638	2.713
333.15	71.740	71.522	45.715	25.808	3.839
343.15	70.320	70.698	46.151	24.547	4.753
353.15	69.848	69.654	46.544	23.110	5.941
363.15	68.875	68.757	46.781	21.976	7.000
372.78	–	68.062	46.939	21.123	7.888
373.15	67.884	67.825	46.954	20.871	8.149

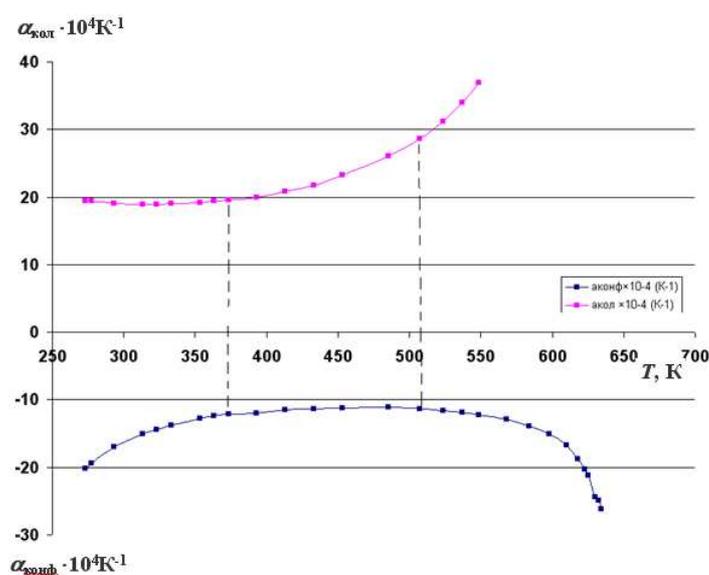


Рисунок 1 – Зависимости  $\alpha_{\text{кол}}$  и  $\alpha_{\text{конф}}$  воды от температуры

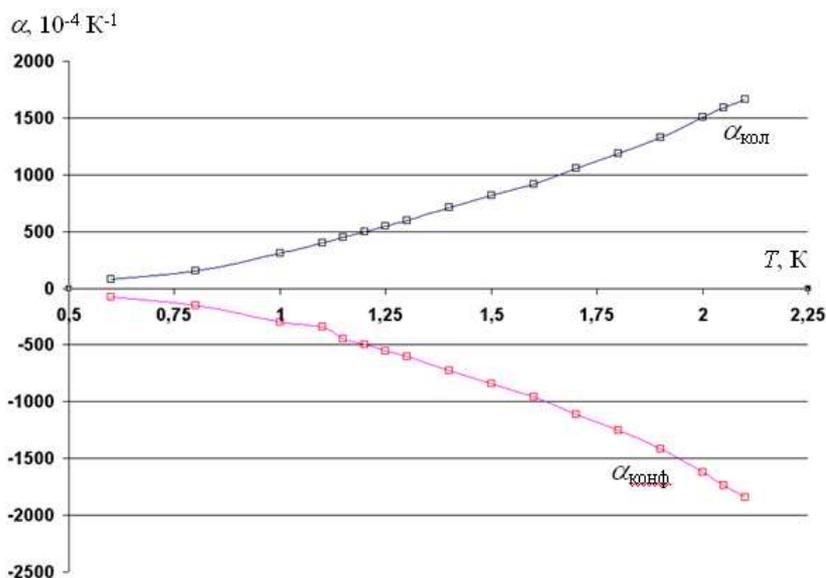


Рисунок 2 – Составляющие коэффициента теплового расширения  ${}^4\text{He II}$

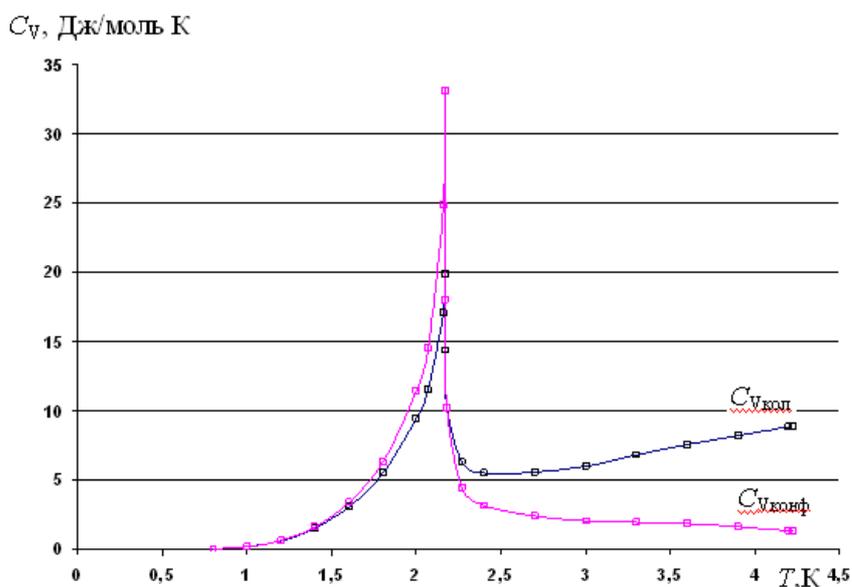


Рисунок 3 – Составляющие теплоемкости жидкого  ${}^4\text{He}$

### Библиографический список

1. Эйзенберг, Д., Кауцман В. Структура и свойства воды. – Л. : Гидрометеиздат, 1975. – 279 с. (Eisenberg D., Kauzmann W. The structure and properties of Water. Oxford, 1969).
2. Зацепина, Г. Н. Свойства и структура воды. – М., МГУ, 1998. – 184 с.
3. Путинцев, Н. М. ДАН//2005, т. 401. – № 5. – С. 648–651.

## **Особенности транспорта смеси газ-газоконденсат в Арктических условиях по подводному трубопроводу**

**Шишко А. Л.** (г. Мурманск, ФГБОУ ВПО "Мурманский государственный технический университет", кафедра механики сплошных сред и морского нефтегазового дела)

**Аннотация.** В настоящей работе представлены результаты расчета толщины стенки трубопровода. Выполнено моделирование транспорта продукта в арктических условиях по подводному трубопроводу. Выбрано изоляционное покрытие и технологическая схема предотвращения гидратообразования.

**Ключевые слова:** многокомпонентный газ, подводный трубопровод, нормы ОНТП, распределение температур, распределение давления, гидраты.

Газоконденсатное месторождение Сновит расположено в 140 км от побережья Норвегии в акватории Норвежского моря.

Задача состоит в выполнении проектного расчета транспорта смеси газ-газоконденсат морским трубопроводом:

1. Рассчитать толщину стенки трубопровода
2. Выполнить моделирование транспорта продукта с месторождения Сновит до завода по сжижению газа в поселке Мелкоя с целью определения термобарических для обеспечения заданных параметров потока и стабильности потока смеси.
3. На основании термобарических расчетов выбрать изоляционное покрытие и определить его толщину.
4. Выбрать метод и технологическую схему предотвращения гидратообразования

Исходными данными для выполнения проектных расчетов являются:

1. Производительность трубопровода – 260 кг/с.
2. Начальная температура продукта 70 °С.
3. Необходимые параметры потока на конце трубопровода:
  - температура – не менее 5 °С,
  - давление – 35 бар.
4. Температура моря:
  - –0,5 °С зимой;
  - 2 °С летом.

Профиль трассы представлен на рисунке:

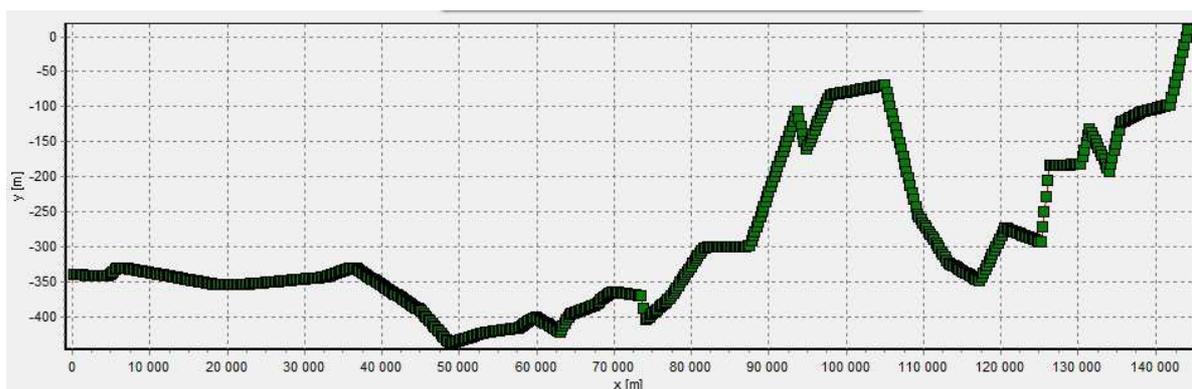


Рисунок 1 – Профиль трассы

Наружный диаметр труб – 680 мм.

Компонентный состав продукта:

Компоненты	Молярное содержание компонента, %	Молекулярная масса
CO <sub>2</sub>	5	44.01
C <sub>1</sub>	82	16.043
C <sub>2</sub>	5	30.07
C <sub>3</sub>	1.5	44.097
iC <sub>4</sub>	1.5	58.124
C <sub>7</sub>	5	96

### Расчет толщины стенки трубы

Расчет толщины стенки трубы произведен по американскому стандарту ASME B31.8 с использованием рекомендаций API 1111.

Расчет выполнен на локальное смятие при укладке трубопровода и на избыточное давление при эксплуатации. Трубы изготовлены из стали марки X-65, тип сварки – дуговая сварка под флюсом.

### Расчет на локальное смятие

Согласно национальному американскому стандарту ASME B31.8 толщина стенки трубы должна удовлетворять условию:

$$\frac{1,48 * P_o}{P_c} + \frac{\epsilon_o}{\epsilon_c} \leq g,$$

где  $P_o$  – максимальное наружное давление, Па;

$P_c$  – несущая способность на чистое смятие, Па;

$\epsilon_o$  – деформация изгиба при укладке трубопровода;

$\epsilon_c$  – предельная изгибная деформация;

$g$  – параметр геометрического несовершенства трубы.

Расчеты проводились в среде Mathematica 7.0.

Необходимая минимальная толщина стенки трубы – 17,2 мм.

### **Расчет на избыточное внутреннее давление**

Американский национальный стандарт принимает в чистом виде основную расчетную формулу теории тонкостенных оболочек:

$$\sigma = \frac{P_D * D}{2 * E_W * \eta * \sigma_T * F_T},$$

где  $\sigma$  – толщина стенки, мм;

$P_D$  – дифференциальное давление (разница между максимальным внутренним и наружным давлениями), Па;

$D$  – номинальный наружный диаметр, мм;

$E_W$  – коэффициент, учитывающий эффективность сварки. Для дуговой сварки под флюсом равен 1.0;

$\eta$  – коэффициент использования, равен 0,72;

$\sigma_T$  – предел текучести, Па;

$F_T$  – температурный коэффициент. Для температур ниже 121 °С равен 1.0.

Максимальное внутреннее давление принято равным 15 МПа.

В результате расчета, проведенного в системе Mathematica 7.0, получен следующий результат: минимальная толщина стенки составляет 13 мм.

На основании проведенных расчетов выбираем толщину стенки 18 мм, в которую входит запас металла для компенсации разрушения стенки трубы вследствие коррозии.

### **Расчет распределения давления и температуры в трубопроводе.**

#### **Подбор изоляционного покрытия**

Расчет термобарических условий транспорта многофазного продукта был проведен в симуляторе OLGA. Основными расчетными параметрами являлись начальная температура и давление на конце трубопровода.

Для обеспечения необходимой температуры потока на выходе из трубопровода требуется выбрать тип изоляционного покрытия и его толщину. Существует 2 принципиальных метода изоляции трубы:

1. "Сухой" метод – изоляционное покрытие заключается в стальную трубу, конечная конструкция представляет собой сооружение "труба в трубе".

2. "Влажный" метод – изоляционное покрытие не требуется защищать дополнительным слоем стали.

Был выбран второй метод как наиболее распространенный и экономичный. В качестве изоляционного покрытия был выбран наиболее современный изоляционный материал полиуретан со следующими свойствами:

Материал	Теплопроводность, Вт/м*К	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Максимальная температура эксплуатации, °С
Полиуретан(PU)	0,0605	1153,44	121

Поверх изоляционного покрытия нанесен 250 мм слой бетона.

Проектные расчеты для определения толщины слоя изоляции повторялись до достижения необходимой температуры потока на выходе из трубы.

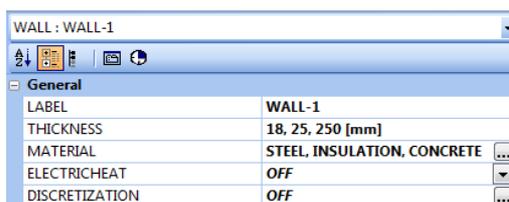


Рисунок 2

Визуализация проектных решений:

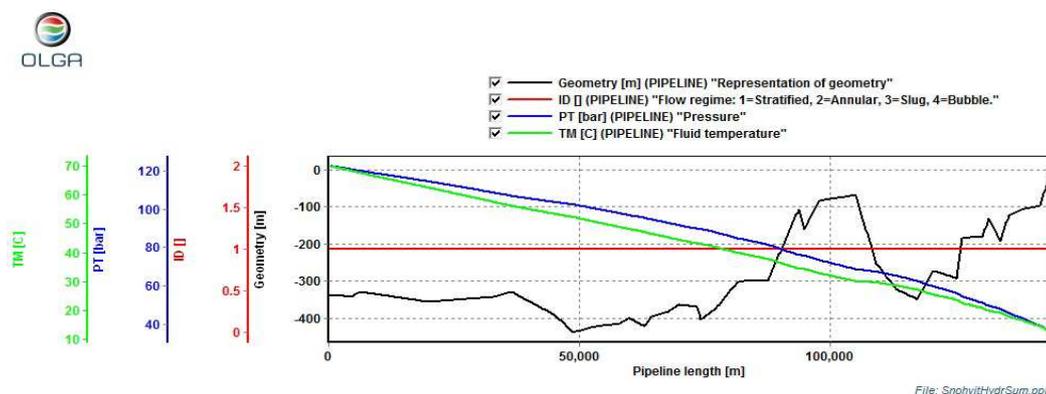


Рисунок 3 – Термобарические условия транспорта и индикатор типа потока (зимние условия эксплуатации)

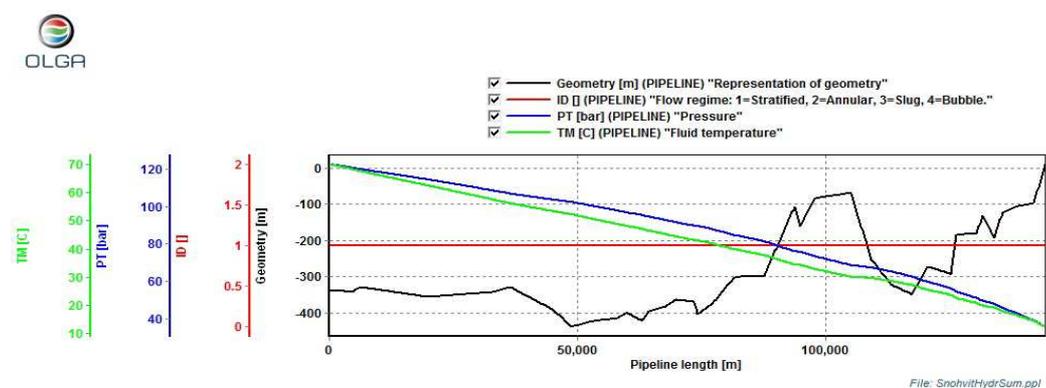


Рисунок 4 – Термобарические условия транспорта и индикатор типа потока (летние условия эксплуатации)

Как видно из решений, установлены следующие эксплуатационные параметры:

*зима:*

1. Температура на выходе – 11 °С.
2. Температура на входе – 70 °С.
3. Давление на входе – 122,4 бар.
4. Давление на выходе – 35,6 бар.

*лето:*

1. Температура на выходе – 12,5 °С.
2. Температура на входе – 70 °С.
3. Давление на входе – 122,6 бар.
4. Давление на выходе – 35,6 бар.

Поток стратифицированный, стабильный, с отсутствием пробок.

На рисунке 5 и 6 представлена стабилизация потоков при запуске трубопроводов.

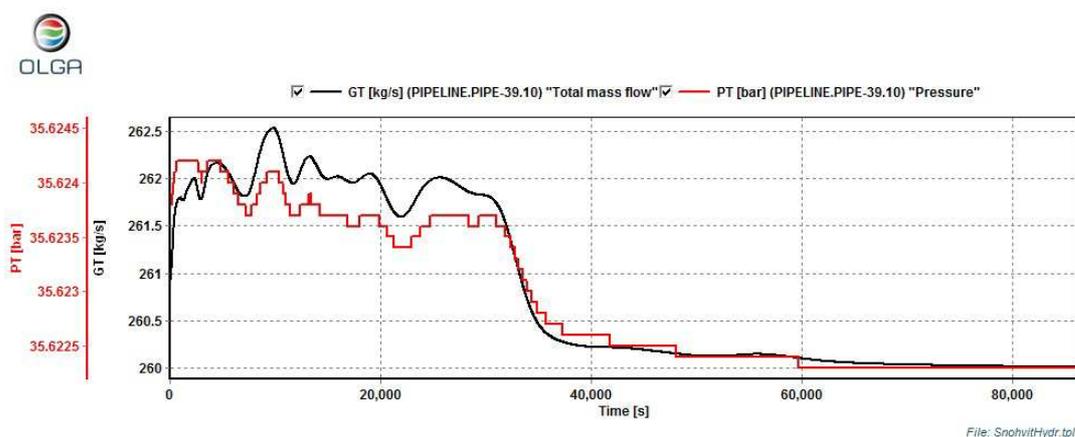


Рисунок 5 – Давление и массовый расход при запуске трубопровода в зимних условиях

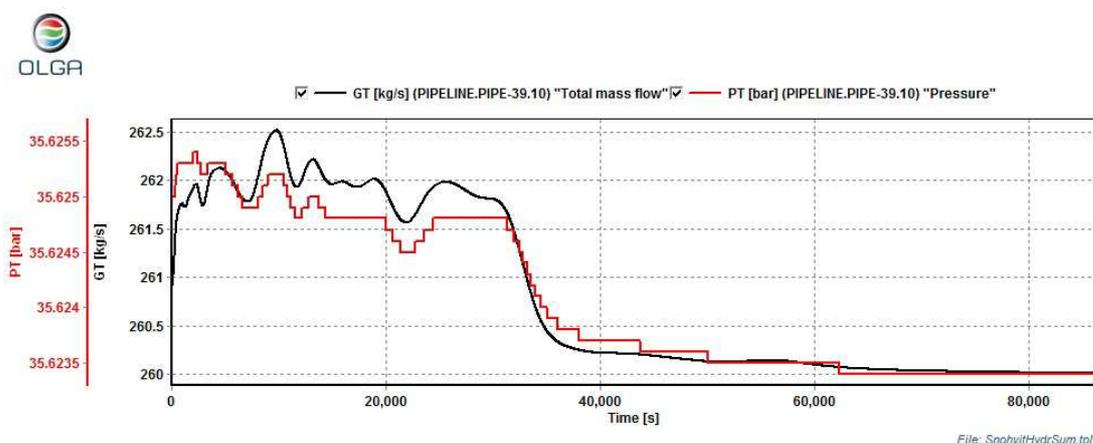


Рисунок 6 – Давление и массовый расход при запуске трубопровода в летних условиях

Из результатов моделирования можно сделать вывод о том, что поток стабилизируется в течение суток после запуска трубопроводов.

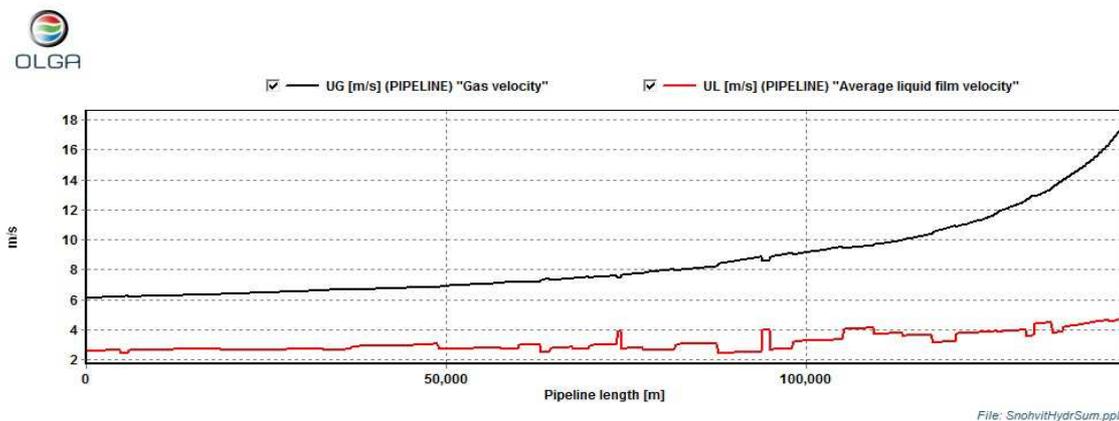


Рисунок 7 – Скорости газообразной(синим) и жидкой (красным) фаз

Отсутствие пробок, в том числе и рельефных, обусловлено недостаточной скоростью газа по отношению к скорости слоя жидкости.

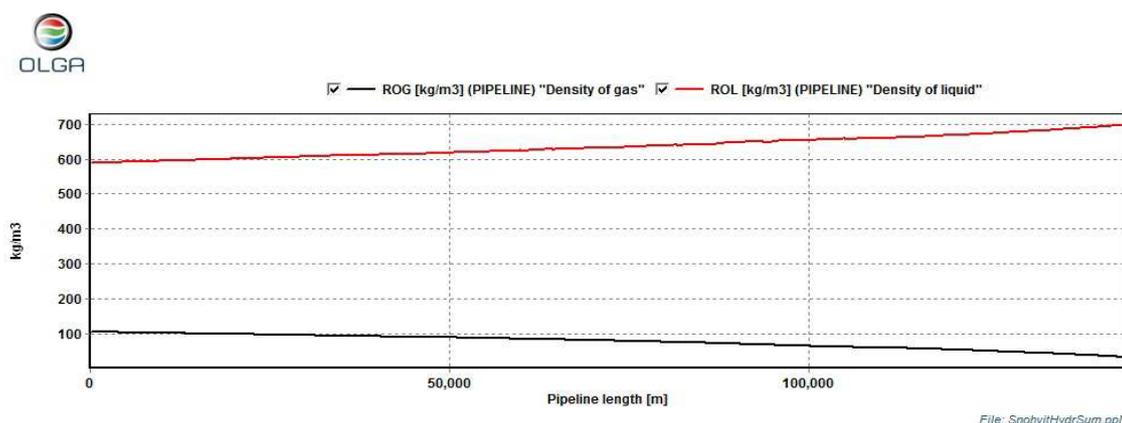


Рисунок 8 – Изменение плотности газа и жидкой фазы

### Борьба с гидратообразованием

Существует 5 основных методов борьбы с гидратообразованием:

1. Осушка продукта.
2. Поддержка температуры выше температуры гидратообразования.
3. Поддержка давления ниже давления гидратообразования.
4. Введение ингибиторов для понижения температуры гидратообразования.
5. Добавления антиагломераторов для предотвращения образования кристаллов гидратов.

Водосодержание в потоке объемное 0.05 %, молярное 1.14 %.

Для предотвращения гидратообразования в потоке был выбран 4й метод – введение метилэтиленгликоля (MEG).

Для определения возможности гидратообразования были построены кривые гидратообразования на основе статистических уравнений Ван-дер-Ваальса. Данные симуляции были проведены в системе PVTsim 19.

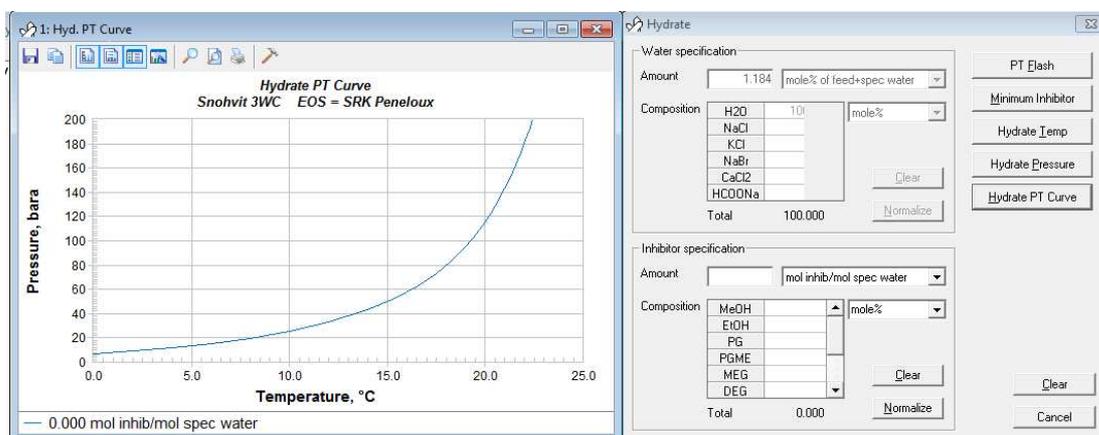


Рисунок 9 – Построение кривой гидратообразования в программе PVTsim 19

Для зимних и летних условий эксплуатации были совмещены графики гидратообразования и с помощью средств PVTsim определены количества MEG, необходимые для предотвращения образования гидратов. Обработка графиков велась в программе MATLAB 2010a. Результаты моделирования представлены ниже:

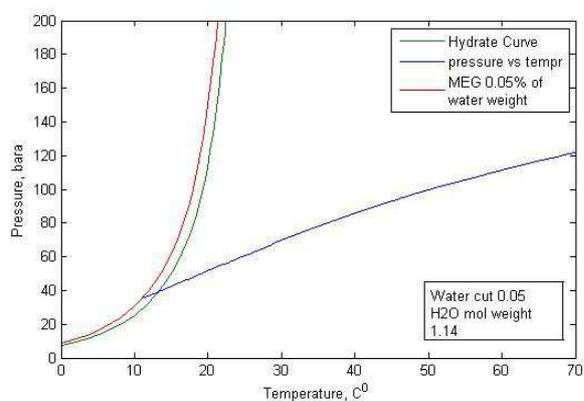


Рисунок 10 – Гидратообразование в зимних условиях

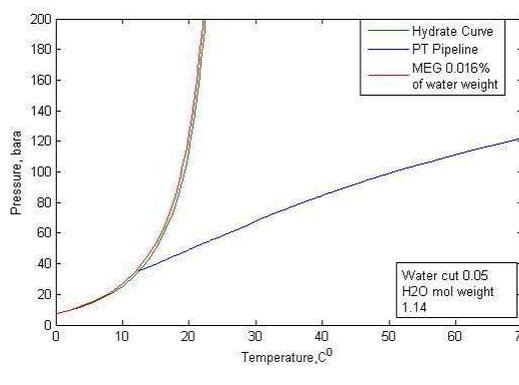


Рисунок 11 – Гидратообразование в летних условиях

Как видно из результатов моделирования, гидратообразование будет происходить в конце трубопровода. Для борьбы с гидратами необходима закачка MEG в количествах:

- 0,016 кг на каждый кг воды летом;
- 0,05 кг на каждый кг воды зимой.

Данного количества MEG будет достаточно для борьбы с гидратами при объемном содержании воды до 1 %, что является очень надежным и эффективным.

**ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА  
В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ:  
ИЗУЧЕНИЕ ОПЫТА И РАЗВИТИЕ  
НОВЫХ НАПРАВЛЕНИЙ**

## Разработка жаростойких бетонов на основе вспучивающихся сланцев Мурманской области

**Бастрыгина С. В., Конохов Р. В.** (*г. Апатиты, Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева КНЦ РАН, e-mail: bastr\_sv@chemy.kolasc.net.ru*)

**Аннотация.** Приведены свойства пористого заполнителя, полученного в результате обжига глинистых сланцев месторождения Цыпнаволок Мурманской области, сравнимых по своим показателям с традиционным шунгизитом и соответствующих основным требованиям, предъявляемым к искусственным пористым заполнителям. На основе вспученных глинистых сланцев с введением различных видов дисперсных добавок подобраны составы и изучены основные свойства жаростойкого бетона. Разработанные бетоны имеют класс по прочности В5-В7.5, по предельно допустимой температуре применения И9-И10, по остаточной прочности, усадке и термостойкости значения, не превышающие регламентируемые.

**Abstract.** The properties of a porous aggregate, obtained by burning the schist of the Tsypnavolok deposit, Murmansk region, comparable with traditional shungisite and satisfying the principal requirements to artificial porous aggregates, are presented. The expanded schist was admixed with different kinds of dispersed additives to select cement compounds. The main properties of fire-resistant concrete have been investigated. The developed concretes belong to the B5-B7.5 strength class and to the I9-I10 class according to the limiting temperature and do not exceed the regulated values in residual strength, shrinkage and thermal resistance.

**Ключевые слова:** вспучивающиеся сланцы, дисперсные добавки, жаростойкий бетон, состав, свойства.

**Key words:** expanded schist, dispersed additives, fire-resistant concrete, composition, properties.

К настоящему времени на территории Мурманской области геологами выявлен ряд проявлений сланцев, обладающих способностью вспучиваться при нагревании с образованием гравиеподобных зерен искусственного пористого заполнителя. Наиболее крупное проявление вспучивающихся сланцев хлорит-серицит-кварцевого состава выявлено Кольской геолого-разведочной экспедицией на п-ове Рыбачий, с огромными прогнозными ресурсами – около 380 млн т (кат. Р<sub>1</sub> + Р<sub>2</sub>). Предыдущими исследованиями [1, 2] показана возможность их использования для получения пористых заполнителей требуемого качества, не уступающих традиционному шунгизиту из шунгитовых сланцев Республики Карелия, и легких бетонов на их основе (для получения однослойных стеновых панелей). Одним из возможных путей использования

вспучивающихся сланцев, по нашему мнению, является их применение в качестве заполнителя жаростойких бетонов. Это позволит решить возможности использования местной минерально-сырьевой базы, организовать непосредственно в Мурманской области выпуск жаростойких бетонов, сократив объемы поставок традиционных материалов для этих целей из сопредельных регионов. В качестве тонкомолотых тугоплавких добавок с целью связывания  $\text{CaO}_{\text{св}}$  планируется использовать измельченный шамот, хлоритовые породы и различные золоматериалы. Цель настоящих исследований – разработка составов, обеспечивающих получение жаростойких бетонов с температурой применения в пределах 1 000–1 100 °С.

Для проведения исследований использовалась технологическая партия сланцев ТХ-2, отобранная Центральной Кольской экспедицией (ЦКЭ) на проявлении Цыпнаволока.

По данным ЦКЭ, сланцы представлены преимущественно грубыми тонкослоистыми разностями, с прослоями алевритовых, песчано-аргиллитово-алевритовых сланцев или тонкими прослоями известковых алевролитов. Минеральный состав пород обусловлен варьирующим содержанием глинистых частиц (хлорит, биотит, серицит, гидрослюды) – от 45 до 88 %, кварца от 8 до 45 %, полевых шпатов – от 1 до 6 %. Структура сланцев пелитовая, алевропелитовая; текстура микрослоистая, тонкосланцеватая, беспорядочная.

Обязательным условием хорошего вспучивания глинистых материалов является их предварительная тепловая обработка. Для определения температуры термоподготовки осуществлялся обжиг при всех сочетаниях температур предварительного нагрева (200, 300, 400, 500 °С) при выдержке в течение 20 мин и температур вспучивания (1 140, 1 170 °С), при выдержке 7 мин. За оптимальную температуру термоподготовки принимают температуру предварительного нагрева, при которой после обжига получают гранулы с наименьшей плотностью. Исследованиями установлено, что оптимальная температура термоподготовки пробы ТХ-2 составляет 400 °С, а оптимальная температура вспучивания – 1 110 °С. Коэффициент вспучивания при температурах 1 110–1 140 °С для фракции 5–10 мм составляет 2.5–2.6.

Для получения пористого заполнителя проводился обжиг технологической пробы сланцев фракции 5–10 мм. Проба обжигалась при 1 110 °С (температура термоподготовки 400 °С). После обжига из сланцев фракции 5–10 мм, выход фракции 5–10 мм составил 68 %, фракции 10–20 мм – 32 %.

По насыпной плотности полученный заполнитель относится к маркам М500-450 и не превышает максимального значения М700 для шунгизитового гравия. Для заполнителя фракции 5–10 мм с насыпной плотностью 470 кг/м<sup>3</sup> (М500) марка по прочности составляет П75, для остальных фракций – П50. Все пробы выдержали испытания на морозостойкость, потери массы после 15 циклов замораживания-оттаивания составляют 0.4–2 % (по ГОСТ 9757-90 не более 8 %).

Проведенные лабораторно-технологические испытания показали, что пористый заполнитель, полученный из технологической пробы сланцев ТХ-2, соответствует требованиям ГОСТ 9757-90, предъявляемым к шунгизитовому гравия – ближайшему из стандартизованных аналогов вспучивающимся глинистым сланцам проявления Цыпнаволоок.

Более подробная характеристика сланцев и пористого заполнителя на их основе приведена в работе [1].

В жаростойкие бетоны на основе портландцемента необходимо вводить тонкомолотые добавки, назначение которых заключается в химическом связывании свободного оксида кальция цементного камня при нагреве свыше 500 °С в безводные силикаты и алюминаты кальция.

Наиболее распространенной и изученной тонкомолотой добавкой является шамотная, вводимая обычно в количестве около 30 % от массы портландцемента. В настоящее время применение шамотной тонкомолотой добавки ограничивается ее высокой стоимостью, превышающей в ряде случаев стоимость самого цемента. Одними из рекомендуемых дисперсных добавок для смесей на цементном вяжущем при получении жаростойких бетонов являются золосодержащие материалы, к которым относятся золошлаковые смеси (ЗШС) Апатитской ТЭЦ, образующиеся в результате сжигания углей Печорского бассейна и направляемые системой гидроудаления в отвал. В настоящее время особую актуальность приобретают вопросы более эффективного использования жидкого топлива из угля – водоугольного топлива (ВУТ), которое может служить основой эффективной замены дорогостоящих дефицитных природных энергоносителей, в особенности, мазута. Комплексное решение использования ВУТ неразрывно связано с вопросом утилизации золы от его сжигания.

Различия в структуре, а также физико-технических характеристиках исследуемых дисперсных добавок должны сказаться и на свойствах разрабатываемых бетонов.

На основе полученного в лабораторных условиях пористого заполнителя из технологической пробы ТХ-2 расчетно-экспериментальным путем подбирались составы жаростойкого бетона. Подбор составов проводился согласно рекомендациям [3, 4], ГОСТ 25820-2000 "Бетоны легкие. Технические условия" и ГОСТ 27006-86 "Бетоны. Правила подбора состава".

Для исследований использовался полученный в результате обжига при установленных оптимальных условиях пористый заполнитель пробы ТХ-2 фракций 5–10 с насыпной плотностью соответственно  $440 \text{ кг/м}^3$ . Средняя плотность зерен заполнителя в цементном тесте составила  $0.89 \text{ г/см}^3$ . В качестве мелкого заполнителя использовался дробленый шунгизитовый песок фракции 0–5 мм с насыпной плотностью  $740 \text{ кг/м}^3$  и плотностью зерен в цементном тесте  $1.32 \text{ г/см}^3$ . Водопоглощение песка 9.2 %.

В качестве тонкомолотой дисперсной добавки использовались: ЗШС Апатитской ТЭЦ (насыпная плотность  $900 \text{ кг/м}^3$ ), зола ВУТ (насыпная плотность  $220 \text{ кг/м}^3$ ), измельченный шамот (насыпная плотность  $1\,200 \text{ кг/м}^3$ ) и шунгизитовая пыль ШП (насыпная плотность  $855 \text{ кг/м}^3$ ). Добавки вводились в бетонную смесь в количестве 30 % от массы цемента.

В качестве вяжущего использовался портландцемент норвежского производства Cem II/A-V 42.5 R.

Подобранные составы и основные свойства бетона приведены в таблицах 2 и 3. Наибольшая прочность в проектном возрасте (класс В7.5) соответствует составу с ЗШС – 10.1 МПа. У составов с шунгизитовой пылью, молотым шамотом и золой ВУТ прочность составляет 8.85, 7.75 и 7.66 МПа, соответственно. Эти составы имеют класс по прочности В5. Наибольшие значения по остаточной прочности – 59.4 % имеет состав с шунгизитовой пылью, наименьшие (43.5 %) – с золой ВУТ. Также состав с шунгизитовой пылью имеет самые высокие значения по плотности –  $1\,149 \text{ кг/м}^3$ . Состав с ЗШС помимо больших значений прочности при сжатии (по сравнению с составами с молотым шамотом, шунгизитовой пылью и золой ВУТ), имеет меньшую усадку при 800 и 1 000 °С. Потери массы всех образцов после 25 воздушных теплосмен не превышают допустимые ГОСТ 20 %. Для определения класса бетона по предельно допустимой температуре применения были проведены испытания по определению температур деформаций под нагрузкой, которые показали, что бетоны с ЗШС и молотым шамотом соответствуют классу И10, бетоны с шунгизитовой пылью и золой ВУТ – классу И9.

Таблица 2 – Составы жаростойкого бетона на основе вспучивающихся сланцев

№ состава	Фактический расход материалов на 1 м <sup>3</sup> бетона								Плотность смеси, кг/м <sup>3</sup>	Плотность бетона, кг/м <sup>3</sup>	
	Цемент, кг	Сланцы фр. 5–10, кг/л	Шунгизит. песок фр. 0–5 кг/л	Шамот молотый, кг	ЗШС, кг	Шунгизитовая пыль, кг	Зола ВУТ, кг	Вода, л		после ТВО	в сухом состоянии
1	338	278/634	370/528	–	101	–	–	214	1 302	1 276	1 131
2	320	270/614	363/518	–	–	–	110	250	1 313	1 150	1 000
3	348	287/652	380/543	–	–	104	–	220	1 340	1 296	1 149
4	321	265/602	351/502	96	–	–	–	206	1 240	1 211	1 079

Таблица 3 – Основные свойства жаростойкого бетона на основе вспучивающихся сланцев

№ состава	Прочность при сжатии, МПа, после			Остаточная прочность при 800 °С, %	Усадка, %, после обжига, °С		Термостойкость после 25 возд. теплосмен, %	Коэффициент теплопроводности, Вт/м·°С
	ТВО и сушка	28 сут.	28 сут. и сушка		800	1 000		
1	9.47	9.74	10.1	47.8	0.57	0.85	7.48	0.370
2	7.25	7.40	7.66	43.5	0.65	1.15	8.50	0.283
3	8.34	8.63	8.85	59.4	0.57	0.99	7.60	0.337
4	7.60	7.68	7.75	53.8	0.71	0.85	6.65	0.306

Наибольшие прочностные характеристики жаростойких бетонов с добавками ЗШС и шунгизитовой пылью по сравнению с составами с золой ВУТ и шамотом связаны с их химико-минералогическим составом, в частности, с содержанием стекловидной фазы. Наибольшие значения остаточной прочности, как и усадки, имеет состав бетона с шунгизитовой пылью. Анализируя полученные результаты можно сделать вывод, что использование исследуемых видов дисперсных добавок позволяет получить жаростойкий бетон на основе вспучивающихся сланцев, удовлетворяющий ГОСТ 20910-90 "Бетоны жаростойкие. Технические условия" по всем основным показателям.

**Библиографический список**

1. Крашенинников, О. Н., Журбенко Г. В., Вороняева Л. В. Глинистые сланцы Кольского полуострова как сырье для получения пористых заполнителей. 17 с. Деп. в ВИНТИ 29.01.99. № 297-В99.

2. Крашенинников, О. Н., Журбенко Г. В. Исследование физико-химических процессов при обжиге глинистых сланцев полуострова Средний / Исследование технологии и свойств строительных и технических материалов из природного и техногенного сырья. – Апатиты : КНЦ РАН, 2002. – С. 35–39.

3. Инструкция по технологии приготовления жаростойких бетонов. СН 156-79. – М. : Стройиздат, 1979. – 40 с.

4. Руководство по подбору составов конструктивных легких бетонов на пористых заполнителях. – М. : Стройиздат, 1975. – 61 с.

## **Влияние способа измельчения угля на структуру и свойства водоугольного топлива**

**Белогурова Т. П.<sup>1</sup>, Миханошина И. А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>(г. Апатиты, Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева КНЦ РАН, лаборатория бетонов)

<sup>2</sup>(г. Мурманск, ФГБОУ ВПО "Мурманский государственный технический университет", кафедра промышленного и гражданского строительства, e-mail: [belog\\_tp@chemy.kolasc.net.ru](mailto:belog_tp@chemy.kolasc.net.ru))

**Аннотация.** В статье представлены результаты изучения влияния способа измельчения угля на структуру и свойства водоугольного топлива. Исследования, проведенные с помощью физико-химических методов анализа и растровой микроскопии показали, что наиболее перспективным способом измельчения угля является кавитационная обработка.

**Abstract.** The article presents the results of studying the influence of the method of coal grinding on the structure and properties of coal-water fuel. Research conducted with the assistance of using physico-chemical methods of analysis and scanning microscopy have shown that the most perspective way of grinding coal is cavitation processing.

**Ключевые слова:** уголь, антрацит, измельчение, дезинтегратор, кавитация.

**Key words:** coal, anthracite, crushing, disintegrator, cavitation.

ИХТРЭМС КНЦ РАН совместно с Институтом теплофизики им. С. С. Кутателадзе Сибирского отделения (ИТ СО) РАН проводятся исследования по оптимизации технологии приготовления и сжигания ВУТ, изучению получаемых золоотходов и эффективности их использования в бетонах. В настоящей работе приведены результаты исследования шести образцов водоугольного топлива, приготовленных из двух разных углей (антрацит и беловский). Приготовление ВУТ осуществлялось тремя различными способами – измельчением углей на шаровой барабанной мельнице (ШБМ), измельчением на ШБМ с дополнительным доизмельчением на дезинтеграторе и измельчением на ШБМ с последующей обработкой на гидродинамическом генераторе кавитации.

Пробам были присвоены следующие обозначения:

- 1 – А – антрацит, измельченный на шаровой барабанной мельнице;
- 2 – АД – антрацит, с доизмельчением на дезинтеграторе;
- 3 – АК – антрацит, с доизмельчением на генераторе кавитации;
- 4 – У – уголь из Беловского разреза, измельченный на шаровой барабанной мельнице;

5 – УД – уголь из Беловского разреза, с доизмельчением на дезинтеграторе;  
6 – УК – уголь из Беловского разреза, с доизмельчением на генераторе кавитации.

На рис. 1 представлены основные минеральные фазы проб антрацита и угля из Беловского разреза при различных видах обработки. Минералогический анализ выполнен оптическими методами в отраженном свете на полированных шлифах при помощи микроскопов ПОЛАМ Р-311 и Ultraphot-3.

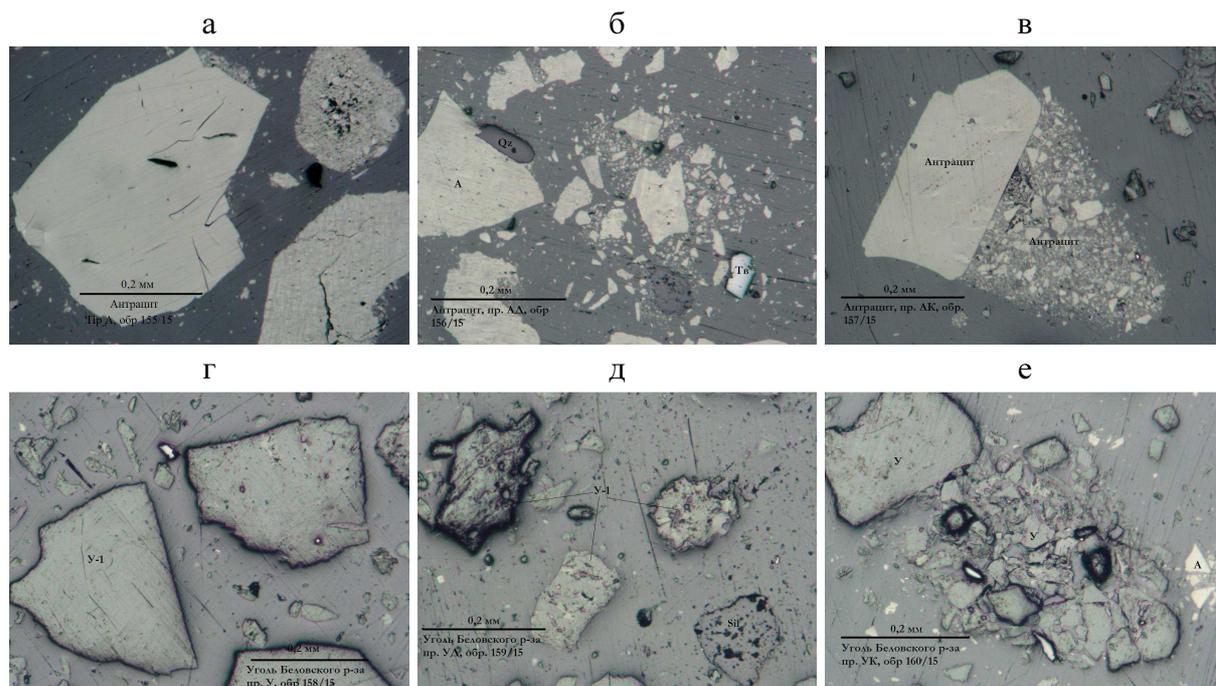


Рисунок 1 – Минеральные фазы углей: а – А – антрацит, крупные зерна;  
б – АД – антрацит, мелкие зерна; в – АК – сочетание крупного обломка антрацита с пылевыми частицами; г – У – однородные частицы угля Беловского разреза; д – УД – обломки угля Беловского разреза с примесью силикатов; е – УК – комочки пылевидных частиц бурого угля

Проба А – антрацита, измельченного на шаровой барабанной мельнице, представлена графитоподобным веществом, с размером зерен 0.05–1 мм. В пробе в незначительном количестве присутствует фракция менее 0.05 мм, образующая каемки на более крупных зернах или самостоятельные комочки. Кроме антрацита, в пробе также присутствует примесь кварца, гематита, пирита и твердой фазы, в объеме 1–3 %.

Проба АД – антрацита с доизмельчением на дезинтеграторе, по сравнению с пробой А, характеризуется уменьшением максимального размера зерен до 0.6 мм. При этом соответственно увеличивается количество частиц мелких классов. Количество примесей такое же, как и в пробе А. Мелкие зерна проявляют тенденцию к окомкованию, но массовой флокуляции не наблюдается.

Проба АК – антрацита с доизмельчением на генераторе кавитации, представлена не чистым антрацитом, а смесью антрацита с углем (возможно, бурым) в пропорции, примерно, 1 : 2. Наибольший размер зерен составляет 0.9 мм. Для пробы характерно присутствие большого числа тонких частиц, проявляющих тенденцию к образованию флокул размером менее 50 мкм, которые частично налипают на крупные частицы антрацита, а частично образуют самостоятельные комочки.

Проба У – угля из Беловского разреза, измельченного на шаровой мельнице, относится, вероятно, к бурому углю, судя по низкому коэффициенту отражения витринита и остаткам растительного и другого происхождения. В составе бурого угля присутствует незначительное количество частиц более высокой степени метаморфизма. В целом уголь достаточно однородный и чистый с небольшим количеством ( $\approx 1\%$ ) примесей сульфидов и оксидов.

Проба угля УД характеризуется, по сравнению с У, резким уменьшением размера частиц, наибольшая крупность которых составляет 0.2 мм. В то же время в пробе не наблюдается существенного окомкования частиц, что свидетельствует, возможно, о рациональном способе измельчения.

Проба угля УК представляет собой не чистый уголь, а смесь бурого угля с антрацитом, примерно в соотношении 1 : 1. По-видимому, особенностью измельчения является интенсивное образование пылевидных частиц размером менее 0.05 мм, которые образуют многочисленные комочки (флокулы). Максимальный размер частиц в пробе 0.9 мм. В числе крупных частиц наблюдается как антрацит, так и уголь, а флокулы чаще являются антрацитовыми. Это соответствует, вероятно, свойствам частиц графита, обладающего высокой электропроводностью и способностью электризоваться.

Рентгенографическими исследованиями установлено, что на рентгенограммах всех проб углей на фоне основной аморфной массы с достаточной вероятностью идентифицируются пики кварца, гематита, пирита, анортита, мусковита и силикатов кальция. Другие кристаллические фазы не удалось достоверно установить из-за малого их содержания. Пробы А, АД и АК, так же, как и пробы У, УД и УК идентичны между собой. В антрацитовых пробах отмечается несколько большее содержание графита, пирита, и гематита, что согласуется с минералогическим анализом углей.

Гранулометрический состав и дисперсность являются важными показателями для ВУГ. Исследования по распределению частиц по размерам углей, выполнены с помощью лазерного дифракционного анализатора SALD-201V.

Определение удельной поверхности углей выполнялось на электронном лабораторном анализаторе удельной поверхности марки Flowsorb II 2300 американской фирмы MICROMERITICS.

Обобщенные результаты анализа гранулометрического состава и удельная поверхность углей при различных способах измельчения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Гранулометрический состав и удельная поверхность углей

Уголь	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г	Максимальный размер частиц, мкм	75 % частиц с размером менее, мкм
А	39.5	110	33.5
АД	65.9	50	16.6
АК	89.2	15	6.8
У	4.8	120	79.1
УД	5.2	110	74.6
УК	7.8	100	51.2

Приведенные результаты показывают, что удельная поверхность антрацитового угля практически в 10 раз выше угля из Беловского разреза. При доизмельчении удельная поверхность обоих углей повышается. У антрацитового угля после кавитационной обработки она достигает 89.2 м<sup>2</sup>/г. Максимальный размер частиц обработанного антрацитового угля составляет 15–50 мкм, что гораздо меньше, чем у беловского. При этом в доизмельченных пробах 75 % частиц имеют размер менее 16.6 мкм (после дезинтегратора) и 6.8 мкм (после кавитации). Это свидетельствует о высокой тонкости помола антрацитового угля.

Уголь из Беловского разреза имеет сравнительно низкую удельную поверхность от 4.8 мкм до 7.8 мкм. В исходной пробе размер частиц варьирует от 5 до 120 мкм. В доизмельченных пробах заметно повышается количество мелких частиц размером от 0.5 до 5 мкм при максимальном размере частиц 100–110 мкм. Основная масса частиц (75 %) в этих пробах имеют размер менее 74.6 мкм (после дезинтегратора) и 51.2 мкм (после кавитации).

Из анализа полученных данных можно заключить, что антрацитовый уголь является не только более дисперсным по сравнению с беловским, но и обладает, вероятно, более высокой пористостью. На это косвенно указывают данные по высокой удельной поверхности антрацита, которая представляет собой сумму не только наружных поверхностей всех частиц порошка, но и внутренних поверхностей открытых пор или каналов в единице объема.

С целью изучения внутренней структуры углей и идентификации результатов физико-химических анализов были проведены исследования на электронном микроскопе SEM LEO-420 (рис. 2).

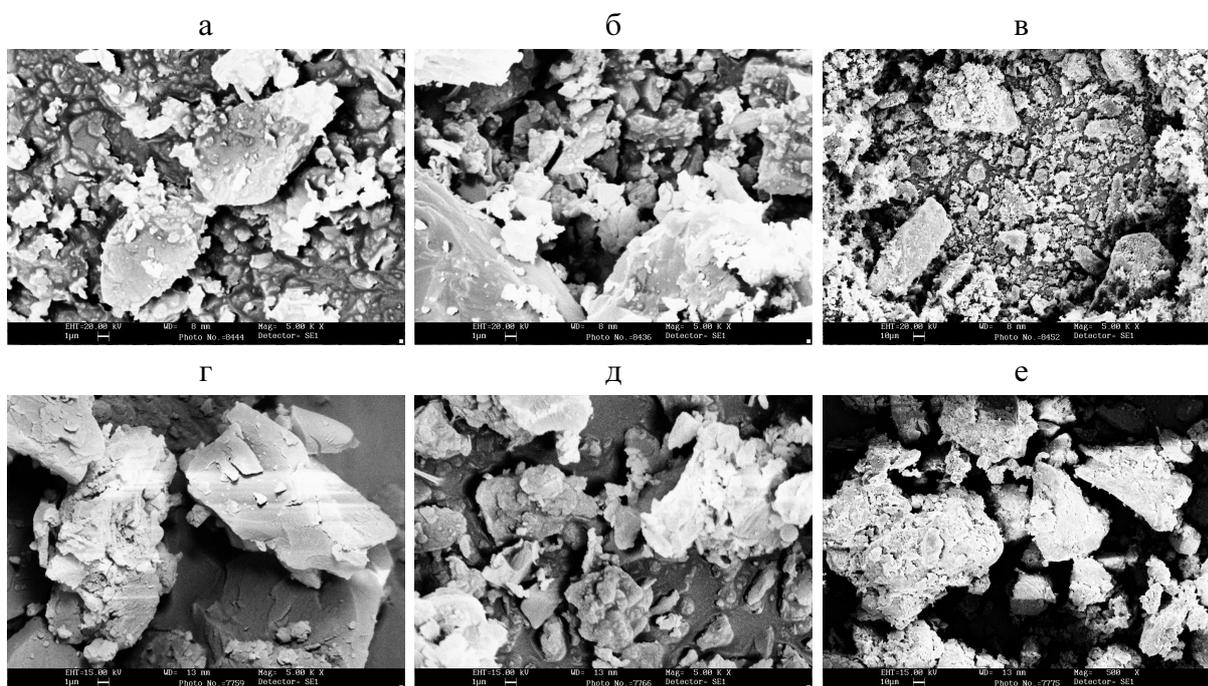


Рисунок 2 – Микроструктура частиц проб угля (SEM LEO-420):  
а – А, б – АД, в – АК, г – У, д – УД, е – УК

Микромониторинговая информация позволяет охарактеризовать порошковое состояние частиц по их дисперсному разбросу, развитой поверхности, форме скола и другим показателям. На представленных фото видно, что порошковый материал всех проб состоит из слоистых частиц с большим количеством мелкой фракции размером около 0.5 микрона. В пробах антрацита мелких частиц больше, чем в угле. При этом они имеют более пористую структуру. После обработки в дезинтеграторе их количество в обеих пробах увеличивается. На снимках видно, что мелкая фракция часто агломируется на поверхности крупных частиц. После кавитационной обработки в пробе антрацита наблюдается большое количество тонкодисперсных конгломератов шарообразной формы; в пробе угля они крупнее. В целом после кавитации большинство частиц обеих проб имеют форму скола, для которой характерно термодинамически неравновесное состояние. Поскольку общее количество частиц в пробе антрацита больше, можно предположить, что под действием внешних воздействий, в частности, температуры, в ней будут быстрее изменяться морфологические особенности частиц порошкообразного материала, т. е. горение будет проходить более эффективно.

## Повышение прочности и долговечности материалов из древесины

**Глушко Е. Н.** (г. Мурманск, ФГБОУ ВПО "Мурманский государственный технический университет", кафедра промышленного и гражданского строительства, e-mail: [glushkoen@mstu.edu.ru](mailto:glushkoen@mstu.edu.ru))

**Abstract.** By one of priority directions of development of economy of our country it is connected with introduction of new effective building materials and products which should differ profitability and high operational properties. Wood and wood composites concerns such materials. Now, active workings out on increase of their durability are conducted.

Основные направления повышения прочностных качеств и возможности применения клеедеревянных элементов это – повышение гидрофобности, как отдельных изделий, так и сооружений в целом, повышение стабильности геометрических размеров изделий и конструкций, повышение сейсмостойкости конструкций, обеспечение высокой пожарной безопасности зданий, сооружений и конструкций, обеспечены высокой антисептической защищённости зданий, сооружений и конструкций, создание экологически чистого жилища, обеспечение возможности строительства и эксплуатации в самых сложных климатических, горно-геологических и сейсмических условиях.

Значительные силовые воздействия, колебания температур в условиях повышенной влажности приводят к преждевременной потере несущей способности конструкции или изделия из древесины. Анализ зависимости долговечности древесины от напряжения, воздействия влажности, температуры дает возможность рассмотрения термофлуктуационной концепции механического поведения твёрдого тела в целях уточнения метода прогнозирования долговечности и длительной прочности модифицированной древесины в условиях длительного нагружения.

Особенности длительной прочности достаточно хорошо описываются известной формулой С. Н. Журкова, отражающей термофлуктуационный характер процесса разрушения:

$$e_3 = e_0 * u_{чзх} (\Gamma_0 - \gamma \sigma) \cdot K * E \gamma b$$

где  $t_0$  – постоянная, численно близкая к периоду тепловых колебаний атомов ( $10^{-11} \dots 10^{-13}$  с);  $T$  – абсолютная температура;  $R$  – постоянная Больцмана;  $\gamma$  – структурный коэффициент, чувствительный к изменению состояния материала;  $U_0$  – энергия активации процесса разрушения.

Использование формулы для практических оценок характеристик длительной прочности в ряде случаев приводит к значительным ошибкам как по причине нестабильности и неоднородности материалов, с одной стороны, так и по причине фактического увеличения напряжения при испытаниях пластичных материалов в условиях постоянной нагрузки. Кроме того, применение данной формулы при сравнительно малых напряжениях может давать заниженные результаты. В частности, из формулы следует существование конечного времени до разрушения  $t_p$  при отсутствии напряжения и независимость  $t_p$  от температуры при  $\sigma = U_0/\gamma$ .

Принципиально важное значение имеет установление численных значений энергии активации  $U_0$  процесса разрушения. Считается, что энергия активации близка к энергии сублимации для металлов и к энергии химических связей для полимерных материалов.

Знание величины энергии активации  $U_0$  позволяет использовать формулу С. Н. Журкова для прогнозирования долговечности металлических материалов. Для ПКМ требуется знать, как указывалось выше, энергию химических связей. Отметим также, что к настоящему времени получили известность и другие более универсальные зависимости (Пинеса Б. Я., Трунина И. И. и др.), свободные от некорректностей, присущих формуле Журкова С. Н. и являющиеся ее обобщением.

Модифицированная древесина в строительстве.

Прочность древесины, модифицированной серой, превышает прочность натуральной древесины в 0,2 раза, а водопоглощение снижается в 2,4 раза. Рекомендуется использовать для изготовления строительных изделий и элементов конструкций, работающих во влажных и сухих условиях.

Древесина модифицированная керосином имеет повышенную прочность (115 % от прочности натуральной древесины) и водостойкость, а также высокую биостойкость. Рекомендуется применять в качестве защиты от гнили и поражения насекомыми.

Древесина модифицированная эмукрилом имеет повышенную прочность (107 % от прочности натуральной древесины), высокую долговечность и низкое водопоглощение (*через* месяц в 5 раз ниже чем у натуральной древесины). Рекомендуется применять для изготовления строительных изделий и конструкций, подверженных действию воды и других жидкостей.

Модифицирование древесины – это пропитка мономером или низковязким олигомером, с последующим отверждением под действием тепла, химических реагентов или ионизирующих излучений.

Синтетический полимер заполняет свободные пространства в пористой структуре материала и взаимодействует с органическими веществами, образующими древесную ткань. Недостатки древесины такие как набухание и усушка, коробление и растрескивание, загнивание и возгорание ограничиваются или полностью устраняются. С сохранением ценных свойств (невысокая плотность, малая тепло и звукопроводность, химическая стойкость) В древесине улучшаются механические характеристики модифицированной древесины, зависящие от свойств натуральной древесины, определяемых ее породой, строением, плотностью, пористостью, смолистостью, влажностью и т. п.

Обработке полимерами подвергаются заготовки из натуральной древесины, древесные полуфабрикаты заводского изготовления: древесно-волокнистые и древесностружечные плиты, шпон, клееная фанера, что значительно улучшает их свойства.

От особенностей модификатора: от его химического строения (мономер или олигомер), реакции отверждения (полимеризация или поликонденсация), строения отвержденного продукта (линейное или сетчатое) зависят свойства модифицированной древесины. Олигомеры отверждаются быстрее, чем мономеры, с меньшей затратой энергии и образуют более стойкие и прочные продукты отверждения, что немаловажно для свойств модифицированной древесины [18].

От реакции отверждения зависит строение отвержденного продукта – линейное или сетчатое, а это, в свою очередь, определяет важные свойства модифицированной древесины, такие как: теплостойкость, упругость, стойкость в органических растворителях.

Целенаправленно достигают и используют на практике: повышенную прочность, химическую стойкость, малую истираемость. Комплексность действия полимеров проявляется в том, что обработанная ими древесина становится одновременно биостойкой, малогорючей, формостабильной и химически стойкой. В результате долговечность изделия из такой древесины значительно возрастает и, по сравнению с первоначальными свойствами и технологическими затратами, достигается высокий экономический эффект, особенно если для пропитки применяются полимеры, содержащие отходы химических производств, заменяя антисептики и антипирены, и используются для этих целей местные продукты из отходов производства, за счет утилизации вредных выбросов.

Современная технология модифицирования древесины предусматривает в качестве начального этапа предварительное вакуумирование, т. е. удаление воздуха из пористой структуры для более глубокого последующего наполнения ее пропитывающим полимером [18].

Пропитка производится при всестороннем гидростатическом давлении. Пропиточная жидкость перемещается по капиллярам под действием разности давлений. На процесс влияют вязкость и температура пропитывающих составов, их поверхностное натяжение и угол смачивания, влажность и температура древесины, гидродинамическое сопротивление поверхностного слоя, трение в капиллярах древесины.

Во многих случаях модифицирования термохимическим способом пропитывающие олигомеры вводят в древесину с растворителями, которые требуется удалять методом высушивания перед отверждением полимера и удаляется вода, содержащаяся в древесине до пропитки. Так, при пропитке поликонденсационными полимерами древесина может иметь влажность 6–14 %, то при использовании для пропитки полимеров, отверждающихся по реакции полимеризации, например, полиэфирмалеинаты, то содержание влаги в древесине недопустимо, так как она ингибирует процесс отверждения.

Следует учитывать, что процесс отверждения полимера, особенно содержащего отвердитель (катализатор, инициатор, ускоритель), может сопровождаться экзотермическим подъемом температуры, иногда до 170–200 °С. Это нарушает заданный режим термообработки, приводит к преждевременному отверждению, появлению внутренних напряжений и может вызвать деструкцию модификатора при одновременной потере механических свойств древесины [18].

Отверждение пропитывающих веществ может происходить по реакции поликонденсации или полимеризации. В первом случае имеют дело с терморактивными олигомерами или их растворами (в воде, спиртах, ацетоне), во втором – мономерами. При использовании растворенных олигомеров растворители должны быть удалены просушкой из массы пропитанной древесины до начала процесса отверждения. Мономеры, наоборот, должны быть сохранены от испарения.

Из фенолоальдегидных полимеров для пропитки применяют начальные продукты синтеза (олигомеры), обладающие сравнительно небольшой молекулярной массой и способные к дальнейшим реакциям под действием теплоты или химических реагентов [16].

Из олигомеров находящихся при нормальных условиях в жидком состоянии, готовят пропиточные составы для древесины.

Хорошими пропиточными свойствами обладают мочевиноформальдегидные полимеры и схожие с ними сополиконденсаты-мочевиномеламиновые, мочевинофурфурольные, мочевиномеламинофурфурольные. Процесс отверждения следует проводить при 120...130 °С.

Для повышения эластичности материалов, упрочнения, гидрофобизации и придания специальных свойств, используют водные дисперсии полимеров (синтетические латексы с введением пластификаторов (чаще – сложные эфиры), что повышает устойчивость латексов введением в них стабилизаторов, препятствующих процессу коагуляции.

Древесина и древесные композиты, при увеличении их долговечности, при правильно подобранном температурно-влажностном режиме и нагрузке ниже предела длительного сопротивления, являются долговечным конструкционным материалом.

В одном из древнейших конструкционных материалов, дереве, природа использовала природные нанотрубки и нанофибриллы, роль которых выполняют лигноцеллюлозные элементы. Их прочность превышает прочность стали как минимум в два раза. Направленное использование лигноцеллюлозных нанофибрилл может стать новой парадигмой в строительстве, поскольку в производстве таких конструкций будут использованы только возобновляемые ресурсы.

В настоящее время в ряде университетов США и Европы проводятся исследования с целью модификации поверхности лигноцеллюлозных волокон, что позволит использовать их в качестве самостерилизующихся, саможизнеспособных элементов, в том числе электронных лигноцеллюлозных приборов: как активных, так и пассивных сенсоров, осуществляющих мониторинг структурных нагрузок, температуры, влажности, теплового режима работы приборов. Однако создание лигноцеллюлозной техники – вопрос более отдаленного будущего по сравнению с другими перечисленными возможностями. Подобные "умные" конструкции будут способны осуществлять самомониторинг – нанодатчики температуры, давления, механических напряжений вовремя сообщат в эксплуатационные службы о развитии трещин в материале, позволяя сэкономить большое количество трудодней обслуживающего персонала и значительно увеличить безопасность конструкций. Нанодетек-

торы способны не только контролировать состояние самой конструкции, но и ее окружения, дома, способные "чувствовать" присутствующих в них людей [21].

### **Библиографический список**

1. Иванов, В. А. Конструкции из дерева и пластмасс / В. А. Иванов, В. З. Клименко. – Киев : Вища школа. Головное изд-во, 1983. – 279 с.
2. Химерик, Т. Ю. Использование отходов деревообрабатывающей промышленности в строительстве / Т. Ю. Химерик, – Киев : Будивэльнык, 1989. – 89 с.
3. Йенсен, В. Химия древесины / пер. с финского Р. В. Заводов под ред. М. А. Иванова. – М. : Лесная пром-сть, 1982. – 400 с.
4. Перелыгин, Л. М. Древесиноведение / Л. М. Перелыгин. – М. : Лесная пром-сть, 1969. – 316 с.
5. Ашкенази, Е. К. Анизотропия древесины и древесных материалов / Е. К. Ашкенази. – М. : Лесн. Пром-сть, 1978. – 224 с.
6. Древесина, показатели физико-механических свойств: рук. техн. материалы / Ком. Стандартов, мер и измерительных приборов. – М. : Стандартиздат, 1962. – 74 с.
7. Иванов, Ю. М. Исследования физических свойств древесины / Ю. М. Иванов, В. А. Баженов. – М. : Изд-во АН СССР, 1959. – 239 с.
8. ГОСТ 21126-75. Методы ускоренных испытаний на долговечность и сохраняемость в агрессивных средах (общие положения). – М. : Госстандарт СССР, 1982 – 74 с.
9. Леонтьев, Н. Л. Влияние влажности на физико-механические свойства древесины / Н. Л. Леонтьев. – М. : Госбумиздат, 1962. – 114 с.
10. Чулицкий, Н. Н. Исследование факторов и характеристик режимов сушки древесины / Н. Н. Чулицкий, – М. : ВИАМ, 1934 – Вып. 13. – 164 с.
11. Мартынов, К. Я. Комплексная защита древесины в строительных изделиях и конструкциях / К. Я. Мартынов. – Новосибирск : Наука. Сиб. Издат. Фирма РАМ, 1996. – 162 с.
12. Иванов, Ю. М. О физико-механических испытаниях модифицированной древесины / Ю. М. Иванов. Пластификация и модификация древесины. – Рига, 1970. – С. 17–25.
13. Хрулев, В. М. Обработка древесины полимерами / В. М. Хрулев, Р. И. Рыков. – Улан-Удэ : Бурят. Кн. Изд-во, 1984. – 144 с.

14. Хрулев, В. М. Состав и структура композиционных материалов / В. М. Хрулев, Ж. Т. Тентиев, В. М. Курдюмова, / Под общ. ред. В. М. Хрулева. – Бишкек : Полиглот, 1997. – 124 с.
15. Хрулев, В. М. Модифицированная древесина в строительстве / В. М. Хрулев. – М. : Стройиздат, 1986. – 112 с.
16. Хрулев, В. М. Новые концепции в теории и технологии композиционных древесно-полимерных материалов / В. М. Хрулев, Н. А. Машкин / Изв. Вузов. Строительство. – Новосибирск, 1999. – № 7. – С. 61–64. 81.
17. Ярцев, В. П. Прогнозирование работоспособности полимерных материалов в деталях и конструкциях зданий и сооружений : учеб. пособие / В. П. Ярцев. – Тамбов : Изд-во ТГТУ, 2001. – 149 с.
18. Журнал "Российские нанотехнологии" № 1-2. 2010 год.

## Получение гранулированного серпентинито-магнезита с применением смесителя-гранулятора периодического действия

**Иванова Т. К., Кременецкая И. П.** (г. Анапиты, ФГБУН Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева КНЦ РАН, [ivanovatk@chemy.kolasc.net.ru](mailto:ivanovatk@chemy.kolasc.net.ru), [kremen@chemy.kolasc.net.ru](mailto:kremen@chemy.kolasc.net.ru))

**Аннотация.** Применение гранулированных материалов в химической промышленности обладает целым рядом достоинств по сравнению с их использованием в виде мелкодисперсных порошков. Разработана методика гранулирования серпентинито-магнезита с использованием смесителя-гранулятора типа ТЛ-020. Приведены основные характеристики полученных гранул – насыпная плотность, водопоглощение, прочность при сжатии, прочность при истирании.

**Abstract.** The use of granular materials in the chemical industry has a number of advantages compared with their use in the form of fine powders. The technique of granulation serpentine- magnesite using a mixer-granulator type TL-020. The main characteristics of the pellets – bulk density, water absorption, compressive strength, abrasion strength.

**Ключевые слова:** серпентин, гранулирование, гранулы, насыпная плотность, водопоглощение, прочность при сжатии, прочность при истирании.

**Key words:** serpentine, granulation, granules, bulk density, water absorption, compression strength, abrasion strength.

В настоящее время крайне остро стоит вопрос очистки техногенных вод, а именно сточных вод металлургических, гальванических и других промышленных производств, карьерных и шахтных вод от широкого ряда тяжелых металлов (ТМ). Ранее установлено, что термоактивированные серпентиновые минералы являются перспективным материалом для использования в технологиях очистки воды от ТМ [1]. Для очистки водных объектов с высоким уровнем загрязнения целесообразно использовать фильтр с загрузкой из гранулированного реагента.

Цель данной работы – получить гранулы термоактивированного серпентинито-магнезита (СМ) с подходящим размером (1-2 мм), которые можно было бы использовать в насыпном фильтре.

Серпентинит (Халиловское месторождение магнезита, Оренбургская обл.), основным компонентом которого является ортохризотил, имеет следующий химический состав, мас. %: 36,68 SiO<sub>2</sub>, 31,80 MgO, 4,15 Fe<sub>общ</sub>, 0,20 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0,57 CaO, 14,69 п.п.п.

Измельчение СМ проводили в шаровой мельнице МБЛ при массовом отношении материала и мелющих тел (металлические цилиндры) 1 : 3. Мате-

риал измельчали в течение 1,5 ч до остатка на сите 008 – 10 %, после чего полученный порошок термоактивировали. Обжиг проводили в лабораторной вращающейся печи при скорости вращения 40–50 об/мин, силе тока 7,3 мА, температуре в середине обжиговой камеры 700–800 °С. Производительность печи за 9 ч работы составляет 20–23 кг. Гранулирование СМ происходило с использованием смесителя-гранулятора типа ТЛ-020.

Для подбора режима гранулирования было поставлено три серии экспериментов. В первой серии порошок загружали в смеситель в количестве 1,2 л (1 кг). Предварительно с целью подавления пылеобразования проводили увлажнение материала, для чего в порошок вводили 200 мл воды. Полученную сыпучую увлажненную массу загружали в чашу смесителя и начинали процесс гранулирования. При скорости вращения смесительного ротора 2 850 об/мин через пневматический ручной распыскиватель вводилось 100 мл жидкого связующего. По достижении удовлетворительного размера гранул частоту вращения ротора уменьшали до 2 000 об/мин и вводили дополнительное количество порошка, т. е. производили опудривание материала. Количество порошка для завершения процесса гранулирования составляло 10 % (100 г) от массы исходной навески. На выходе получили гранулы, размер которых при визуальном анализе составил 0,5 мм.

Цель второго эксперимента заключалась в том, чтобы увеличить размер полученных гранул. Для этого в процесс гранулирования ввели дополнительный этап. Вторым эксперимент почти полностью повторяет первый, отличие заключается в том, что после снижения скорости вращения ротора процесс опудривания чередовали с увлажнением полученных мелких гранул. Количество чередований довели до шести, расход материала на опудривание составил 90 г, расход воды 36 мл. На выходе получили гранулы размером 1 мм.

Для еще большего увеличения крупности гранул поставили третий эксперимент, в котором было 10 чередований вода-опудривание. Расход материала на опудривание 150 г, количество воды, которое потребовалось для смачивания гранул – 60 мл. Полученные гранулы имели размер 2 мм. Далее укрупнять гранулы нецелесообразно, так как полученный размер достаточен для использования в насыпном фильтре.

Сложное турбулентное движение материала обеспечивает кратковременность процесса, продолжительность гранулирования составляла около 5 мин. После каждого опыта материал выгружался на поддон и сушился при атмосферных условиях в течение 24 ч. После чего полученные гранулы под-

вергали ситовому анализу. Примеси железа в материале придают гранулам светло-коричневую окраску, форма гранул близка к сферической. Данные о распределении гранул по размерам приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Фракционный состав гранулированного СМ

№ опыта	Масса полученных гранул, г	Размер гранул, мм							
		<1		1-2		2-3		>3	
		вес фракции, г / содержание фракции, %							
1	956	897	94	59	6	–	0	–	0
2	1 161	172	15	944	81	45	4		0
3	1 163	42	4	429	37	396	34	296	25

В первом опыте диаметр полученных гранул не превышает 2-х мм. Основное количество гранул (94 %) имеет размер менее 1 мм. Средний диаметр гранул может изменяться в большую сторону за счет увеличения количества добавляемой воды или дополнительного количества порошка, подаваемого перед завершением процесса. При этом добавка сухого порошка снижает влажность готовых гранул и улучшает их форму [2]. Во втором опыте сначала были получены гранулы, размер которых соответствовал гранулам первого опыта. Далее эти гранулы служили зародышами для формирования более крупных частиц. Основное количество полученных гранул (81 %) имеет размер 1-2 мм. Содержание мелкой фракции (менее 1 мм) сократилось и составило 15 %. Ситовой анализ гранул, полученных в третьем эксперименте, показал, что разброс по размерам частиц увеличивается. Возрастает процент содержания гранул размером 2–3 и более 3 мм, в свою очередь до 4 % уменьшается выход гранул менее 1 мм.

Физико-механические свойства сорбентов, такие как насыпная плотность, водопоглощение, прочность при сжатии и прочность при истирании в значительной мере влияют на выбор режима эксплуатации и условий хранения. В настоящей работе определены основные свойства полученного гранулированного магнезиально-силикатного сорбента в зависимости от величины гранул.

Насыпная плотность – один из важнейших технологических параметров сыпучих материалов. Эта характеристика определяется плотностью материала порошка, размером (формой) его частиц, плотностью укладки частиц и состоянием их поверхности. Для полученных гранул была определена насыпная плотность, которая для фракции (–1) составила величину 997 кг/м<sup>3</sup>, для (+1-2) 1 083 кг/м<sup>3</sup>, для (+2–3) 963 кг/м<sup>3</sup>. Насыпная плотность исходного сырья (порошка) 732 кг/м<sup>3</sup>. Низкое значение насыпной плотности исходного по-

рошкообразного материала по сравнению с гранулами объясняется тем, что он является мелкодисперсным (остаток на сите 008 – 10 %), рыхлым и сыпучим. При гранулировании происходит слипание частиц, их уплотнение, что приводит к увеличению насыпной плотности. Вариации в значении насыпной плотности для приведенных выше образцов могут быть обусловлены отличием в плотности гранул, отклонением их формы от идеальной сферической и другими факторами.

Для полученных гранул была определена прочность образцов при сжатии в цилиндре. Диаметр цилиндра составил 42 мм, толщина слоя гранул также 42 мм. Ранее было установлено, что через год хранения образцов термоактивированного СМ на воздухе их прочность составила 5,1 МПа. На полученные гранулы давали нагрузку, которая соответствует данной величине. В этих же условиях испытывали гранулы цеолита NaA (цилиндры  $d = 2$  мм,  $h = 3$  мм), который взяли за стандартный образец. Количество разрушенных гранул определяли с помощью ситового анализа (таблица 3). Из полученных данных видно, что с уменьшением исходного размера гранул количество разрушенных частиц уменьшается. Для образцов размером +3 сумма разрушенных гранул составила 30,0 %, для +2–3 – 23,1 %, а для гранул +1–2 – 7,9 %. Для каждого размера была определена плотность гранулы, которая коррелирует с данными по прочности образцов. С уменьшением плотности прочность гранул закономерно уменьшается (таблица 2). Если сравнивать прочность полученных гранул и гранул цеолита, то количество не разрушенных частиц составляет 76,9 и 77,7 % соответственно, результаты близки между собой. Так как полученные гранулы термоактивированного СМ были разработаны для целей водоочистки в качестве адсорбентов, данный результат мы считаем удовлетворительным.

Таблица 2 – Прочность гранулированного СМ и цеолита NaA

Материал	Размер исходных гранул	Содержание частиц (%) с размером, мм					Сумма разрушенных гранул, %	Плотность, кг/дм <sup>3</sup>
		>3	2–3	1–2	0,5–1	<0,5		
СМ	+3	70,0	16,2	5,6	3,7	4,5	30,0	1,9
	+2–3	–	76,9	12,1	5,6	5,4	23,1	2,1
	+1–2	–	–	92,1	6,4	1,5	7,9	2,6
NaA	+2–3	–	77,7	9,0	6,8	6,5	22,3	–

Одна из основных характеристик гранулированных сорбентов – механическая прочность на истирание. Для каждого размера гранул также определена истираемость в водной среде. Предварительно проводили водона-

сыщение гранул (водопоглощение 43 %). Затем навески по 100 г помещали в колбы вместимостью 250 см<sup>3</sup> с пробками и наливали в них по 150 см<sup>3</sup> дистиллированной воды. Колбы плотно закрывали и помещали на 24 ч во встряхивающий аппарат (135 встряхиваний в минуту). После завершения встряхивания содержимое сосудов перенесли в фарфоровые чаши, выпарили воду и высушили при 105 °С. Высушенные навески подвергались ситовому анализу, результаты которого приведены в таблице 3. С увеличением размера гранул, количество исходной фракции уменьшается, что согласуется с данными по прочности и плотности гранул. В то же самое время количество разрушенных гранул для образцов +1 составило 1,5 %, а для +2 и +3 – 2 %.

Таблица 3 – Прочность на истирание гранулированного СМ

Размер исходных гранул	Содержание частиц (%) с размером, мм					Сумма разрушенных гранул, %
	>3	2–3	1-2	0,5–1	<0,5	
+3	95,5	2,3	0,2	0,3	1,7	2
+2–3	–	97,8	0,2	0,9	1,1	2
+1-2	–	–	98,5	0,3	1,2	1,5

При получении гранулированного магнезиально-силикатного реагента необходимо учитывать результаты определения активности образцов. Количественным показателем степени активации материала является щелочность. Данные по активности образцов гранул в зависимости от их размера и времени взаимодействия с водным раствором представлена в таблице 4. Из полученных результатов видно, что щелочность образцов увеличивается с уменьшением размера гранул. Через одни сутки взаимодействия активность гранул почти в два раза ниже, чем активность исходного порошкообразного СМ. Из полученных данных видно, что с течением времени происходит высвобождение щелочного компонента серпентина, причем для исходного порошка прирост активности составил 12,5 %, в то время как для гранул эта величина составила от 44–51 %.

Таблица 4 – Результаты определения активности гранул

Материал		Активность, мг-экв/г			Прирост активности за 14 суток, %
		1 сут.	7 суток	14 суток	
порошок		22,3	24,6	25,5	12,5
гранулы с размером, мм	+1-2	12,1	21,9	22,1	45,2
	+2–3	11,5	19,9	20,5	44,0
	>3	9,1	15,9	18,6	51,1

Результаты экспериментов показали, что процесс гранулирования термоактивированного серпентина с помощью смесителя-гранулятора ТЛ-020 является кратковременным и обеспечивает стабильные показатели качества гранул.

В результате проделанной работы достигнут следующий технологический результат: однородный гранулометрический состав гранулированного СМ, отвечает требованиям потребителей; отсутствие необходимости энергетических затрат на проведение сушки, так как процесс сушки готового продукта происходит на воздухе в атмосферных условиях; улучшение потребительских свойств гранулированного серпентина за счет уменьшения доли наиболее мелких фракций и, соответственно, пылевыведения при его транспортировке и использовании в качестве реагента для извлечения тяжелых металлов; высокие удельная поверхность и пористость.

#### **Библиографический список**

1. Кременецкая, И. П. Реагент для иммобилизации тяжелых металлов из серпентинсодержащих вскрышных пород / И. П. Кременецкая, О. П. Корытная, Т. Н. Васильева // Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2008. – № 4. – С. 33–40.
2. Классен, П. В., Гришаев И. Г. Основы техники гранулирования. – М. : Химия, 1982. – 272 с.

## **Новые возможности повышения прочности строительных древесно-цементных материалов и уменьшения расхода цемента для условий Арктики**

**Колесников Г. Н., Андреев А. А., Чалкин А. А.** (г. Петрозаводск, ФГБОУ ВО  
"Петрозаводский государственный университет", кафедра общетехниче-  
ских дисциплин, e-mail: kgn@petsu.ru)

**Аннотация.** В рамках проблемы эффективного освоения лесосырьевых запасов северной тайги субарктического пояса России кратко рассмотрена задача рационального использования отходов лесопиления. Приведены примеры известных по литературе решений данной задачи. Приведены также полученные авторами новые данные лабораторных испытаний на сжатие образцов древесно-цементного материала с опилками в качестве наполнителя. По результатам испытаний образцов в форме куба с размерами 10×10×10 см в возрасте 28 суток установлено, что добавка аморфного кремнезема по ТУ 2168-002-14344269-09 в количестве 0,5 % от массы цемента позволила уменьшить долю портландцемента в сырьевой смеси для изготовления древесно-цементного материала и обеспечить прочность при сжатии 3,2–3,7 МПа при среднем значении плотности 585 кг/м<sup>3</sup> (в одном из вариантов материала).

**Abstract.** The article briefly reviews the problem of rational utilisation of sawmill residuals within the framework of the objective of effective use of forest feedstock of northern taiga of subarctic belt of Russia. Some Examples resolutions of this problem are known from the literature . Results obtained by the authors as the new data of laboratory under compression testing samples of wood-cement material with sawdust as filler. Based on test results of samples in the form of a cube with dimensions of 10 × 10 × 10 cm after 28 days revealed that the addition of amorphous silica by TU 2168-002-14344269-09 in an amount of 0.5 % by weight of cement of Portland, possible to reduce the share of the cement in feed mixture for the manufacture of wood-cement material and ensure the compressive strength of 3.2-3.7 MPa with an average of material density 585 kg / m<sup>3</sup> (in one embodiment of the material).

**Ключевые слова:** арболит, древесно-цементный материал, отходы лесопиления, модификаторы, аморфный кремнезем.

**Key words:** arbolit, wood-cement material, sawmill residues, modifiers, amorphous silica.

В современных условиях освоения лесосырьевых запасов северной тайги субарктического пояса России остается актуальной проблема уменьшения количества отходов при переработке древесины и совершенствования технологий рационального их использования, в частности, в производстве строительных материалов.

К древесно-цементным строительным материалам в настоящее время (март 2016 г.) относят: арболит [ГОСТ Р 54854-2011, ГОСТ 19222-84], опилкобетон, цементно-стружечные плиты [ГОСТ 26816-86], фибролит [ГОСТ 8928-81], ксилолит и другие материалы [1, 2]. Для изготовления арболита необходима измельченная древесина, подготовленная по специальной технологии [3]. В то же время определенные виды измельченной древесины образуются в виде отходов переработки лесоматериалов, прежде всего отходов лесопиления [4].

Проблема рационального использования отходов лесопиления является в настоящее время достаточно актуальной как с экологической, так и экономической точки зрения. От 11 до 19 % объема пиловочного сырья превращается в опилки, в зависимости от способа пиления. В России опилки используются как топливо на котельных самих предприятий, как сырье в производстве пеллет, а также в гидролизной промышленности и в других целях. Однако более 40 % опилок остаются бесхозными [4], создавая опасность возникновения пожаров и, по причине воздействия атмосферного воздуха, влаги, бактерий, грибков, насекомых и т. д., являясь опасными с экологической точки зрения [5].

Строительные материалы на основе использования отходов лесопиления имеют сильные и слабые стороны, т. е. как преимущества (полученные по итогам исследований), так и недостатки (количество которых уменьшается по мере изученности проблемы). Исследователей привлекает возможность использования созданного природой материала (отходов лесопиления) в качестве основы для производства строительных материалов. Сложности задач, появляющихся в этой связи, объясняются неоднородностью и нестабильностью физико-механических свойств измельченной древесины в виде отходов лесопиления. Влияние на эти свойства оказывают порода, возраст, влажность, температура древесины, технология лесопиления и другие факторы [5, 6, 7, 8].

Применительно к древесно-цементным материалам одна из ключевых задач связана с нейтрализацией содержащихся в древесине полисахаридов [3], отрицательно влияющих на свойства цемента как вяжущего. На решение данной задачи ориентирован ряд исследований. Например, применительно к условиям Якутии возможности использованием отходов переработки древесины в производстве арболита рассмотрены в статье [6]. Авторы статьи, обращая

внимание на известные данные о содержании в древесине веществ, отрицательно влияющих на процессы твердения древесно-цементных смесей, предлагают взамен цемента использовать вяжущее, состоящее из строительного гипса (75 %), гашеной извести (10 %) и цеолита. В итоге при использовании в качестве заполнителей чистой щепы, чистой коры и щепы с примесями коры были получены варианты древесно-цементного материала с характеристиками: средняя плотность 920 ... 950 кг/м<sup>3</sup>; предел прочности при сжатии 1,7...2,4 МПа [6].

Альтернативные возможности в поисках приемлемых решений данной задачи открывает применение микрозаполнителей [9] и полимерных добавок [10].

Новые возможности повышения прочности древесно-цементных материалов и уменьшения расхода цемента связаны с исследованиями эффективности применения аморфного диоксида кремния. Ряд патентоспособных технологических и технических решений в данной области прикладных исследований получен в Институте рационального природопользования и в Институте лесных, инженерных и строительных наук Петрозаводского государственного университета.

Например, по аналогии с известной технологией [11] были изготовлены и в возрасте 28 суток испытаны на сжатие образцы древесно-цементного материала в форме куба с размерами 10×10×10 см. Образцы получены без дополнительной тепловой и (или) влажностной обработки. При этом в качестве наполнителя использовались отходы лесопиления (опилки), а в качестве армирующей добавки был использован 98-процентный аморфный кремнезем с наноструктурированной поверхностью частиц известной марки "Ковелос" 35/05 по ТУ 2168-002-14344269-09 в виде белого рыхлого порошка, состоящего из частиц средней крупностью 8 мкм, насыпной плотностью 110 г/л, удельной площадью поверхности частиц 400 м<sup>2</sup>/г [12]. При использовании данного модификатора отличительные особенности технологии подготовки сырьевой смеси диктуются тем, что насыпная плотность модификатора примерно в 10 раз меньше насыпной плотности цемента.

Добавка указанного аморфного кремнезема в количестве 0,5 % от массы цемента позволила уменьшить долю портландцемента в сырьевой смеси для изготовления древесно-цементного материала и обеспечить прочность при сжатии 3,2–3,7 МПа в возрасте 28 суток при плотности 585 кг/м<sup>3</sup> (в одном из вари-

антов материала). Данный материал может рассматриваться как ортотропный, что подтверждено результатами испытаний на одноосное сжатие в двух ортогональных направлениях. Методика испытаний описана в работе [12] на примере древесно-цементного материала предшествующего поколения.

Таким образом, подтверждена техническая возможность использования аморфного кремнезема в качестве модификатора в целях повышения прочности строительных древесно-цементных материалов и уменьшения расхода цемента, что особенно важно для строительства в условиях Арктики.

*Работа выполнена в рамках Программы стратегического развития Петрозаводского государственного университета на 2012–2016 гг.*

### **Библиографический список**

1. Сафин, Р. Г., Степанов В. В., Хайруллина Э. Р., Шаяхметов Ф. Ф. Производство поризованной древесно-цементной смеси // Вестн. Казанского технологического ун-та. – 2013. – Т. 16. – № 13. – С. 84–86.

2. Осипов, Ю. Р., Воропай Л. М., Сеничев В. П., Шлыков С. А. Эффективность применения низкочастотного ультразвука в производстве древесно-цементных композиций // Вестн. науки и образования Северо-Запада России. – 2015. – Т. 1. – № 1. – С. 188–197.

3. Наназашвили, И. Х. Строительные материалы из древесно-цементной композиции // Ленинград : Стройиздат, 1990. – 415 с.

4. Падерин, В. Рентабельность лесопиления и проблемы развития лесопиления в России // ЛесПромИнформ. – 2014. – № 1 (99). URL: [www.lesprominform.ru/jarchive/articles/itemshow/3572](http://www.lesprominform.ru/jarchive/articles/itemshow/3572).

5. Лихачев, А. В., Повереннов С. Д., Лихачева С. Ю. Целесообразность использования кладок на естественных заполнителях в малоэтажном строительстве // В сборнике: Великие реки' 2012 Труды конгресса: в 2 т. – Нижний Новгород. – 2013. – С. 569–571.

6. Куба, В. В., Егорова А. Д. Арболит на основе композиционных гипсовых вяжущих веществ из отходов деревоперерабатывающих предприятий // В сборнике: Перспективные материалы в технике и строительстве (ПМТС-2013.) : мат. Первой Всерос. науч. конференции молодых ученых с международным участием. – Томск. – 2013. – С. 365–367.

7. Колесников, Г. Н., Андреев А. А., Чалкин А. А. Гранулометрический состав отходов переработки древесины зависит от характеристик пильных

дисков и влияет на прочность материала, изготовленного из этих отходов и цемента с добавками // Актуальные направления научных исследований XXI в.: теория и практика. – 2015. – Т. 3. – № 9–2 (20–2). – С. 36–39.

8. Запруднов, В. И., Санаев В. Г. Макроскопические свойства древесно-цементных композитов // Вестн. Моск. гос. ун-та леса. – Лесной вестник. – 2012. – № 6 (89). – С. 168–171.

9. Лукутцова, Н. П., Горностаева Е. Ю., Карпиков Е. Г. Древесно-цементные композиции с минеральными микронаполнителями // Вестн. БГТУ им. В. Г. Шухова. – Белгород. – 2011. – № 3. – С. 21–23.

10. Андреев, А. А., Васильев С. Б., Колесников Г. Н., Сюнёв В. С. Уточнения к статье "влияние новой полимерно-минеральной добавки на прочность древесно-цементного материала для малоэтажного строительства" // Актуальные направления научных исследований XXI в.: теория и практика. – 2014. – Т. 2. – № 3–4 (8–4). – С. 267–268.

11. Андреев, А. А., Колесников Г. Н. Совершенствование технологии использования отходов лесопильных предприятий в производстве древесно-цементных материалов для малоэтажного строительства // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 6–6. – С. 1139–1143.

12. Лось, С. Л. Способ получения нанодисперсного кремнезема. Патент RU 2420454. Опубликовано: 10.06.2011. Бюллетень № 16.

13. Российская Арктика: современная парадигма развития / под ред. академика А. И. Татаркина. – СПб. : Изд-во Нестор-История. – 2014. – 844 с.

## Интегральная жесткость железобетонной балки с трещинами

**Котов А. А.** (г. Мурманск, ФГБОУ ВПО "Мурманский государственный технический университет", кафедра промышленного и гражданского строительства, e-mail: akot53@yandex.ru)

**Аннотация.** На основе моделирования железобетонной балки с трещинами методом конечных элементов в комплексе SCAD анализировалась ее жесткость в сечениях с трещинами и в сечениях без трещин. Выявлено, что вследствие наличия трещин жесткость изгибаемого железобетонного элемента сильно переменна по его длине, причем интегральная жесткость примерно в три раза меньше номинальной жесткости балки без трещин. Учет этого обстоятельства важен при составлении комплексных расчетных схем сооружений с железобетонным каркасом.

**Abstract.** Based on the modeling of reinforced concrete beams with cracks using finite element method in complex SCAD has analyzed its stiffness in the cracked sections and sections without cracking. It is revealed that due to the presence of cracks, the bending stiffness of the concrete element is highly variable in its length, and the integral rigidity is about three times less than the nominal stiffness of the beam without cracks. Accounting for this circumstance is important when drawing up an integrated calculation schemes of constructions with reinforced concrete frame.

**Ключевые слова:** конечный элемент, железобетонная балка, трещина, кривизна, жесткость.  
**Key words:** finite element, reinforced concrete beam, crack, flexure, stiffness.

Рассматривается железобетонная балка (рис. 1), загружаемая равномерно распределенной по верхней грани нагрузкой.

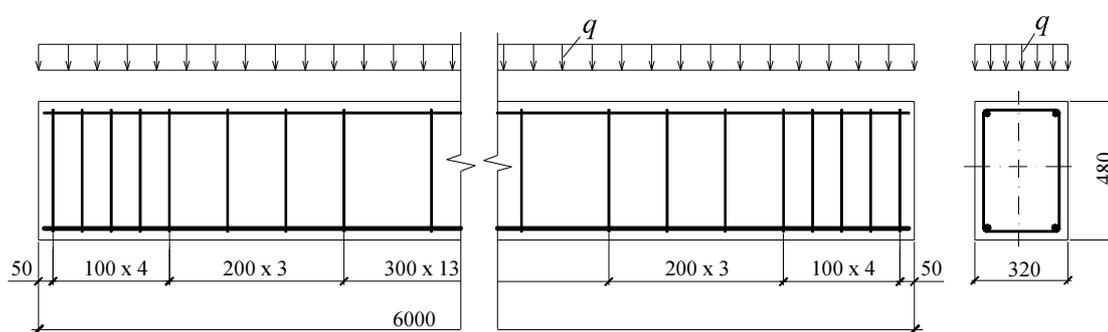


Рисунок 1 – Исследуемая железобетонная балка

Исследование балки осуществляется методом конечных элементов в комплексе SCAD. В работе [1] было установлено, что в процессе увеличения нагрузки в балке последовательно образуются нормальные трещины пяти

различных уровней, после чего наступает реальное эксплуатационное состояние балки с трещинами (рис. 2 и 3).

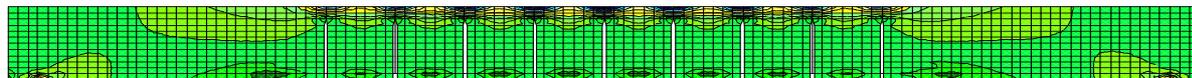


Рисунок 2 – Эксплуатационное состояние балки с трещинами.  
Нормальные напряжения в вертикальном слое бетона

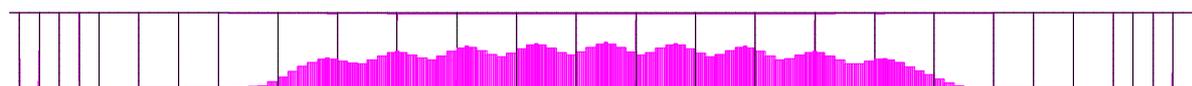


Рисунок 3 – Эксплуатационное состояние балки. Продольные усилия в арматуре

Очевидно, что изгибная жесткость балки с трещинами существенно меньше, чем жесткость балки без трещин. Это обстоятельство обязательно должно быть учтено в комплексных расчетных моделях сооружений с железобетонным стержневым каркасом, иначе распределение усилий по элементам этого каркаса будет сильно искажено. Отсюда возникает вопрос о прогнозировании интегральной жесткости изгибаемого железобетонного элемента с трещинами для ее реализации в расчетной модели сооружения. Постановка этого вопроса в научной литературе по железобетону далеко не нова [2], но его решения с помощью конечноэлементного моделирования изгибаемых железобетонных стержней нам не известны, хотя сами конечноэлементные модели железобетона в настоящее время достаточно популярны [3].

С этой целью в конечноэлементном расчете рассматривалась жесткость балки в сечениях с трещинами, в сечениях между трещинами и в сечениях вне зоны трещинообразования. Жесткость вычислялась как величина, обратная кривизне изогнутой оси, а кривизна оси определялась по вертикальным перемещениям ее точек с помощью формулы (1), полученной в соответствии с расчетной схемой, показанной на рис. 4.

$$\kappa = \frac{2f}{\Delta^2 + f^2}. \quad (1)$$

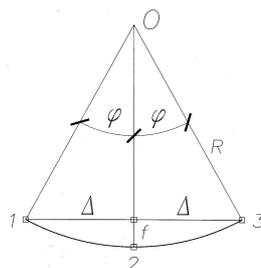


Рисунок 4 – Расчетная схема для определения кривизны

Жесткость сечений исследовалась во всем диапазоне загрузки балки от нуля до разрушения, и по результатам исследования были построены диаграммы "кривизна – момент" для всех рассмотренных сечений. Эти диаграммы для сечений с трещинами показаны на рис. 5, а для сечений между трещинами и вне зоны трещинообразования – на рис. 6. Рабочими участками этих диаграмм, соответствующими эксплуатационному состоянию балки, являются самые верхние сплошные прямолинейные участки, наблюдаемые после завершения процесса трещинообразования.

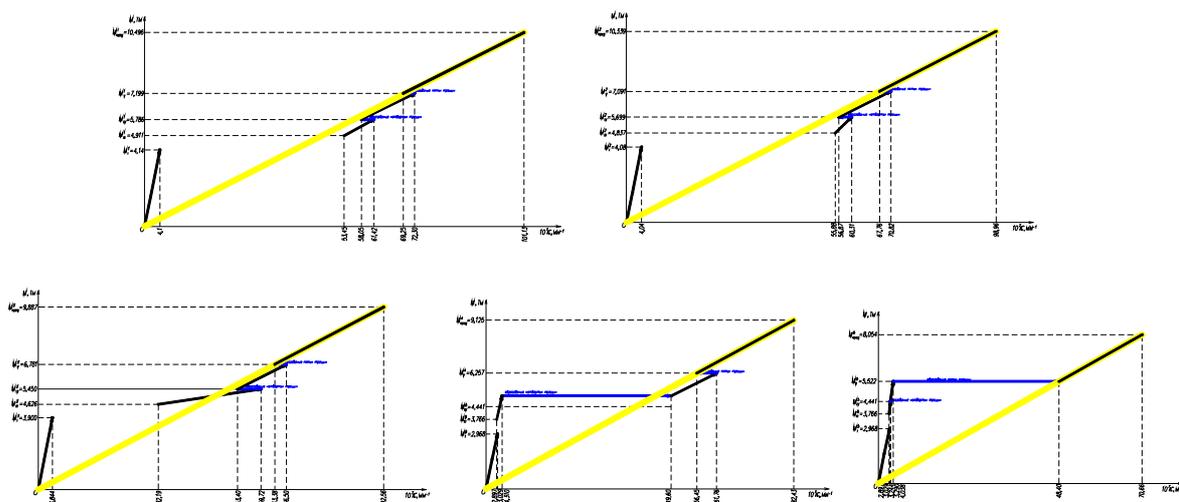


Рисунок 5 – Диаграммы "кривизна-момент" для сечений с трещинами

По диаграммам на рисунках 5 и 6 видно, что жесткость балки в сечениях с трещинами намного меньше, чем в сечениях без трещин, что вполне естественно. По наклонам диаграмм на рис. 5 также видно, что для всех сечений с трещинами жесткость практически одинакова. Такой же вывод можно сделать и по диаграммам на рис. 6: во всех сечениях между трещинами жесткости весьма близки друг к другу.

По данным, представленным на диаграммах рис. 5 и 6, построено распределение жесткостей сечений по длине балки, соответствующее эксплуатационному состоянию балки после завершения процесса трещинообразования. Это распределение показано на рис. 7, на котором оно аппроксимировано степенной кривой 13-го порядка.

Распределение жесткостей по длине балки на рис. 7 представлено в относительных величинах, т. е. полученная в расчете реальная жесткость отнесена к жесткости бетонной балки без трещин с аналогичным поперечным сечением. По рисунку видно, что в сечениях с трещинами и в их окрестностях

жесткость почти в 10 раз меньше этого номинала, а к середине блока между трещинами она резко возрастает до величины, примерно в 2,5 раза большей номинальной жесткости. Таким образом, изогнутая ось балки в зоне трещинообразования представляет собой криволинейные участки большой кривизны (с серединами в сечениях с трещинами), соединенные практически прямолинейными вставками.

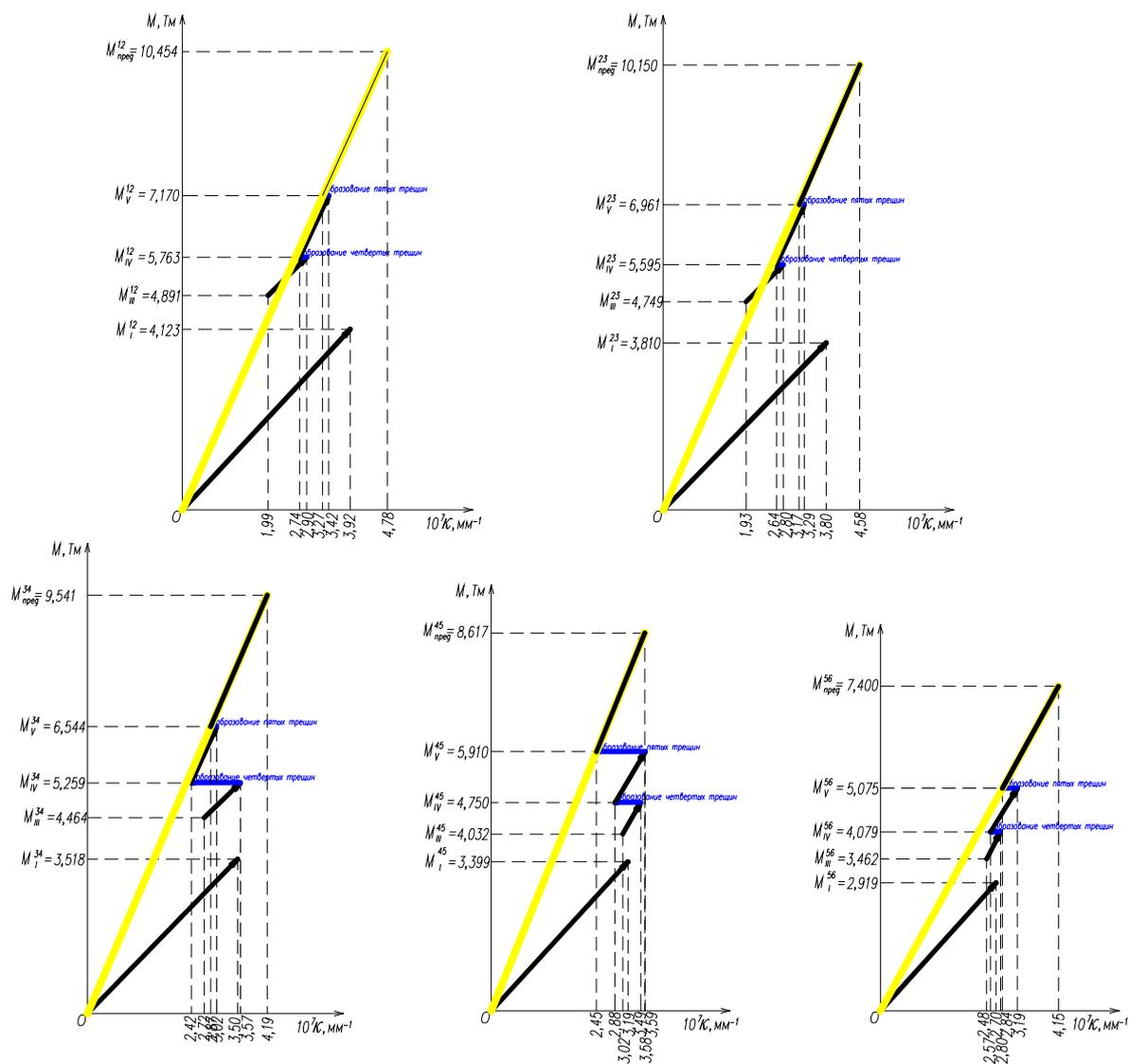


Рисунок 6 – Диаграммы "кривизна-момент" для сечений между трещинами и для сечения вне зоны трещинообразования

Порядок степенной функции, аппроксимирующей распределение жесткостей по длине балки, определен в соответствии с найденной предварительно так называемой интегральной жесткостью балки. При этом балка рассматривалась в рабочем диапазоне с трещинами в растянутой зоне бетона. Эта

интегральная жесткость железобетонной балки с трещинами определялась в соответствии со следующими соображениями.

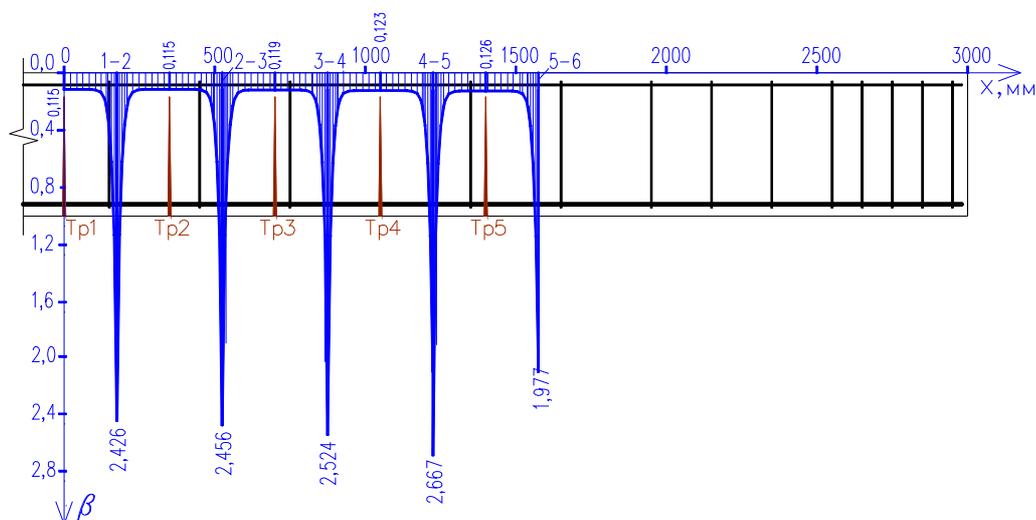


Рисунок 7 – Распределение жесткостей в сечениях по длине балки

Поскольку вертикальные перемещения оси балки (прогибы) определяются, согласно методу Максвелла – Мора, интегрированием кривизны балки по всей ее длине, то каждый прогиб зависит от жесткости всей балки в целом, а не ее отдельных сечений. Следовательно, величина прогиба балки является результатом, а значит и характеристикой, ее интегральной жесткости. Тогда жесткость одной балки по отношению к жесткости другой балки можно оценить по соотношению их прогибов. Другими словами, относительная деформативность балки может быть представлена величиной ее относительного прогиба. Исходя из этих соображений, относительную интегральную деформативность железобетонной балки с трещинами можно получить как отношение прогиба ее оси к прогибу аналогичной виртуальной балки без трещин. При этом балка без трещин может быть рассмотрена именно только как виртуальная, воображаемая, поскольку при таких нагрузках бетон не может работать без трещин. После этого относительная интегральная жесткость может быть получена как величина, обратная относительной интегральной деформативности.

Именно так и была определена относительная интегральная жесткость рассматриваемой в настоящей работе железобетонной балки с трещинами. Ее максимальный прогиб при полезной погонной нагрузке 1,408 Т/м, которая в 1,5 раза меньше разрушающей, и собственным весом 0,384 Т/м, составил 11,21 мм. Виртуальная балка без трещин при такой же нагрузке имеет про-

гиб 3,24 мм. Следовательно, относительная интегральная деформативность реальной балки с трещинами составляет величину  $11,21 : 3,24 = 3,46$ , а относительная жесткость соответственно  $1 : 3,46 = 0,289$ . Для предельного состояния балки соотношение прогибов имеет величину  $15,63 : 4,50 = 3,47$ , а относительная жесткость –  $1 : 3,47 = 0,288$ . Как видно из этих результатов, интегральная относительная жесткость балки с трещинами после завершения трещинообразования имеет стабильную величину, несколько меньшую одной трети от номинала. Этот вывод можно считать главным результатом настоящего исследования.

### **Библиографический список**

1. Котов, А. А. Влияние первой трещины на жесткость железобетонного изгибаемого элемента / А. А. Котов – "Строительная механика и расчет сооружений", 2014. – № 4 (255), С. 48–53. – М. : ОАО "НИЦ "Строительство", 2014.
2. Бондаренко, В. М. Метод интегральных оценок в теории железобетона / В. М. Бондаренко – "Известия ВУЗ. Строительство и архитектура", 1982, № 12 – С. 3–5.
3. Залесов, А. С., Пащанин, А. А. Расчет прочности железобетонных балок с использованием объемных конечных элементов в развитие норм по проектированию железобетонных конструкций / А. С. Залесов, А. А. Пащанин. – "Строительная механика и расчет сооружений", 2011. – № 4. – С. 66–71.

**Технико-экономические показатели эффективности применения  
ограждающих конструкций стен из легкогобетонных блоков  
в малоэтажном строительстве**

**Кузьменков А. А.** (г. Петрозаводск, ФГБОУ ВО "Петрозаводский государственный университет", кафедра организации строительного производства ИЛИСН, e-mail: kuzmenkov@petrsu.ru)

**Аннотация.** В статье рассматриваются результаты оценки энергоэффективных ограждающих конструкций стен малоэтажных жилых домов по различным технологическим показателям. Для исследования выбраны следующие конструкции стен: стены из газобетонных блоков с наружным утеплением и стены из блоков с применением древесно-композитного материала. В результате сравнения по технологическим показателям выявлены наиболее эффективные варианты конструкции стены для малоэтажного жилого здания в условиях Карелии.

**Abstract.** In the article there is a subject of the appraisal value of enclosure structures of the free-standing residential buildings in different technological indicators. The following wall constructions have been chosen for the research: gas-concrete blocked walls outdoor heat insulation and blocked walls that have been made via use of wood-fiber composite material. According to the comparison results the most practical variant of wall construction for the free-standing residential buildings for the Republic of Karelia has been made known.

**Ключевые слова:** малоэтажное строительство, технологическое сравнение, ограждающие конструкции стен, энергоэффективность, ресурсосбережение.

**Key words:** low-rise construction, engineering comparison, wall enclosure structures, energy saving, resource conservation

В современных условиях усиливается внимание к строительству малоэтажных жилых объектов [3]. У конечных потребителей строительной продукции, в виде жилого дома для постоянного проживания, проявляется интерес к материалам, конструкциям и технологиям возведения, применяемым при строительстве такого рода объектов. Современный строительный рынок предлагает широкий спектр материалов, конструкций и технологий для строительства. При анализе предложений строительных компаний на рынке малоэтажного строительства Республики Карелия [4] было выявлено основные группы строительных материалов для возведения ограждающих конструкций – это дерево и древесные материалы, мелкогабаритные элементы в виде кирпича, легкогобетонных и композитных блоков и энергоэффективные конструкции с применением монолитного железобетона. Следует также отметить, что наиболее популярным материалом для строительства и изго-

товления конструкций стен на территории Республики Карелия исторически остается древесина. Однако, классические технологии строительства уходят на второй план, в связи с повышающимися требованиями к конструкциям, а их место занимают современные решения, возможность применения которых требует дополнительных исследований.

Целью исследования является сравнение технико-экономических показателей различных вариантов наружных стен, рассматриваемых в качестве ограждающих конструкций малоэтажного жилого здания. В данном исследовании рассматриваются два варианта ограждающих конструкций стен:

- стены из пенобетона марки D400 с использованием эффективного утеплителя;
- стены с применением древесно-цементного композитного материала по классификации ГОСТ Р 54854-2011.

В качестве объекта-аналога для исследования принят одноэтажный одноквартирный индивидуальный жилой дом общей площадью 70,6 м<sup>2</sup> с размерами в плане 9,8 x 5,8 м и высотой этажа 2,8 м (высота жилых помещений от пола до потолка 2,6 м). Объемно-планировочные решения дома приняты в соответствии с СП 55.13330.2011 с учетом требований, определяющих технические показатели жилья экономического класса.

Первый вариант конструкции стены реализован в виде кладки из мелко-размерных легкобетонных блоков автоклавного твердения (в данном исследовании – газобетонные блоки AEROC). В рассматриваемом варианте конструкции стены используются блоки марки D400 размерами 300x250x625 мм, класс по прочности B2,5, класс по морозостойкости F50. Тонкошовная кладка блоков ведется с использованием клея AEROC и армированием через 4 ряда блоков арматурой диаметром 8 мм класса A400. Армирование также предусматривается для первого ряда кладки на фундаменте, зон опирания перемычек (желательно по 900 мм от края проемов), зон под оконными проемами (на ширину оконного проема плюс 900 мм в каждую сторону от проема), в уровне каждого перекрытия и под стропильной системой. Устройство перемычек над проемами реализуется за счет применения U-блоков этого же производителя. Конструкция U-блока имеет полость для размещения арматурного каркаса и последующего заполнения бетоном. С наружной стороны предусмотрен теплоизоляционный слой из плит каменной фаты Rockwool ФАСАД-БАТТС плотностью 130 кг/м<sup>3</sup> толщиной 50 мм. Крепление утеплителя производится либо механическим способом (тарельчатыми дюбелями), либо при помощи высокоадгезионных клеевых составов. Наружная отделка

реализована по "мокрому" принципу с устройством декоративной штукатурки толщиной 15 мм по слою теплоизоляции. Конструктивное решение стены для второго варианта представлено на рисунке 1. В таблице 1 представлены характеристики слоев материалов стены, необходимые для теплотехнического расчета.

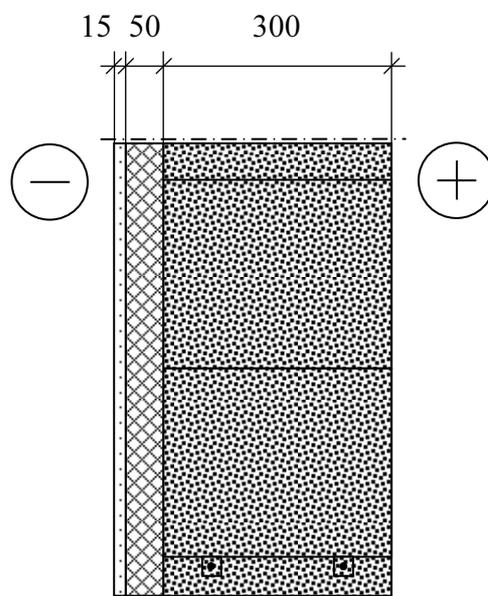


Рисунок 1 – Стена из газобетона с использованием эффективного утеплителя

Таблица 2 – Характеристики слоев наружной стены из газобетона

№ п/п	Наименование слоя	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\lambda$ , Вт/м °С	$\delta$ , м
1	Газобетон Аерос марки D 400	400	0,13	0,3
2	Утеплитель Rockwool ФАСАД-БАТТС	130	0,037	0,05
3	Штукатурка	2 100	0,698	0,015

Во втором варианте конструкции стены применяются мелкогабаритные блоки из древесно-цементного композитного материала по классификации ГОСТ Р 54854-2011. В качестве наполнителя в материале блоков использованы опилки хвойных пород. Плотность блоков из древесно-цементного композита составляет 650 кг/м<sup>3</sup>, класс прочности на сжатие В2,5, марка по морозостойкости F25 [1]. Размер блоков 500x250x250 мм. Общая толщина стены с учетом наружной и внутренней отделки в виде цементно-песчаной штукатурки толщиной 15 мм составляет 530–540 мм. Кладка выполняется с использованием легкого теплоизоляционного раствора на основе вспученного перлита с перевязкой кладкой "тычком", через каждые три ряда ложковой кладки. Использование теплоизоляционного кладочного раствора позволяет

избежать образование мостиков холода при формировании швов стандартной толщины: для горизонтальных швов – не менее 10 мм и не более 15 мм, в среднем 12 мм в пределах высоты этажа, для вертикальных швов – от 8 до 15 мм, в среднем 10 мм. Перемычки над проемами выполняются из сборных железобетонных элементов, которые укладываются вдоль внутренней и наружной граней стены, а между ними устраивается теплоизоляционный вкладыш из теплоизоляционного материала. Деревянные балки перекрытий опираются на стену через выравнивающий слой из армированного цементно-песчаного раствора. Глубина опирания деревянных балок должна быть не менее 150 мм. Для распределения нагрузки от балки под нее на кладку устанавливают стальную полосу толщиной 6 мм, ширина полосы не менее 60 мм. Между торцом и стеной должен оставаться воздушный зазор не менее 20 мм. Конструкция стены для второго варианта представлена на рисунке 2, а характеристика слоев конструкции в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики слоев наружной стены с применением древесно-цементного композитного материала

№ п/п	Наименование слоя	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\lambda$ , Вт/м °С	$\delta$ , м
1	Штукатурка	2 100	0,698	0,015
2	Арболит	650	0,13	0,5
3	Штукатурка	2 100	0,698	0,015

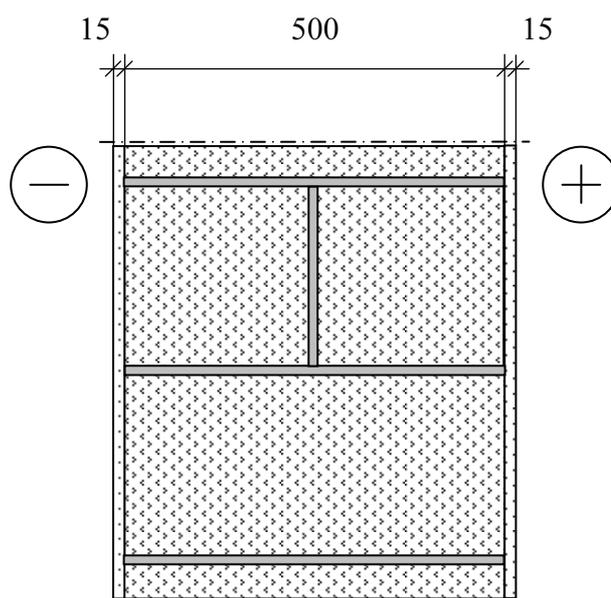


Рисунок 2 – Стены из мелкогазобетонных блоков из древесно-цементного композитного материала

Для каждого из рассматриваемых вариантов стен был выполнен следующий комплекс расчетов (результаты представлены в таблице 3):

- теплотехнический расчет по методике СП 50.13330.2012, в соответствии с СП 131.13330.2012 для климатических условий г. Петрозаводска;
- технологические карты с определением основным параметров технологического процесса;
- расчет сметной стоимости строительно-монтажных работы по возведению исследуемого одноэтажного многоквартирного индивидуального жилого дома общей площадью 70,6 м<sup>2</sup>. Локальные сметы составлены базисно-индексным методом согласно требованиям МДС 81-35.2004 на основе территориальных единичных расценок Республики Карелия ТЕР-2001 с применением индексов пересчета сметной стоимости в текущий уровень цен 2 квартала 2015 г.

По результатам ранее выполненного исследования [2] ограждающие конструкции стен, выполненные из легкогобетонных блоков, могут рассматривать как наиболее эффективные для применения в малоэтажном строительстве. При этом для территории Республики Карелия блоки из газобетона являются привозным строительным материалом, в то время как блоки из древесно-цементного композита производятся местными компаниями.

Таблица 3 – Сравнение расчетных (технических, конструктивных), технологических и экономических показателей вариантов наружных стен

Расчетные показатели конструкций	Варианты конструкций стен	
	Газобетон с утеплителем	Древесно-цементный композит
Технические, конструктивные показатели		
Толщина стены, м	0,365	0,53
Сопrotивление теплопередаче, R <sub>0</sub> , м <sup>2</sup> •°C/Вт	3,839	4,048
Вес 1 м <sup>2</sup> , кг	158	388
Использование отходов производства	–	+
Технологические показатели		
Рассматриваемый объем работ, м <sup>3</sup> / м <sup>2</sup>	38,97 / 105,4	57,46 / 106,72
Общая трудоемкость работ, чел/ч	286,15	269,06
Затраты машинного времени, маш/ч	17,92	17,92
Расчетная продолжительность работ, ч / см	137,2 / 17,15	136,56 / 17,07
Часовая выработка, м <sup>3</sup> /ч / м <sup>2</sup> /ч	0,28 / 0,77	0,42 / 0,78
Трудоемкость устройства 1 м <sup>3</sup> / 1 м <sup>2</sup> конструкции, чел/ч	7,36 / 2,72	4,68 / 2,52

Окончание таблицы 3

Расчетные показатели конструкций	Варианты конструкций стен	
	Газобетон с утеплителем	Древесно-цементный композит
Экономические показатели		
Прямые затраты, руб.,	49 222	67 842
Себестоимость, руб.	156 808	119 734
Сметная стоимость, руб.	193 841	151 881
Сметная стоимость с НДС, руб.	228 732	179 220
Сметная стоимость 1 м <sup>2</sup> , руб./м <sup>2</sup>	2 170	1 679
Сметная стоимость 1 м <sup>3</sup> , руб./м <sup>3</sup>	5 723	3 119
Экономические показатели строительства одноэтажного одноквартирного жилого общей площадью 70,6 м <sup>2</sup> (стены, фундамент и кровля)		
Прямые затраты, руб.,	458107,76	430176,40
Себестоимость, руб.	622256,12	607557,96
Сметная стоимость, руб.	728828,52	709244,60
Итого с НДС, руб.	860017,66	836908,63
Сметная стоимость 1 м <sup>2</sup> общей площади дома (стены, фундамент и кровля), руб./м <sup>2</sup>	12 182	11 854

Древесно-цементные композитные блоки более отвечают требованиям ресурсосбережения, так как при их производстве используются отходы деревообрабатывающей промышленности. Кроме того, по сравнению с блоками из легких бетонов, древесно-цементный композитный материал имеет лучшее соотношение прочности и жесткости, что позволяет отказаться от дополнительного армирования конструкции стены.

Рассматриваемые в данной статье варианты стен имеют сопоставимые показатели по трудоемкости и продолжительности производства работ. Исходя из сравнения часовой выработки на устройство 1 м<sup>3</sup> конструкции стены (таблица 3) наиболее производительными являются стены из газобетонных блоков с утеплением, однако наименьшая трудоемкость устройства 1 м<sup>2</sup> конструкции стены наблюдается у конструкций из газобетонных блоков и блоков из древесно-цементного композита.

*Работа выполнена в рамках реализации комплекса мероприятий по Программе стратегического развития ПетрГУ на 2012–2016 гг.*

### **Библиографический список**

1. Андреев, А. А., Колесников Г. Н. Совершенствование технологии использования отходов лесопильных предприятий в производстве древесно-цементных материалов для малоэтажного строительства // *Фундаментальные исследования*. 2014. – № 68 (часть 6). – С. 1139–1143.

2. Девятникова, Л. А., Емельянова Е. Г., Кузьменков А. А., Симонова А. А. Исследование технико-экономических параметров при выборе технологии возведения ограждающих конструкций индивидуальных жилых домов // *Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. "Естественные и технические науки"*. – 2015. – № 4 (149). – С. 82–90.

3. Кузьменков, А. А., Емельянова Е. Г. Тенденции развития жилищного строительства в Республике Карелия // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – № 8 (часть 1). – С. 154–158.

4. Кузьменков, А. А., Емельянова Е. Г., Александрова Т. О. Исследование предложения строительных компаний на рынке малоэтажного строительства Республики Карелия // *Ресурсосберегающие технологии, материалы и конструкции : мат. науч.-практ. конф.: г. Петрозаводск, 18 апреля 2014 г.* – Петрозаводск : Петропресс, 2014. – С. 81–87.

## **Технико-экономическая оценка ограждающих конструкций стен малоэтажных жилых зданий**

**Кузьменков А. А.<sup>1</sup> Девятникова Л. А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>(г. Петрозаводск, ФГБОУ ВО "Петрозаводский государственный университет", кафедра организации строительного производства ИЛИСН, kuzmenkov@petrsu.ru)

<sup>2</sup>(г. Петрозаводск, ФГБОУ ВО "Петрозаводский государственный университет", кафедра архитектуры строительных конструкций и геотехники ИЛИСН, dev@petrsu.ru)

**Аннотация.** В статье рассматриваются результаты оценки энергоэффективных ограждающих конструкций стен малоэтажных жилых домов по различным показателям. Рассмотрены следующие конструкции стен: брусчатые стены с наружным утеплением и стены, изготовленные с применением системы несъемной опалубки VELOX. В результате сравнения по технологическим показателям выявлены наиболее эффективные варианты конструкции стены для малоэтажного жилого здания в условиях Карелии.

**Abstract.** In the article there is a subject of the appraisal value of enclosure structures of the free-standing residential buildings in different indicators. The following wall constructions have been chosen for the research: blocked walls with outdoor heat insulation and walls that have been made via use of the sacrificial formwork system VELOX. According to the comparison results the most practical variant of wall construction for the free-standing residential buildings for the Republic of Karelia has been made known.

**Ключевые слова:** малоэтажное строительство, технико-экономическое сравнение, ограждающие конструкции стен, энергоэффективность, ресурсосбережение.

**Key words:** low-rise construction, engineering comparison, wall enclosure structures, energy saving, resource conservation.

При рассмотрении показателей ввода индивидуального малоэтажного жилья как на уровне России, так и на уровне Республики Карелия можно сделать вывод о наличии положительной динамики как абсолютных показателей ввода индивидуального малоэтажного жилья, так и доли индивидуального жилищного строительства (ИЖС) в общем вводе жилой площади. Следует также отметить меньшую зависимость ИЖС от инертности индустриального многоэтажного строительства и от влияния внешних социально-экономических факторов [3].

На современном строительном рынке значительно выросло количество конструкций, технологий и материалов, предлагаемых для строительства малоэтажных объектов, что, в свою очередь, обозначило проблему выбора качественного решения при возведении зданий. При проведении исследования предложения строительных компаний на рынке малоэтажного жилья в республике Карелия [4] были выявлены основные строительные материалы для возведения наружных стен, к которым относятся: материалы на основе древесины, мелкогазобетонные блоки из различных материалов (кирпич, легкобетонные и композитные блоки), энергоэффективные конструкции с применением монолитного железобетона. К последним относятся технологии применения несъемной опалубки VELOX (ВЕЛОКС) и DURISOL (ДЮРИСОЛ), а также опалубки из пенополистирольных элементов. При оценке уже построенных и эксплуатирующихся малоэтажных зданий, необходимо заметить, что наиболее востребованным материалом для строительства ограждающих конструкций индивидуальных домов на территории Республики Карелия исторически является древесина. Также ограждающие стены малоэтажных домов возводились конструкциями из кирпича, тяжелых блоков и даже стеновых панелей. Однако, классические технологии возведения зданий, в том числе из древесины, начинают терять свои позиции, а на рынке строительных материалов происходит замещение современными материалами и технологическими решениями, эффективность и долговечность которых требует дополнительных исследований.

Целью исследования является определение сравнительных технико-экономических характеристик различных вариантов наружных стен, рассматриваемых в качестве ограждающих конструкций малоэтажного жилого здания. В данном исследовании рассматриваются два варианта ограждающих конструкций стен:

- стены из бруса с использованием эффективного утеплителя;
- стены с применением строительной системы VELOX (ВЕЛОКС).

Расчет технико-экономических параметров производился для одноэтажного многоквартирного индивидуального жилого дома общей площадью 70,6 м<sup>2</sup> с размерами в плане 9,8 x 5,8 м и высотой этажа 2,8 м (высота жилых помещений от пола до потолка 2,6 м). Объемно-планировочные решения дома приняты в соответствии с СП 55.13330.2011 с учетом требований, определяющих технические показатели жилья экономического класса.

Первый вариант ограждающих конструкций стен представлен классической конструкцией брусчатой стены с дополнительным наружным утеплением и наружной отделкой из металлического профилированного листа (металло-сайдинга) по металлическому каркасу. Конструкция стены для первого варианта представлена на рисунке 1. В конструкции стены применяется брус из древесины хвойных пород сечением 150 x 200 мм по ГОСТ 8486-861, минераловатные плиты Rockwool ВЕНТИ – БАТТС плотностью 90 кг/м<sup>3</sup> (ЗАО "Минеральная Вата") толщиной 70 мм и система навесного вентилируемого фасада с воздушным зазором с облицовкой металлическим сайдингом по металлическому каркасу (ООО "Компания Металл Профиль"). Между венцами брусья скрепляются деревянными нагелями круглого сечения диаметром до 3 см для обеспечения соединения одним нагелем нескольких рядов брусьев (от двух до трех рядов). Крепеж нагелями осуществляется в шахматном порядке с шагом от 1 000 до 1 500 мм. Угловые соединения и стыки внутренних и наружных стен выполняются без остатка одним из известных способов: в полдерева с нагелем, "в притык" или "в стык", "в притык" с коренным шипом, "в лапу", на вставных шпонках, сковороднем либо полусковороднем. Дополнительное утепление брусчатой стены необходимо, поскольку для обеспечения соответствия по сопротивлению теплопередаче современным нормам, толщина бревна древесины в стене должна быть более 40–44 см. Утепление также позволит решить проблему продуваемости стен между брусьями и в угловых соединениях. Плиты минерального утеплителя крепятся к стене при помощи тарельчатых дюбелей с расчетом не менее 4 шт. на одну плиту размерами 1 000x600 мм. Так как в конструкции используется гидрофобизированный утеплитель достаточно высокой плотности, устройство защиты из паропроницаемой, ветро- и влагозащитной мембраны не требуется. Облицовка из стального сайдинга монтируется на облегченную подконструкцию, состоящую из металлических крепежных кронштейнов и Г-образного крепежного профиля. Кронштейны устанавливаются на стену через паронитовую прокладку до монтажа слоя утеплителя. Вылет кронштейна назначается в соответствии с толщиной слоя утеплителя и исходя из необходимости обеспечения воздушного зазора величиной минимум в 40 мм с учетом возможности закрепления направляющих под облицовку. В качестве основания под внутреннюю отделку стены принята ориентировано-стружечная плита OSB-3 толщиной 12,5 мм. Характеристики слоев материалов стены

для первого варианта, необходимые для теплотехнического расчета, представлены в таблице 1. Стальной сайдинг не учтен в теплотехническом расчете, так как не является теплоизоляционным материалом.

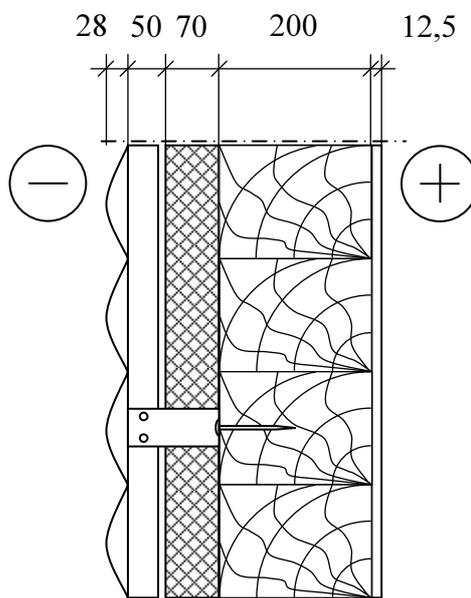


Рисунок 1 – Стена из бруса с использованием эффективного утеплителя

Таблица 2 – Характеристики слоев наружной стены из бруса

№ п/п	Наименование слоя	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\lambda$ , Вт/м °С	$\delta$ , м
1	OSB-3	650	0,13	0,0125
2	Брус	500	0,14	0,2
3	Утеплитель Rockwool ВЕНТИ – БАТТС	90	0,035	0,07

В качестве второго варианта стены рассмотрена конструкция, основанная на применении технологии монолитного строительства в несъемной опалубке из щепоцементных плит VELOX (ВЕЛОКС) [2]. Несъемная опалубка состоит из двух щепоцементных плит толщиной 35 мм, установленных параллельно друг другу и скрепленных между собой металлическими стяжками. К наружной плите приклеен слой экструдированного пенополистирола марки URSA XPS N-III толщиной 100 мм. Технологически, в процессе возведения стен, между плитами опалубки создается монолитное железобетонное ядро из тяжелого бетона толщиной 150 мм. Наружная и внутренняя отделка предусмотрена в виде слоя цементно-песчаной декоративной штукатурки толщиной 10 мм. Конструкция стены для третьего варианта и характеристики слоев материалов стены, необходимые для теплотехнического расчета, представлены на рисунке 2 и в таблице 2 соответственно.

Таблица 2 – Характеристики слоев наружной стены с применением системы Velox

№ п/п	Наименование слоя	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\lambda$ , Вт/м °С	$\delta$ , м
1	Щепоцементная плита	670	0,11	0,07
2	Монолитный ж/б	2 500	2,04	0,15
3	Экструдированный пенополистирол марки URSA XPS N-III	35	0,033	0,10
4	Штукатурка	2 100	0,698	0,03

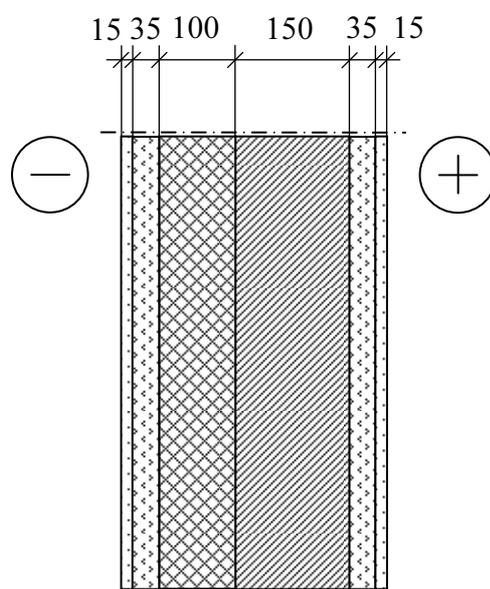


Рисунок 2 – Стена с применением системы Velox

Для каждого из рассматриваемых вариантов стен был выполнен следующий комплекс расчетов (результаты представлены в таблице 3):

- теплотехнический расчет по методике СП 50.13330.2012, в соответствии с СП 131.13330.2012 для климатических условий г. Петрозаводска;
- технологические карты с определением основным параметров технологического процесса;
- расчет сметной стоимости строительно-монтажных работы по возведению исследуемого одноэтажного многоквартирного индивидуального жилого дома общей площадью 70,6 м<sup>2</sup>. Локальные сметы составлены базисно-индексным методом согласно требованиям МДС 81-35.2004 на основе территориальных единичных расценок Республики Карелия ТЕР-2001 с применением индексов пересчета сметной стоимости в текущий уровень цен 2 квартала 2015 г.

Таблица 3 – Сравнение расчетных (технических, конструктивных), технологических и экономических показателей вариантов наружных стен

Расчетные показатели конструкций	Варианты конструкций стен	
	Брус с утеплителем	Система Velox
<i>Технические, конструктивные показатели</i>		
Толщина стены, м	0,362	0,35
Сопrotивление теплопередаче, $R_0, \text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	3,723	3,55
Вес $1 \text{ м}^2$ , кг	121,50	488,4
Использование отходов производства	–	+
<i>Технологические показатели</i>		
Рассматриваемый объем работ, $\text{м}^3 / \text{м}^2$	37,02 / 105,26	37,24 / 105,28
Общая трудоемкость работ, чел/ч	513,23	462,49
Затраты машинного времени, маш/ч	6,66	24,11
Расчетная продолжительность работ, ч / см	168,88 / 21,11	125,2 / 15,65
Часовая выработка, $\text{м}^3/\text{ч} / \text{м}^2/\text{ч}$	0,22 / 0,62	0,3 / 0,84
Трудоемкость устройства $1 \text{ м}^3 / 1 \text{ м}^2$ конструкции, чел/ч	13,86 / 4,88	12,42 / 4,39
<i>Экономические показатели</i>		
Прямые затраты, руб.,	371 155	178 122
Себестоимость, руб.	476 144	289 491
Сметная стоимость, руб.	539 356	354 024
Сметная стоимость с НДС, руб.	636 440	417 748
Сметная стоимость $1 \text{ м}^2$ , руб./ $\text{м}^2$	6 046	3 968
Сметная стоимость $1 \text{ м}^3$ , руб./ $\text{м}^3$	17 192	11 218
<i>Экономические показатели строительства одноэтажного многоквартирного жилого общей площадью <math>70,6 \text{ м}^2</math> (стены, фундамент и кровля)</i>		
Прямые затраты, руб.,	733039,17	540456,75
Себестоимость, руб.	957248,19	778177,05
Сметная стоимость, руб.	1089942,47	912249,21
Итого с НДС, руб.	1286132,11	1076454,07
Сметная стоимость $1 \text{ м}^2$ общей площади дома (стены, фундамент и кровля), руб./ $\text{м}^2$	18 217	15 247

По результатам ранее выполненного исследования [1] ограждающие конструкции стен, выполненные по технологии ВЕЛОКС отличаются наибольшим весом, но при этом характеризуются применением отходов деревообработки.

Как видно по технологическим показателям (таблица 3) рассматриваемы в данной статье конструкции стен являются достаточно трудоемкими в изготовлении. Стены из бруса с наружным утеплением имеют большую продолжительность выполнения работ, что обусловлено большим количеством

немеханизированных работ. Стены, выполняемые по технологии ВЕЛОКС, характеризуются меньшей продолжительностью выполнения работ, что можно аргументировать отработанной технологией и высоким качеством исходных строительных материалов. Исходя из сравнения часовой выработки на 1 м<sup>2</sup> более производительными являются стены выполненные с использованием система ВЕЛОКС. Для этой же технологии устройства стен прослеживается наибольшая потребность в использовании механизмов, что положительно сказывается на сроках производства работ.

Как видно из результатов сравнения по экономическим показателям наиболее затратной является брусчатая конструкция стены с наружным утеплением. На втором месте по стоимости – конструкция стены с использованием технологии ВЕЛОКС.

Для классической в северных районах технологии строительства жилых домов из бревна и бруса характерны высокие показатели по стоимости и трудоемкости, а также по потребности в строевом лесе. Данное обстоятельство мешает рассматривать данную технологию, как эффективную для строительства малоэтажных жилых зданий эконом класса. Для более эффективного использования древесного сырья, необходимо более детальное исследование технологий возведения жилых зданий с использованием деревянных конструкций, например, деревянных каркасных домов.

Конструкции стен с использованием технологии ВЕЛОКС не могут рассматриваться как эффективные по технологическим показателям при строительстве малоэтажных жилых зданий. Данную технологию более целесообразно использовать при возведении зданий средней этажности от 3 до 5 этажей.

*Работа выполнена в рамках реализации комплекса мероприятий по Программе стратегического развития ПетрГУ на 2012–2016 гг.*

### **Библиографический список**

1. Девятникова, Л. А., Емельянова Е. Г., Кузьменков А. А., Симонова А. А. Исследование технико-экономических параметров при выборе технологии возведения ограждающих конструкций индивидуальных жилых домов // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. "Естественные и технические науки". 2015. №. 4 (149). С. 82–90.

2. Девятникова, Л. А., Симонова А. А. Поиск путей ресурсосбережения при проектировании индивидуального жилого дома с использованием си-

стемы Велокс (Velox) // Деревянное малоэтажное домостроение: экономика, архитектура и ресурсосберегающие технологии : сб. статей науч.-практ. конф.: г. Петрозаводск, 23–28 июня 2013 г. – Петрозаводск : Петропресс, 2013. – С. 9–14.

3. Кузьменков, А. А., Емельянова Е. Г. Тенденции развития жилищного строительства в Республике Карелия // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 8 (часть 1). – С. 154–158.

4. Кузьменков, А. А., Емельянова Е. Г., Александрова Т. О. Исследование предложения строительных компаний на рынке малоэтажного строительства Республики Карелия // Ресурсосберегающие технологии, материалы и конструкции : мат. науч.-практ. конф.: г. Петрозаводск, 18 апреля 2014 г. – Петрозаводск : Петропресс, 2014. – С. 81–87.

## Способы улучшения свойств блочных теплоизоляционных материалов из техногенного сырья

Манакова Н. К.<sup>1</sup>, Суворова О. В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>(г. Апатиты, Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева КНЦ РАН, лаборатория минерального сырья и силикатного синтеза, e-mail: manakova@chemy.kolasc.net.ru)

<sup>2</sup>(г. Апатиты, Апатитский филиал ФГБОУ ВПО "Мурманский государственный технический университет", кафедра химии и строительного материаловедения)

**Аннотация.** Рассмотрена возможность получения блочных пеноматериалов теплоизоляционного назначения из техногенных отходов Кольского полуострова. Разработаны составы и способы получения пеносиликатов, характеризующихся высокой прочностью при низких значениях плотности и теплопроводности.

**Abstract.** The possibility of receiving a block of foam insulation from industrial wastes of the Kola Peninsula has been considered. Foam silicate compounds and procedures are proposed. The products are characterized by high strength at low values of density and thermal conductivity values.

**Ключевые слова:** пеносиликат, кремнеземсодержащие горнопромышленные отходы, микрокремнезем, апатито-нефелиновые отходы, диопсид.

**Key words:** foam silicate, silica-containing mining wastes, silica fume, apatite-nepheline waste, diopside.

На протяжении многих лет нами ведутся работы по решению проблемы наиболее полного использования ресурсов полезных ископаемых и защиты окружающей среды от загрязнения путем вовлечения в переработку техногенных отходов с получением конкурентоспособных высокоэффективных строительных материалов.

В работах [1, 2] показана перспективность использования аморфного кремнезема – продукта кислотной переработки нефелина ОАО "Апатит", а также отходов обогащения руд, Мурманской области для получения теплоизоляционных материалов.

В настоящее время многих исследователей привлекает разработка пеносиликатных материалов – аналогов пеностекла. Такие материалы обладают рядом преимуществ: экологичны, дешевы и негорючи. Для их получения используются различные виды кремнеземсодержащего сырья как природного, так и техногенного происхождения. В связи с этим, проводились исследова-

ния по получению блочных пеносиликатных материалов на основе техногенных отходов Кольского полуострова.

В качестве исходного сырья использовалась проба кремнеземсодержащего продукта кислотной переработки эвдиалитовых руд, которая представляет собой тонкодисперсный порошок серо-белого цвета с удельной поверхностью  $279 \text{ м}^2/\text{г}$  и насыпной плотностью –  $523 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Химический состав пробы, мас. %:  $\text{SiO}_2$  69.90,  $\text{TiO}_2$  0.78,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  0.91,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  2.03,  $\text{CaO}$  0.91,  $\text{MgO}$  0.45,  $\text{R}_2\text{O}$  0.35,  $\text{MnO}$  0.32,  $\text{P}_2\text{O}_5$  0.04,  $\text{ZrO}_2$  4.28, п.п.п. 13.15.

Состав смеси, мас. %: кремнеземсодержащий продукт 80–95, гидроксид натрия (в пересчете на  $\text{Na}_2\text{O}$ ) 5–20. Пеносиликатные материалы получали путем приготовления жидкостекольной композиции с последующим вспучиванием. Критерием оценки качества блочных материалов были выбраны прочность на сжатие, плотность и структура (размеры и правильность упаковки пор, равномерность их распределения и толщина межпоровых перегородок) изделия, а критерием оптимизации – состав масс и технологические режимы получения.

Полученные из такой шихты пеносиликаты обладают мелкопористой структурой с неравномерно распределенными порами и прочностью, не превышающей 2 МПа. Применение их в качестве блочных теплоизоляционных материалов возможно при улучшении технических характеристик, в том числе и путем совершенствования структуры. Для вспученных теплоизоляционных материалов оптимальной считается структура, состоящая из полидисперсных по размеру равномерно распределенных пор с глянцевой поверхностью припорового слоя, разделенных тонкими плотными одинаковыми по сечению межпоровыми перегородками [3]. Наличие такой структуры обеспечивает получение высококачественных материалов.

Одним из путей регулирования свойств жидкостекольной композиции с получением качественного пеносиликатного материала, является его модифицирование путем введения добавок. Согласно литературным данным введение водостойких и прочных добавок, например апатито-нефелиновых отходов и диопсида, улучшает технические свойства готового продукта, за счет возможного проникновения и распределения добавок в пустотах кристаллической структуры и микроструктуры [4–6]. Другим путем регулирования свойств пеносиликатов является применение исходных материалов различной дисперсности. Грубодисперсные частицы обеспечивают создание жесткого каркаса, тонкодисперсная и жидкая составляющие заполняют образующееся в нем поровое пространство. Создания такой структуры можно

достичь использованием твердой фазы в виде двух и более порошков с разной крупностью [3].

В ходе наших исследований выявлено, что введение в состав апатито-нефелиновых отходов (АНХ) крупностью – 1 мм приводит к повышению механической прочности образцов до 4.2 МПа при незначительном росте плотности до 0.42 г/см<sup>3</sup> (рис. 1). Однако введение их более 10–15 % нецелесообразно по причине роста плотности пеносиликата и формирования неравномерной пористой структуры материала.

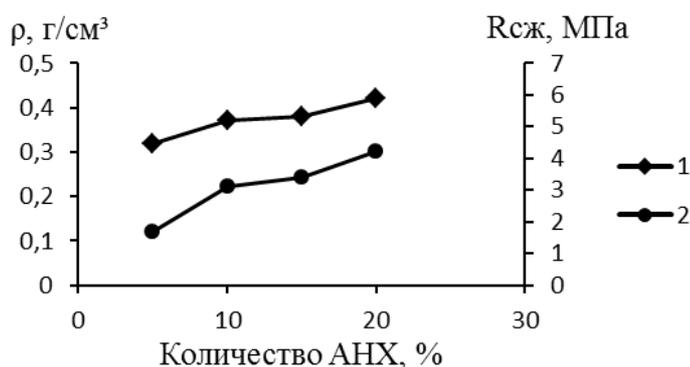


Рисунок 1 – Влияние содержания АНХ на плотность (1) и прочность при сжатии (2) пеносиликатов, вспученных при 650 °С

С целью улучшения структуры пеносиликатов и увеличения прочностных характеристик в ряде экспериментов к шихте добавляли измельченный пеносиликат (ПС) фракции –1 мм в количестве 10–30 % (сверх 100 %). При получении образцов использовали сушку на воздухе в течение 24 часов и гидротермальную обработку при 90 °С в течение 2 часов, которая, как известно, способствует ускорению образования гидратированных щелочных силикатов. При этом происходит увеличение концентрации источника газовой фазы и повышение порообразования при низких температурах до появления расплава [7]. Термообработку проводили при 650 °С с изотермической выдержкой в течение 0.5 часа. Для стабилизации пены осуществляли резкое снижение температуры на 100–150 °С с последующим медленным охлаждением до температуры окружающей среды. Получено повышение прочности – до 5 МПа при одновременном увеличении плотности до 0.45 г/см<sup>3</sup> (рис. 2).

Исследования влияния диоксида на технические свойства пеносиликатов показали, что его введение приводит к увеличению прочностных характеристик в среднем в 2 раза при некотором увеличении плотности (0.55 г/см<sup>3</sup>) пеносиликатов. При введении измельченного до –0.05 мм в количестве 30 %

(сверх 100 %) диоксида достигается увеличение прочности материала до 4.2 МПа (рис. 3).

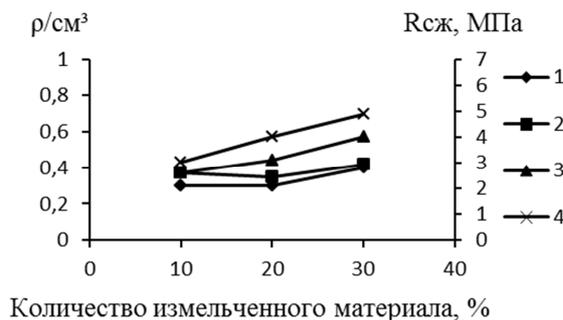


Рисунок 2 – Зависимость плотности (1, 2) и прочности (3, 4) пеносиликатов от количества измельченного ПС с сушкой на воздухе (1, 3) и с сушкой при 90 °С (2, 4)

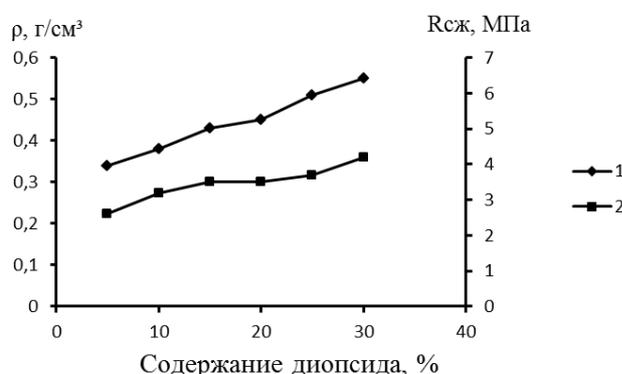


Рисунок 3 – Зависимость плотности (1) и прочности (2) от количества диоксида

Кроме того, введение измельченного диоксида, как показали исследования, способствует снижению водопоглощения и увеличению водостойкости в 2–3 раза, что избавляет от необходимости дополнительной обработки материала гидрофобизаторами.

На рисунке 4 представлены фотографии блочных материалов, полученных при добавлении измельченного ПС. Управление составом шихты и оптимальный температурный режим синтеза пеносиликатов позволяют получать материалы с широким диапазоном свойств.



Рисунок 4 – Пеносиликаты для изготовления теплоизоляционных материалов (температура вспучивания 650 °С, время выдержки 30 мин)

Таким образом, проведенные исследования показали возможность получения из кремнеземсодержащего продукта кислотной переработки эвдиалитовых руд блочных пеносиликатов. Исследовано влияние минеральных добавок на технические характеристики пеносиликатов. Подобраны оптимальные составы пеносиликатов, мас. %: микрокремнезем 68, NaOH (в пересчете на Na<sub>2</sub>O) 17, АНХ 15, измельченный пеносиликат или диопсид 10–20 (сверх 100 %).

При оптимальных условиях получены пеносиликаты с достаточно низкой плотностью 0.3–0.55 г/см<sup>3</sup>, высокой прочностью до 5 МПа. Полученные блочные материалы могут быть использованы в строительстве для тепловой изоляции внутренних стен, кровли, чердачных перекрытий, полов зданий и сооружений и др.

### **Библиографический список**

1. Манакова, Н. К., Суворова О. В. Теплоизоляционный материал на основе кремнеземсодержащих отходов переработки рудного сырья Кольского полуострова // ЖПХ. – 2012. – Т. 85. – № 11. – С. 1741–1745.
2. Суворова, О. В., Мотина А. В., Манакова Н. К. Теплоизоляционные материалы из кремнеземсодержащего сырья // Вестн. МГТУ. – Т. 18. – № 1. – 2015. – С. 149–155.
3. Углова, Т. К., Новоселова С. Н., Татаринцева О. С. Экологически чистые теплоизоляционные материалы на основе жидкого стекла // Строительные материалы. – 2010. – № 10. – С. 44–46.
4. Альперович, И. А. // Строительные материалы. – 1998. – № 2. – С. 22–23.
5. Верещагин, В. И., Борило Л. П., Козик А. В. Пористые композиционные материалы на основе жидкого стекла и природных силикатов // Стекло и керамика. – 2002. – № 9.
6. Верещагин, В. И., Меньшикова В. К., Бурученко А. Е., Могилевская Н. В. Керамические материалы на основе диопсида // Стекло и керамика. – 2010. – № 11.
7. Григорьев, П. Н., Матвеев М. А. Растворимое стекло. – М. : Наука, 1956. – 433 с.

## Особенности пропаривания многослойного полистиролгазобетона

**Пак А. А., Сухорукова Р. Н.** (*г. Анапты, Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им И. В. Тананаева КНЦ РАН, e-mail: pak@chemy.kolasc.net.ru; suhorukova@chemy.kolasc.net.ru*)

**Аннотация.** Изложены особенности и преимущества обратного режима термовлажностной обработки полистиролгазобетона, когда заформованное изделие ставится в пропарочную камеру, минуя стадии предварительной выдержки и подъема температуры, сразу при 80–85 °С.

**Abstract.** The characteristics and advantages of reverse mode wet thermal treatment polystyrene gas concrete, when the formed product is put in a steam-curing chamber, bypassing the stage of preliminary endurance and temperature rise, immediately at the 80–85°C is discussed.

Физическая сущность повышения температуры бетона состоит в ускорении химических реакций и активизации взаимодействия воды и цемента, что в результате обеспечивает ускорение твердения бетона. Однако с ускорением химических процессов происходит объемное расширение всех компонентов бетонной смеси: в меньшей степени – твердых материалов, на два порядка больше расширяется вода, еще больше – газообразная составляющая. Если с началом разогрева структура бетона недостаточно прочная, чтобы воспрепятствовать объемному температурному расширению компонентов смеси, то возникают остаточные деформации и развиваются в бетоне деструктивные процессы. Большое влияние на разрушение структуры бетона оказывают градиенты температур и влажности по сечению изделия, а также процессы тепломассообмена, происходящие между нагреваемым бетоном и окружающей средой. Для получения высокопрочного бетона стремятся, чтобы прочность структуры затвердевающего бетона в процессе нагрева всегда превосходила внутренние напряжения в объеме изделия. Поэтому, чтобы обеспечить равномерный разогрев без больших температурных и влажностных перепадов, уменьшить отрицательное влияние деструктивных процессов из-за объемной температурной деформации компонентов бетонной смеси, осуществляют плавный подъем температуры в тепловом агрегате от низкой начальной до максимальной изотермической с предварительной выдержкой отформованного изделия до начала ТВО для набора бетоном минимальной прочности, способной противодействовать возникающим внутренним напряжениям в бетоне. Характерным для всех традиционных режимов термовлажностной обработки (ТВО) бетонных и железобетонных изделий на неорганическом вяжущем является постепенный подъем температуры в теп-

ловом агрегате от низкой положительной (окружающей среды) до наивысшей – температуры изотермической выдержки [1]. Общепринятые режимы ТВО изделий состоит из четырех этапов: 1 – предварительная выдержка перед началом прогрева – в пределах 2–6 ч, 2 – плавный подъем температуры со скоростью 20–35 °С/ч – 2–3 ч, 3 – изотермическая выдержка при температуре 85–95 °С – 6–8 ч, 4 – остывание бетона со скоростью 30–35 °С/ч – 2–3 ч. Такие режимы ТВО отнесем к прямым. Общая продолжительность ТВО по прямому режиму – 12–20 ч. В большинстве случаев ТВО изделий производится в открытых формах.

Недостатками известных прямых режимов ТВО являются большая продолжительность его осуществления (до 20 ч), что приводит к большим энергозатратам, снижению оборота металлических форм, а также необходимость строгого контроля за плавностью подъема температуры в тепловом агрегате (пропарочной камере).

Однако прямые режимы ТВО с плавным подъемом температуры нельзя считать оптимальными для композиционных материалов из полистиролгазобетона, образованных послойным сочетанием газобетона и пенополистирола [2]. При прямом режиме ТВО вначале, при достижении в камере 35–40 °С, начинает вспучиваться и твердеть газобетонная смесь. Затем, при дальнейшем подъеме температуры в пропарочной камере до 85–95 °С (в течение 60–75 мин), вспенивается полистирол.

Как показали выполненные нами эксперименты, за это время газобетон набирает прочность при сжатии от 0.05 до 0.15 МПа, перейдя из вязкопластичного состояния в твердое тело. А давление расширения полистирола при вспенивании (при достижении температур 95–100 °С) находится в пределах 0.05–0.13 МПа, т. е. не превосходящее набранной величины прочности газобетона [3]. Тем более, что с дальнейшим ростом температуры прочность бетона быстро нарастает. Вследствие этого вспенивающийся полистирол не может вдавиться в поверхностные слои газобетона, происходит просто механическое прижатие (самопрессование) конструктивных слоев, не происходит взаимного проникновения контактирующих материалов друг в друга. Поэтому не обеспечивается надежное сцепление и даже возможно возникновение трещин в стыке конструктивных слоев.

На основании вышеизложенного необходим другой режим ТВО многослойных изделий из полистиролгазобетона, при котором создаются температурно-влажностные условия, обеспечивающие первоначальное вспенивание полистирола и вдавливание его в еще не затвердевшую, вязко-пластичную

газобетонную смесь. Т. е. нужен такой режим ТВО, при котором вначале вспенивается полистирол, а потом уже затвердевает газобетонная смесь.

Поставленная задача решается тем, что свежееотформованные полистиролгазобетонные изделия устанавливаются в пропарочную камеру, предварительно разогретую до 80–85 °С. После закрытия камеры температура в ней быстро (за 0.1–0.2 ч) поднимается до 95–100 °С, выдерживается на этом уровне 0.7–1.0 ч для полного прогрева изделия и вспенивания полистирола, затем осуществляются плавное снижение температуры в камере до 70–75 °С за 1.5–2.0 ч (известно, что продолжительное нахождение пенополистирола при температурах свыше 70–75 °С отрицательно сказывается на его свойствах), затем изотермическая выдержка при 70–75 °С в течение 4–5 ч и далее остывание изделия до 30–35 °С в течение 3–4 ч. Общая продолжительность ТВО по предлагаемому режиму 9–12 ч. Такой режим ТВО отнесем к обратному. Отличительные особенности обратного режима ТВО – отсутствие этапов предварительной выдержки и подъема температуры в пропарочной камере, а также создание температурных условий для опережающего вспенивания полистирола и его прижатие с вдавливанием в еще не затвердевшую газобетонную смесь, что обеспечивает более прочное и бездефектное соединение конструктивных слоев.

На рисунке приведены графики традиционного прямого режима ТВО бетона и обратного режима ТВО композиционного полистиролгазобетона с опережающим вспениванием полистирола.

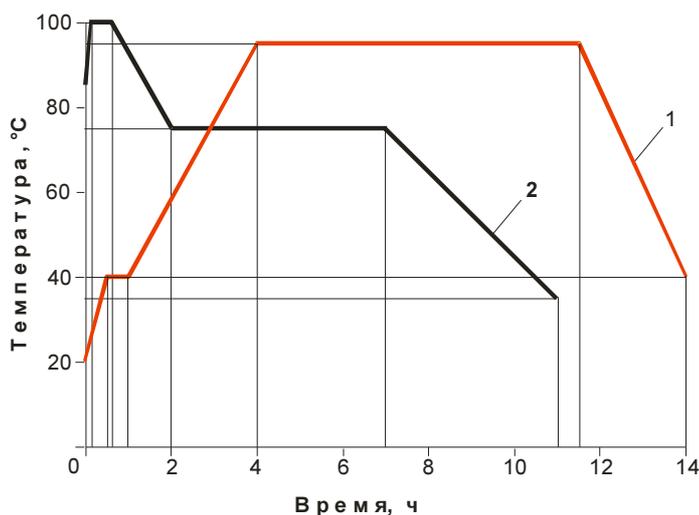


Рисунок – Режимы термовлажностной обработки:

- 1 – традиционный прямой режим ТВО бетона; 2 – рекомендуемый обратный режим ТВО ПГБ: подъем температуры с 85 до 100 °С за 0.25 ч; выдержка при 100 °С для вспенивания полистирола – 0.5 ч; сброс температуры до 75 °С – за 2.25 ч; выдержка при 75 °С – 5 ч; остывание до 35 °С – 4 ч.

Трещины в газобетоне, вследствие постановки формы с изделием в пропарочную камеру без предварительной выдержки сразу в зону высоких температур и быстром разогреве до 95–100 °С, не возникают по двум причинам:

1 – газобетонная смесь находится в вязко-пластичном состоянии и легко разогревается без фиксации трещин;

2 – изделие находится в жесткой, закрытой со всех сторон форме, которая исключает внешний тепломассообмен и препятствует объемному температурному расширению компонентов бетонной смеси.

Помещая свежееотформованное изделие сразу в зону высоких температур (80–100 °С), тем самым заставляем вначале вспениваться полистирол (за короткое время – в течение 3–5 мин), пока газобетонная смесь еще не успевает затвердеть. Когда бетонная смесь начнет затвердевать, осуществляется сброс температуры до вполне оптимальных 70–75 °С, необходимых для набора прочности бетона и не опасных для полистирола.

Такой режим не осуществим в открытых формах, не предотвращающих внешний тепломассоперенос и свободное расширение материалов при нагревании. Кроме того, газобетонная смесь отличается высоким водосодержанием и литой консистенцией (подвижность смеси по вискозиметру Суттарда 22–26 см), поэтому она дольше, чем другие виды бетонов, находится в вязко-пластичном состоянии, в котором не закрепляются остаточные деформации (трещины).

В таблице приведены результаты определения прочности сцепления полистирола с газобетоном в зависимости от начальной температуры в пропарочной камере.

Таблица – Прочность сцепления полистирола с газобетоном в зависимости от начальной температуры в пропарочной камере

№ примера	Начальная температура разогрева пропарочной камеры, °С	Прочность сцепления газобетона с пенополистиролом, МПа
1	20	0.020
2	40	0.031
3	60	0.063
4	80	0.084

Из таблицы видно, что повышение начальной температуры в пропарочной камере с обеспечением первоначального вспенивания полистирола, до затвердевания газобетона, изменяет механизм взаимодействия материа-

лов и приводит к повышению прочности сцепления конструктивных слоев в композиционном полистиролгазобетоне.

### **Библиографический список**

1. Баженов, Ю. М., Комар А. Г. Технология бетонных и железобетонных изделий. – М. : Стройиздат, 1984. – С. 153–167.
2. Пак, А. А., Сухорукова Р. Н. Основы технологии и физико-механические свойства композиционного стенового материала из полистиролгазобетона // Технология бетонов. – 2008. – № 10. – С. 61–63.
3. Пак, А. А., Сухорукова Р. Н. Особенности технологии стеновых многослойных изделий из полистиролгазобетона // Известия ВУЗов. Строительство. – 2010. – № 5. – С. 30–34.

## **Особенности структуры заполнителя древесно-цементного композита, применяемого для изготовления строительных блоков**

**Титова С. А.** (*г. Петрозаводск, ФГБОУ ВО "Петрозаводский государственный университет", институт лесных инженерных и строительных наук, e-mail: s-28@mail.ru*)

**Аннотация.** В данной работе отмечена актуальность исследования древесно-цементных композитов в условиях севера. Поднимается вопрос о структуре сыпучего древесного заполнителя. Предпринимаются попытки исследования формы и размеров структурных единиц данного материала с целью создания математической модели, которая позволит контролировать плотность упаковки и параметры уплотнения сыпучего древесного материала.

**Abstract.** In this research work the actuality of researching wood-cement composites in the north is noted. The issue about the structure of the loose wood packing materials is raised. Attempt to research of shapes and sizes structure this material in order to create a mathematic model for control the density of materials in package and options for compaction of the loose wood material.

**Ключевые слова:** древесно-цементный композит, отсев.

**Key words:** wood-cement composite, fines tray.

Современные технологии в строительстве, так же как и в других производственных областях стремятся к эффективному расходованию ресурсов, это актуально не только для периода непосредственного устройства конструкций, но и их проектирования, а также процесса эксплуатации. В свете этой тенденции тщательный подбор строительных материалов обретает дополнительный смысл, особенно для регионов с суровым северным климатом, где наряду с прочностью, долговечностью, экологичностью, удобством устройства и экономической выгодой, необходимо учитывать повышенные требования к морозостойкости и энергоэффективности. Кроме того небогатая сырьевая база арктических широт предполагает оптимизацию её использования, таким образом, применение отходов производств в изготовлении современных строительных материалов может быть названо перспективным межотраслевым рычагом ресурсосбережения в регионе.

Древесно-цементные композиционные материалы для производства строительных блоков являются одними из таких. В настоящее время известно немало исследований на эту тему [1–4].

В данной работе рассматривается вариация композита, в которой в качестве заполнителя выступает отсев, представляющий собой мелкофракционные отходы производства технологической щепы, отбракованные на этапе сортировки. В качестве сырья используют еловые балансы, их измельчение осуществляется дисковой рубительной машиной вдоль волокон, это обуславливает вытянутую форму частиц. На следующей стадии путём фракционирования отделяется кондиционная щепа, которая идёт на варку целлюлозы для бумагоделательной промышленности, сверхкрупная фракция отправляется на доизмельчение, а сверхмелкая – отсев – на сжигание, ввиду непригодности для дальнейшего использования в данном цикле [3, 5]. Эти безвозвратные потери предлагается применить в составе древесно-цементной смеси в качестве заполнителя.

Важнейшей задачей является подбор оптимального состава материала, в частности имеет значение структура древесной составляющей, а именно форма, размер древесных частиц, и их воздействие на работу композита. В ходе предыдущих исследований было установлено наличие влияния этих факторов на основополагающие свойства – прочность и теплопроводность [6, 7]. Кроме того вопрос плотности упаковки сыпучего материала, а также его поведение в процессе уплотнения остаётся открытым [8] и требует уточнения характера распределения частиц путём создания математической модели. В связи с этим необходимость детального изучения структуры заполнителя становится очевидной.

Отсев, изъятый с поддона сортировки древесно-подготовительного цеха, был проанализирован при помощи комплекта сит, установленных друг над другом, с условием уменьшения диаметра отверстия сита от верхнего к нижнему: 10 мм, 7 мм, 5 мм, 3 мм, 2 мм, 1 мм, 0.5 мм, 0.25 мм и поддон. Под действием гирационных колебаний гидропривода АЛГ-М просеивание одной навески осуществлялось в течение 60 с., параметры процедуры приняты по результатам предыдущих исследований [9]. Для изучения отобраны: фракция 5 (остаток на сите с диаметром отверстия 5 мм), фракция 3 (остаток на сите с диаметром отверстия 3 мм), фракция 2 (остаток на сите с диаметром отверстия 2 мм), фракция 1 (остаток на сите с диаметром отверстия 1 мм). Остатки на других ситах были отброшены в связи с незначительным количеством.

Измельчение реализовано рубительным дисковым ножом, что обуславливает продолговатую форму частиц. Это обстоятельство не позволяет упростить форму частицы до круга при рассмотрении в плоскости и до шара при рассмотрении в пространстве. Поэтому для описания распределения

частиц необходимым условием является определение параметров их усреднённой модели. В первом приближении предположим, что форма частицы – параллелограмм.

Из каждой фракции методом квартования были выделены навески по 100 г, из которых выбраны 100 случайных частиц, их размеры измерялись с помощью штангенциркуля с точностью до 0,1 мм. Наибольший размер для удобства назван – длиной, наименьший – толщиной, промежуточный между ними – шириной (рис. 1). Каждый из них был измерен трижды, в таблицу занесён средний результат.

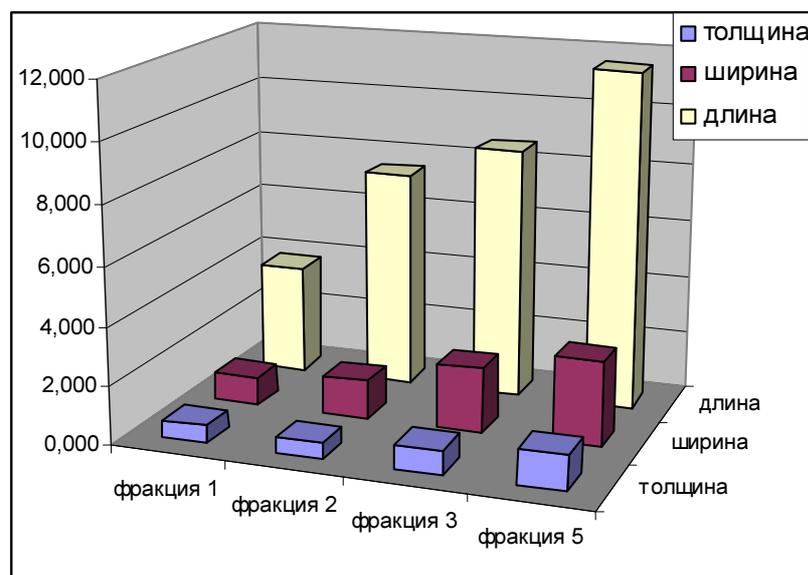


Рисунок 1 – Средние арифметические значения длины, ширины и толщины для фракций 5, 3, 2, 1

По окончании измерений были вычислены средние арифметические значения по длине, ширине и толщине отдельно для фракции 5, 3, 2, 1. Кроме того для каждой частицы был определён её условный объём, его вычисление производилось умножением трёх измерений, после чего найдено среднее арифметическое значение условного объёма для каждой фракции.

Отношение наибольшего размера к наименьшему находится в промежутке между 6 и 14 и не указывает на наличие каких-либо закономерностей, в то время как отношение между наибольшим и промежуточным составляет 3,9 во всех фракциях кроме фракции 2, здесь это отношение равно 5,5. Промежуточное значение (ширина), поделённая на наименьшее значение (толщину), дало во всех фракциях, одно и то же значение равное 2,5, кроме фракции 1, её отношение ширины к толщине составило 1,6.

Средний условный объём частиц возрастает почти в геометрической прогрессии (рис. 2), множитель колеблется в промежутке от 2,2–2,7.

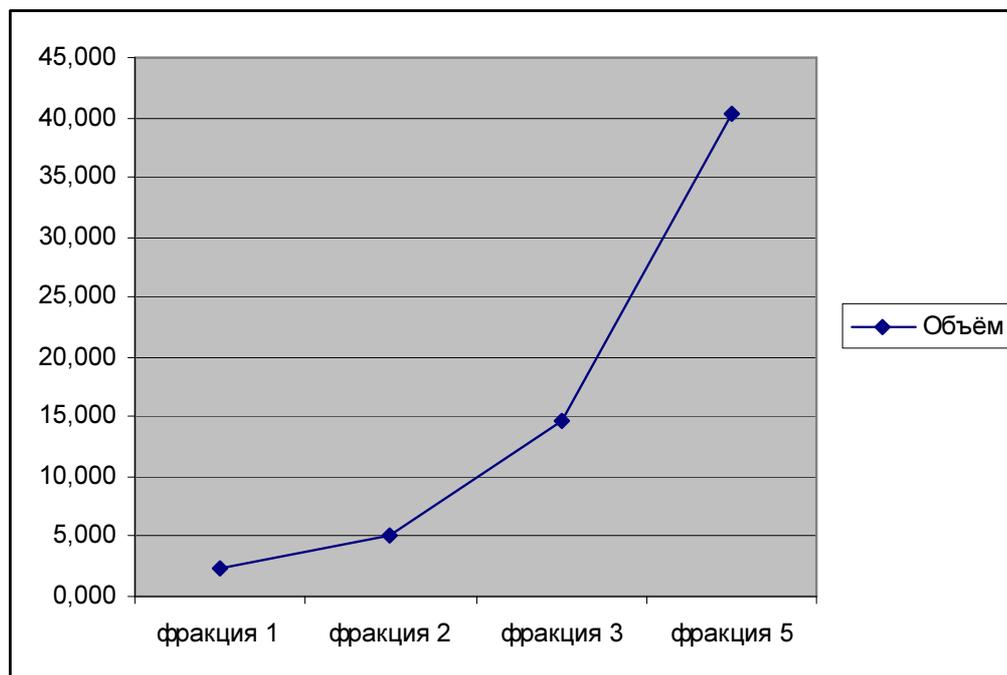


Рисунок 2 – Увеличение среднего условного объёма древесных частиц от фракции к фракции

Результаты, полученные в ходе исследования, дают представление об облике единичной частицы сыпучего материала, выявление некоторых закономерностей позволяет говорить о возможности создания обобщённой модели древесной частицы отсева, что позволит впоследствии судить о характере их распределения как в сыпучем материале, так и в составе древесно-цементной смеси.

В дальнейших исследованиях планируется уточнить имеющиеся данные о модели частицы путём увеличения количества повторностей опыта, а также создание математической модели материала с возможностью контроля плотности упаковки и регулирования параметров уплотнения.

#### **Библиографический список:**

1. Андреев, А. А., Колесников Г. Н. Совершенствование технологии использования отходов лесопильных предприятий в производстве древесно-цементных материалов для малоэтажного строительства // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 6–6. – С. 1139–1143.

2. Теплоизоляционные плиты из отходов переработки хвой сосны обыкновенной: особенности изготовления, функционирования и рециклинга /

М. И. Зайцева, Е. В. Робонен, Т. А. Гаврилов, Г. Н. Колесников // *Деревянное малоэтажное домостроение: экономика, архитектура и ресурсосберегающие технологии* : сб. статей по мат. междунар. науч.-практ. конф. – 2015. – С. 111–119.

3. Переработка отходов древесно-подготовительного цикла целлюлозно-бумажного комбината в древесно-цементный материал / В. С. Копарев, С. Б. Васильев, М. В. Филичкина, Г. Н. Колесников ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. Учреждение высш. проф. Образования Петрозавод. гос. ун-т. – Петрозаводск : Изд-во ПетрГУ, 2016. – 103 с.

4. Титова, С. А., Кузьменков А. А. Измельчённая древесина: опыт и перспективы применения (на примере республики Карелия) // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – № 10–10. – С. 2174–2177.

5. Васильев, С. Б. Комплексные исследования процесса производства щепы // *Resources and Technology*. – 2003. – Т. 4. – С. 13–15.

6. Влияние фракционного состава отсева на прочностные характеристики материала из древесно-цементного композита / М. Ю. Городничина, С. А. Титова, С. Б. Васильев, И. О. Цулая // *Деревянное малоэтажное домостроение: экономика, архитектура и ресурсосберегающие технологии* : сб. статей науч.-практ. конф. (23–27 июня 2014 г.). – 2015. – С. 56–60.

7. Титова, С. А. Влияние крупности древесных частиц на плотность и теплопроводность щепоцементных блоков для малоэтажного строительства // *Актуальные направления научных исследований XXI в.: теория и практика*. – Воронеж : Воронежская государственная лесотехническая академия, 2014. – Т. 2. – №. 3–2 (8–2). – С. 441–444. – ISSN 2308-8877.

8. Титова, С. А. Некоторые аспекты подбора оптимального состава древесно-цементного композиционного материала для строительных блоков // *Актуальные направления научных исследований XXI в.: теория и практика*. – Воронеж : Воронежская государственная лесотехническая академия, 2015. – Т. 3. – № 2–2 (13–2). – С. 472–475. – ISSN 2308-8877.

9. Параметры ситового анализа отсева, образовавшегося при производстве технологической щепы / С. Б. Васильев, С. А. Титова, А. В. Питухин, М. Ю. Городничина // *Фундаментальные исследования*. – 2015. – № 11–4. – С. 664–667.

## **Технологические аспекты использования мезопористого кремнезема в составе цементных композиций**

**Тюкавкина В. В.<sup>1</sup>, Касиков А. Г.<sup>2</sup>, Гуревич Б. И.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>(г. Мурманск, ФГБОУ ВПО "Мурманский государственный технический университет", кафедра промышленного и гражданского строительства)

<sup>2</sup>(г. Апатиты, Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева КНЦ РАН,  
e-mail: tukav\_vv@chemy.kolasc.net.ru)

**Аннотация.** Показано, что порошки кремнезема, полученные при выщелачивании магнезиально-железистого шлака, являются эффективными ускорителями гидратации и твердения цемента. Для равномерного распределения частиц SiO<sub>2</sub> в объеме материала и устранения агломерации необходимо порошки кремнезема подвергать ультразвуковой обработке в присутствии поверхностно-активных веществ либо использовать совместно с суперпластификатором.

**Abstract.** It has been shown that the silica powders obtained by leaching of magnesia-ferriferous slag promote the concrete hydration and hardening. To achieve a uniform SiO<sub>2</sub> distribution in the material bulk and eliminate agglomeration, the silica powders should be subjected to ultrasound treatment in the presence of surface-active substances or be used with a super-plasticiser.

**Ключевые слова:** кремнезем, ультразвуковое диспергирование, поверхностно-активные вещества, поликарбоксилатный суперпластификатор, цементный камень, прочность.

**Key words:** silica, ultrasound dispersion, surface-active substances, polycarboxylate super-plasticizer, cement stone, strength.

В настоящее время перед строительной отраслью остро стоит проблема обеспечения высоких функциональных свойств применяемых материалов. Основным направлением совершенствования цементных композиций является энерго- и ресурсосбережение, улучшение технологичности, повышение прочности и долговечности. Применение ультрадисперсных, мезопористых материалов, обладающих развитой удельной поверхностью от 50 до 1 000 м<sup>2</sup>/г имеющих размер пор в интервале 2–50 нм, дает возможность получения новых, улучшенных характеристик строительных материалов. Большинство работ направленных на улучшение свойств бетона связано с применением ультрадисперсных кремнеземсодержащих добавок.

В ИХТРЭМС в лабораторных условиях при выщелачивании отвальных магнезиально-железистых шлаков комбината "Печенганикель" АО "Кольская ГМК" растворами соляной и серной кислот были получены порошки

аморфного кремнезема с высокой удельной поверхностью 193–750 м<sup>2</sup>/г, диаметром пор 3.65–15.22 нм и глубиной пор – 3.77–10.97 нм. Частицы SiO<sub>2</sub> имеют сильно разрыхленную поверхность, слипаются в конгломераты размерами от 3 до 300 мкм [1].

Выполненные ранее эксперименты показали, что введение порошков кремнезема в систему портландцемент-песок-вода приводит к повышению прочности при сжатии на 12–24 % при массовом содержании добавки начиная от тысячных долей процента по отношению к цементу. Однако зависимость прочностных свойств вяжущего от массового содержания добавки носит немонотонный характер [2]. Основная проблема заключается в агломерации частиц SiO<sub>2</sub> в крупные довольно прочные агрегаты, что препятствует равномерному распределению их по всему объему материала. Вместе с тем, известно, что для устранения агломерации и максимального разделения частиц часто используют ультразвуковую обработку [3, 4].

В данной работе изучено влияние диспергированных порошков кремнезема, полученных при выщелачивании отвальных магнезиально-железистых шлаков на свойства портландцементного камня. Свойства порошков кремнезема, используемых в работе, приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Физико-химические показатели кремнеземсодержащих добавок

Показатели	Условия получения добавки	
	Из раствора сернокислотного выщелачивания шлака (проба 1)	Остаток солянокислотного выщелачивания шлака (проба 2)
Внешний вид	белый порошок	серый порошок
Структура	аморфная	аморфная
Содерж. SiO <sub>2</sub> , мас. %	78.8	78.3
H <sub>2</sub> O (по данным ДТА)	8.36	8.91
ППП (по данным ДТА)	16.4	13.9
Удельная поверх., м <sup>2</sup> /г	502	276
Объем пор, см <sup>3</sup> /г	0.278	0.717
Средний диаметр пор, нм	3.15	12.20
Средняя глубина пор, нм	2.97	7.93

Для предотвращения агломерации и максимального разделения частиц SiO<sub>2</sub> в объеме материала порошки кремнезема подвергали ультразвуковому диспергированию (УЗД) при помощи ультразвукового диспергатора УЗД 2-0,1/22 с рабочей частотой 22 кГц.

Эффективность диспергированных порошков кремнезема была оценена в составе портландцемента и мелкозернистого бетона. В работе использо-

вали портландцемент СЕМ II/A-V 42,5R (Норвегия) и кварцевый песок с модулем крупности 2.54. Из цементного теста нормальной густоты готовили образцы размерами 2x2x2 см, часть из которых твердела в нормальных условиях, часть подвергали термовлажностной обработке (ТВО).

Из цементного раствора при соотношении цемента к песку 1 : 3 формовали образцы-балочки размерами 40x40x160 мм, водоцементное отношение составляло 0.50, образцы твердели в воде. При приготовлении образцов порошки диоксида кремния вводили в воду, подвергали УЗД, время диспергирования составляло 15 минут, затем диспергируемую добавку вводили либо в цемент, либо цементно-песчаную смесь. Содержание кремнеземсодержащей добавки в составе вяжущего изменялось от 0.005 до 5 мас. % от массы цемента. Эффективность действия добавок оценивалась как отношению прочности при сжатии цемента с добавками к прочности бездобавочного.

Проведенные исследования показали, что при введении диспергируемой добавки в цементный раствор в количестве 0.005–0.1 % массы цемента марочная прочность при сжатии цементного камня повышается на 15–17 %, при увеличении добавки до 5 мас. % – на 24–25 % (табл. 2). Такой же пророст прочности наблюдается и при использовании добавки кремнезема без предварительной обработки ультразвуком. Таким образом, ультразвуковая обработка порошков кремнезема в воде не смогла преодолеть их склонность к агломерации: при визуальном осмотре наблюдаются агрегаты частиц SiO<sub>2</sub>.

Таблица 2 – Влияние УЗД кремнезема на прочностные свойства мелкозернистого бетона

Содержание SiO <sub>2</sub> , мас. %	Предел прочности, МПа, в возрасте, сут, пророст (+) по отношению к цементу, %					
	при изгибе			при сжатии		
	3	7	28	3	7	28
SiO <sub>2</sub> после солянокислотного выщелачивания шлака						
–	6.5	6.4	8.1	30.2	37.5	44.0
0.1	6.1	7.1	8.2 (+1)	32.3 (+7)	37.7 (+1)	53.4 (+21)
1	6.3	7.1	8.4 (+4)	34.5 (+14)	41.2 (+10)	50.5 (+15)
3	6.1	7.2	8.3 (+3)	36 (+19)	42.8 (+14)	51.0 (+16)
5	6.6	7.5	9.2 (+14)	38.5 (+27)	47.6 (+27)	54.5 (+24)
SiO <sub>2</sub> после сернокислотного выщелачивания шлака						
0.005	5.9	6.5	7.4	36.0 (+19)	40.4	51.2 (+17)
0.01	6.4	6.0	7.8	33.9	41.2	50.8 (+16)
0.1	5.8	6.7	7.2	34.5	40.0	50.1 (+15)
1	6.6	6.9	8.5	34.9	40.8	52.8 (+20)
5	5.5	4.6	7.3	33.6	39.2	54.8 (+25)

Одним из технологических приемов предотвращения агломерации нано- и ультрадисперсных частиц является введение поверхностно-активных веществ (ПАВ) и суперпластификаторов [5–7].

Ультразвуковая обработка кремнезема в присутствии ПАВ (гексаметафосфата натрия) и в насыщенном известковом растворе позволила повысить марочную прочность цементного камня на 36–38 % (табл. 3).

Таблица 3 – Влияние условий диспергирования кремнезема на прочностные свойства цементного камня

Условия диспергирования SiO <sub>2</sub>	Содержание SiO <sub>2</sub> (проба 1), мас. %	Прочность при сжатии, МПа, в возрасте, сут, прирост (+) по отношению к цементу, %		
		1, ТВО	3	28
–	0	64.8	66.2	74.4
в воде	0.5	72.4 (+11)	71.1 (+7)	80.7 (+8)
в воде +0.15 % ПАВ	0.5	87.9 (+36)	75.0 (+13)	101.4 (+36)
в насыщенном известковом растворе	0.5	89.3 (+38)	75.8 (+15)	101.1 (+36)

Улучшение свойств мелкозернистого бетона наблюдается также при одновременном введении диспергируемого кремнезема и пластифицирующей добавки. В работе использовали пластифицирующую добавку на основе эфира поликарбоксилата Glenium<sup>®</sup> ACE 430. Эксперименты показали, что снижение водоцементного отношения и совместное введение добавок кремнезема и суперпластификатора в систему портландцемент-песок-вода приводит к повышению прочности при сжатии после 28 суток твердения в воде на 35–46 %, при изгибе – на 32–41 % (табл. 4). Наибольший прирост прочности цементного камня наблюдается в начальные сроки твердения: после 3-х суток твердения прочность при сжатии увеличивается на 56–80 %, при изгибе – 15–55 %.

Исследования физико-химических процессов гидратации и продуктов твердения цементного камня модифицированного добавкой кремнезема при помощи рентгенофазового, термографического анализов показали, что SiO<sub>2</sub> оказывает ускоряющее действие на гидратацию силикатов кальция и образование гидросиликатов кальция (с увеличением содержания добавки кремнезема в вяжущем на дифрактограмме наблюдается уменьшение рефлексов клинкерных минералов и увеличение рефлексов, принадлежащих гидросиликатам кальция), а также уменьшение Ca(OH)<sub>2</sub>.

Изучение структуры затвердевшего материала при помощи сканирующего электронного микроскопа показало, что введение порошков кремне-

зема, полученных из шлака, способствует образованию мелкопористой структуры, низкоосновных силикатов кальция и мелкоигольчатых кристаллов этtringита, армирующих структуру цементного камня.

Таблица 4 – Влияние кремнезема и суперпластификатора на прочностные свойства мелкозернистого бетона

Содержание добавки, мас. %		в/ц	Предел прочности, МПа через ... сут твердения, прирост (+) по отношению к цементу, %					
SiO <sub>2</sub>	Glenium		при изгибе			при сжатии		
			3	7	28	3	7	28
–	–	0.5	6.5	6.4	8.1	30.2	37.5	44.0
–	0.67	0.4	5.8	6.0	6.1	39.5 (+31)	41.0 (+9)	46.3 (+5)
SiO <sub>2</sub> после солянокислотного выщелачивания								
0.05	0.67	0.42	10.1 (+55)	8.3 (+28)	8.6 (+32)	51.8 (+71)	60.3 (+61)	61.0 (+39)
0.3	1.0	0.40	9.7 (+49)	8.2 (+26)	8.7 (+33)	51.7 (+71)	55.8 (+49)	60.2 (+37)
1.0	0.8	0.44	9.3 (+43)	8.4 (+28)	8.9 (+37)	60.2 (+99)	61.0 (+63)	62.5 (+42)
5.0	1.0	0.43	8.3 (+28)	8.6 (+32)	8.8 (+35)	51.2 (+69)	63.0 (+68)	64.4 (+46)
SiO <sub>2</sub> после сернокислотного выщелачивания								
0.3	0.67	0.43	8.8 (+35)	8.7 (+33)	9.1 (+33)	54.3 (+80)	55.0 (+47)	63.3 (+44)
1	0.67	0.45	7.7 (+18)	9.3 (+43)	9.2 (+41)	49.0 (+62)	55.0 (+47)	59.9 (+36)
3	0.67	0.47	7.5 (+15)	8.4 (+28)	8.8 (+35)	47.0 (+56)	50.2 (+34)	59.5 (+35)

Таким образом, проведенные исследования показали, что порошки кремнезема, полученные при переработке магнезиально-железистого шлака, являются ускорителями гидратации и твердения цемента и бетона на его основе. Для равномерного распределения частиц SiO<sub>2</sub> в объеме материала и устранения агломерации необходимо порошки кремнезема подвергать ультразвуковой обработке в присутствии поверхностно-активных добавок, либо использовать их совместно с суперпластификатором при одновременном снижении водоцементного отношения. Применение таких добавок позволит экономить цемент и при этом получать быстротвердеющие композиции.

### Библиографический список

1. Получение аморфного кремнезема из шлаков цветной металлургии и его использование для магнезиальных вяжущих / Тюкавкина В. В., Касиков А. Г., Гуревич Б. И., Майорова Е. А. // Химическая технология. – 2014. – № 3. – С. 167–172.
2. Использование порошков кремнезема, полученных после выщелачивания магнезиально-железистых шлаков, в качестве добавок в вяжущие

материалы / Тюкавкина В. В., Касиков А. Г., Гуревич Б. И., Майорова Е. А. // Проблемы рационального использования природного и техногенного сырья Баренц-региона в технологии строительных и технических материалов : мат. V Всерос. науч. конф. с междунар. участием, Апатиты 12–15 ноября 2013. – Апатиты : КНЦ РАН, 2013. – С.115–117.

3. Пономарев, А. Н. Нанобетон: концепция и проблемы. Синергизм наноструктурирования цементных вяжущих и армирующей фибры // Строительные материалы. – 2007. – № 6. – С. 69–71.

4. Королев, Е. В., Кувшинова М. И. Параметры ультрозвука для гомогенизации дисперсных систем с наноразмерными модификаторами / Строительные материалы. – 2010. – № 9. – С. 60–62.

5. Брыков, А. С., Камалиев Р. Т., Мокеев М. В. Влияние ультрадисперсных кремнеземов на гидратацию портландцемента // ЖПХ. – 2010. – Т. 83. – № 2. – С. 211–216.

6. Повышение эффективности вяжущих за счет использования наномодификаторов / В. В. Лесовик, В. В. Потапов, Н. И. Алфимов, О. В. Ивашов // Строительные материалы. – 2011. – № 12. – С. 85–88.

7. Артамонова, О. В., Чернышов Е. М. Концепция и основания технологий наномодифицирования структур строительных материалов. Ч. 1. Общие проблемы фундаментальности, основные направления исследований и разработок // Строительные материалы. – 2013. – № 9. – С. 82–90.

# **ЭНЕРГЕТИКА И ТРАНСПОРТ**

## **Технология измерения эмиссии "черного углерода" в отработавших газах стационарных дизельных установок и котельных**

**Баринов А. С.** (г. Мурманск, ФГБОУ ВПО "Мурманский государственный технический университет", кафедра энергетики и транспорта)

**Аннотация.** В современных условиях загрязнение воздуха создает не только серьезную экологическую проблему для жителей крупных мегаполисов, а также средних и даже небольших городов и поселков, но и вызывает глобальные климатические изменения. Общеизвестно, что транспорт является одним из основных источников выбросов загрязнений в атмосферу. В данной статье рассмотрено воздействие "черного углерода" на окружающую среду и здоровье человека и технология измерений выбросов от стационарных дизельных установок.

**Abstract.** In modern conditions of air pollution not only creates a serious environmental problem for residents of large cities, as well as medium-sized and even small towns and villages, but also causes global climate change. It is recognized that transport is a major source of emissions of pollutants into the atmosphere. This article describes the impact of "black carbon" on the environment and human health, and technology of measuring emissions from stationary diesel plants.

**Ключевые слова:** Технология измерений, "черный углерод", оценка эмиссии, стационарные дизельные установки

**Key word:** Measurement technology, "black carbon", the estimation of emission, stationary diesel installations

В современных условиях загрязнение воздуха создает не только серьезную экологическую проблему для жителей крупных мегаполисов, а также средних и даже небольших городов и поселков, но и вызывает глобальные климатические изменения. Мурманская область является "мазутозависимым" регионом. Значение и объемы использования котельных и дизельных установок очень большие. При этом процесс сгорания проходит при самых неблагоприятных условиях. В результате работы котельных Мурманск получает огромное количество выбросов, негативно влияющих на здоровье населения и окружающую среду. Изучение состава выбросов отработавших газов стационарных дизельных установок и котельных просто необходимо, для организации мероприятий, направленных на снижение этих негативных влияний от работы котельных и стационарных дизелей.

Главными задачами исследований по инвентаризации выбросов отработавших газов дизельных установок и котлов является получение максимально

достоверной информации о качественно-количественном составе различных компонентов в отработавших газах, получение сведений об их воздействии на окружающую среду и здоровье человека, анализ возможности контроля этого воздействия.

В процессе сгорания дизельного топлива и мазута могут образовываться значительные объемы твердых частиц. В свою очередь, твердые частицы также могут быть различны по своим качественным характеристикам. В зависимости от размера и процесса образования, в отработавших газах дизелей присутствует "черный углерод".

Черный углерод поступает в атмосферу в основном в виде сажи, т. е. частиц углерода антропогенного или естественного происхождения в различных связанных формах. Время его пребывания в атмосфере исчисляется несколькими днями или неделями.

В воздухе сажа поглощает солнечную энергию и излучает инфракрасную (тепловую) радиацию, а после выпадения на земную поверхность увеличивает количество поглощенной солнечной энергии поверхностью, тем самым способствуя ее дополнительному разогреву. Наиболее критично это в зонах, покрытых снегом и льдом (в полярных областях и горных районах), где ускоряется таяние льдов. Черный углерод попадает в атмосферу в результате неполного окисления углерода в процессе горения органических соединений, в том числе, например, при работе дизельных установок, отоплении помещений углем, дровами, мазутом, а также при эксплуатации печей и плит для приготовления пищи.

"Черный углерод" является продуктом неполного сгорания, с диаметром 2,5 мкм и менее. Дизель является важным источником выбросов в глобальном масштабе.

"Черный углерод" является мощным загрязнителем. Потенциал его воздействия на глобальное потепление в 680 раз превышает потенциал  $\text{CO}_2$ . Он также вносит свой вклад в негативное воздействие на здоровье человека, экосистемы и снижает прозрачность воздуха. Он вызывает болезни дыхательной и сердечнососудистых систем, а также преждевременную смерть.

Для определения количественной характеристики "черного углерода" в составе выбросов разработан эмиссионный фактор. Эмиссионный фактор это содержание "черного углерода" в отработавших газах при сжигании одного килограмма топлива. Этот фактор зависит от: качественного состава,

используемого топлива; исходных параметров дизельной установки и процесса сгорания. При сгорании 1 кг дизельного топлива может выбрасываться около 5г "черного углерода". Размер этих частиц от 0,5 мкм до 7 мкм в диаметре.

Определение эмиссионного фактора для дизельного двигателя или мазутной котельной выполняется исследовательским способом. Принципиальная схема проведения исследований показана на рисунке 1.

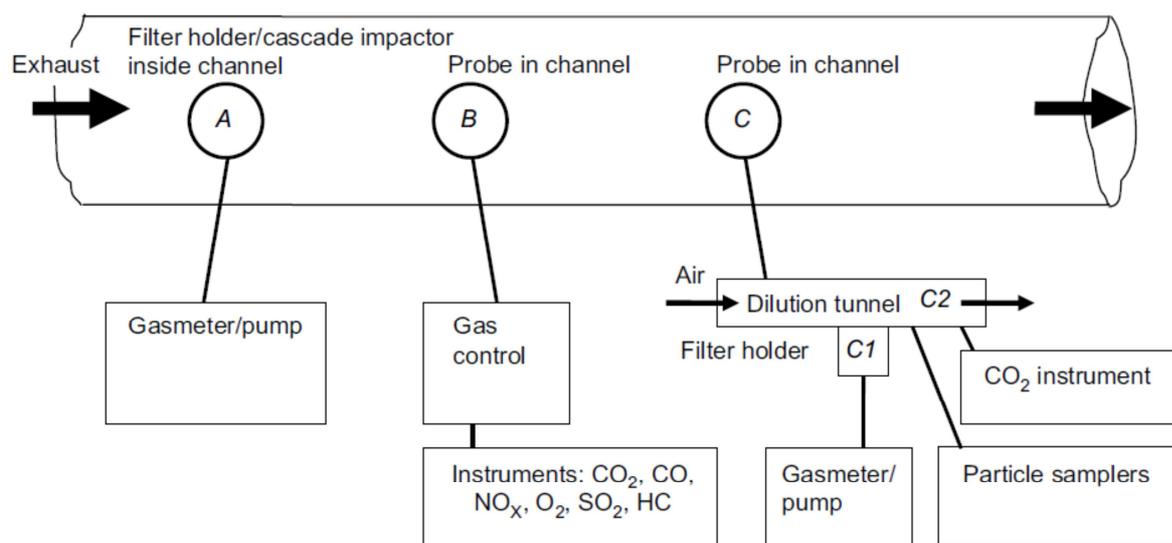


Рисунок 1 – Схема установки для отбора проб

Основой измерения количества "черного углерода" в отработавших газах дизелей и котельных является гравиметрический метод. Основной принцип гравиметрического метода это измерений массы фильтра до начала испытаний и после осаждения на фильтры твердых частиц. Так как любое изменение внешних параметров может привести к значительной погрешности, необходимо строго соблюдать технологию проведения измерений. Температура, атмосферное давление, содержание углеводородов, соединений азота, серы и углекислого газа.

Исследование отработавших газов проводится измерениями в трех последовательных точках. В точке "А" устанавливается держатель фильтра непосредственно внутри потока отработавших газов. На рисунке 2 изображен держатель с установленным в нем фильтром. Сбор твердых частиц на фильтр происходит при помощи насоса, установленного за фильтром. После сбора твердых частиц фильтр направляется на анализ для взвешивания и определения концентрации "черного углерода" в эмиссии отработавших газов.

В точке "В" устанавливается анализатор газа, который постоянно фиксирует концентрацию всех компонентов отработавших газов. Определяется содержание оксидов азота, оксидов серы, кислорода, углекислого газа и твердых частиц.

В точке "С" производится разбавление потока отработавших газов воздухом. Это разбавление необходимо для получения объективных результатов измерений. Соотношение разбавления отработавших газов к воздуху примерно один к десяти. Разбавление отработавших газов воздухом устраняет вероятность конденсации в них влаги и одновременно удерживает температуру на уровне, требуемом для измерения содержания твердых частиц. Процесс разбавления обеспечивает высокую точность измерений твердых частиц. Кроме разбавления в точке "С" постоянно фиксируется содержание  $\text{CO}_2$  при помощи газового анализатора.

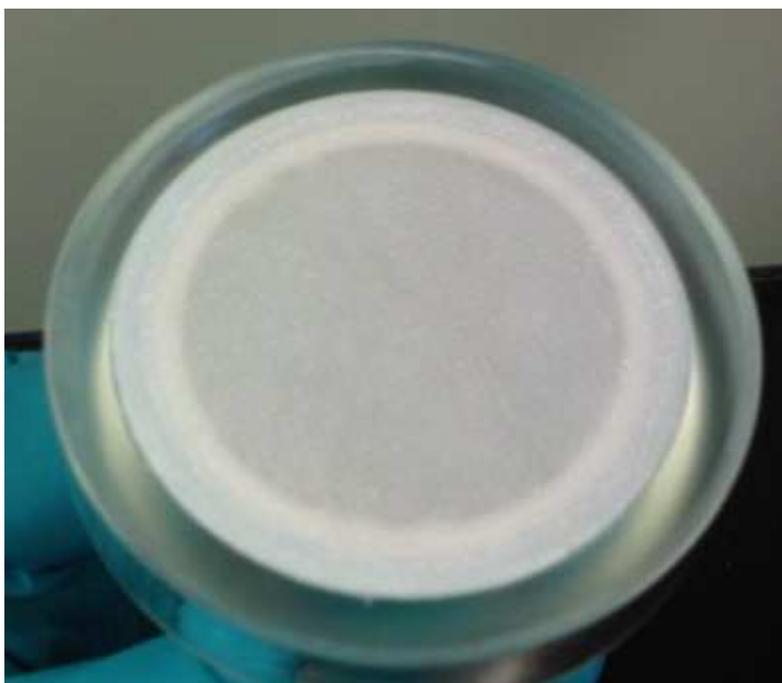


Рисунок 2 – Держатель фильтра и фильтр, установленный в нем

Существует также оценка фильтра по его цвету после сбора твердых частиц. В этом случае определяется примерная концентрация твердых частиц, осажженных на фильтр. Шкала оценки серого цвета изображена на рисунке 3. При проведении исследований важно установить правильный период отбора твердых частиц на фильтр. Если этот период будет не достаточно продолжительным, то анализ результатов будет затруднен и, наоборот, при слишком продолжительном отборе возможна потеря информативности в связи силь-

ным изменением проницаемости фильтра из-за осаждения на нем твердых частиц.

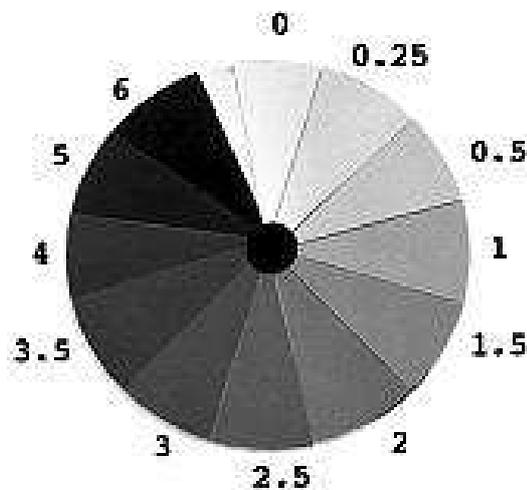


Рисунок 3 – Оттенки серого цвета

Результаты исследований помогут оценить количество выбросов "черного углерода" от котельных и дизельных установок. На основе этих результатов можно разработать стратегию снижения негативного воздействия от использования дизельного топлива и мазута.

### **Библиографический список**

1. Characterisation of particulate matter and gaseous emissions from a large ship diesel engine. Jana Moldanovar, Erik Fridell , Olga Popovicheva, Benjamin Demirdjian, Victoria Tishkova, Alessandro Faccineto, Cristian Focsa.
2. Ship particulate pollutants: Characterization in terms of environmental Implication. O. Popovicheva, E. Kireeva, N. Shonija, N. Zubareva, N. Persiantseva, V. Tishkova, B. Demirdjian, J. Moldanov and V. Mogilnikov.

## **Принципы реализации интеллектуальных систем для обеспечения безопасности процесса перевозок**

**Баус М. С.** (г. Томск, *Национальный исследовательский Томский государственный университет, e-mail: Maria\_70\_1@mail.ru*)

**Аннотация.** В данной статье рассматривается необходимость перехода от автоматизированных к интеллектуально-логическим системам управления. Сейчас происходит увеличение объема грузовых и пассажирских перевозок, также имеется сезонная неравномерность.

**Abstract.** In this article need of transition from automated to intellectual and logical control systems is considered. Now there is an increase in volume of freight and passenger traffic, there is also a seasonal unevenness.

**Ключевые слова:** безопасность перевозок, интеллектуальная система, перевозочный процесс.

**Key words:** safety of transportations, intellectual system, transportation process.

Сейчас происходит увеличение объема грузовых и пассажирских перевозок, также имеется сезонная неравномерность. Тем самым нужно переходить от автоматизированных к интеллектуально-логическим системам управления, а также нужно обеспечить безопасность процесса перевозок.

В условиях рыночной экономики оказываемые услуги по обслуживанию и ремонту грузовых вагонов должны отличаться высокими показателями качества, которые определяют безопасность и надежность перевозочного процесса в ОАО "РЖД".

Для обеспечения безопасности процесса перевозок нужно автоматизировать рабочие места поездных диспетчеров интеллектуальной составляющей это математические и программные обеспечение с применением теории катастроф и топологического моделирования, позволяющих решать задачи прогнозирования вариантов развития поездных ситуаций при экономическом мониторинге принимаемых решений.

Состояние элементов хозяйств, относимых к инфраструктуре железнодорожного транспорта, характеризуется их балльностью или их балловой оценкой. Всю структуру Интеллектуальной системы управления безопасностью перевозочного процесса (ИСУБ-П) можно представить как совокупность элементов хозяйств, относимых к инфраструктуре железнодорожного

транспорта – хозяйства пути, хозяйства сигнализации, централизации и блокировки, хозяйства электрификации и электроснабжения. Каждому элементу или подсистеме ИСУБ-П может быть поставлен в соответствие динамический массив, состоящий из постоянных и переменных параметров текущего, прогнозного и архивного состояний. Параметрами являются не только нормативно-справочная информация из различных правил и инструкций, но и функциональные свойства соответствующих элементов, определяемые паспортами вагонов и локомотивов, технико-распорядительными актами станций, планами формирования поездов и т. д. Каждый параметр, характеризующий элементы ИСУБ-П, имеет свое функциональное назначение и оказывает влияние как на состояние и функционирование отдельно взятого элемента или подсистемы ИСУБ-П, так и на порядок взаимодействия элементов инфраструктуры с транспортными потоками различных типов и категорий, а также на состояние и функционирование ИСУБ-П в целом [1]. Качественное состояние ИСУБ-П заключается в силе связности ее элементов при их взаимодействии с грузо-, вагоно-, поездо- и локомотивопотоками. Оно представляет собой пространство, которое можно назвать пространством структуры хозяйства пути, хозяйства сигнализации, централизации и блокировки, хозяйства электрификации и электроснабжения, структуры грузо-, вагоно-, поездо- и локомотивопотоков, так как именно структура взаимосвязи элементов инфраструктуры и циркулирующих на ней транспортных потоков определяющим образом влияет на состояние и функционирование ИСУБ-П. С изменением (исчезновением или ослаблением) связности между отдельными элементами инфраструктуры (недостаточная балльность или полный выход из строя того или иного элемента) происходит либо исчезновение самой ИСУБ-П, либо изменение ее качественного состояния. Качественное состояние ИСУБ-П можно представить в терминах отношений инцидентности. Т. е. взаимодействие элементов инфраструктуры с грузо-, вагоно-, поездо- и локомотивопотоками можно представить в виде прямых и обратных матриц инцидентностей, состоящих из нулей и цифр, характеризующих балльность соответствующего элемента инфраструктуры, а также состояние вагонных и локомотивных парков [2]. В общем случае структуру ИСУБ-П в  $k$ -мерном пространстве можно представить как совокупность размещенных в этом пространстве точек. Такие точки задают вершины геометрической фигуры, которая называется  $k$ -мерным симплексом. Согласно принятому определению, симплекс – это выпуклая

оболочка линейно независимых точек в евклидовом пространстве, или гомеоморфный образ. Однако по компьютерной терминологии существует и отличное понятие, согласно которой между вершинами симплекса данные могут перемещаться только в одном направлении и движение потока данных в противоположном направлении невозможно. При этом имеется в виду только информационный поток. В ИСУБ-П грузо-, вагоно-, поездо- и локомотивопотоки перемещаются в обоих направлениях, поэтому данный термин для моделирования процессов, происходящих в ИСУБ-П, неприемлем.

Существенное различие в системах диспетчерского управления определяется не только содержанием и объемом профессиональных задач, но и степенью опосредованности участия человека-оператора (диспетчера) в работе системы.

Диспетчер зависит от работы средств отображения информации. Эти и многие другие факторы опосредованного управления внешними процессами с помощью технических средств определяют уровень эффективности работы диспетчера производства или оператора подвижных объектов управления.

На железной дороге стрессовым воздействиям подвержены работники очень многих профессий, в их повседневной работе им постоянно приходится сталкиваться с факторами стрессогенного характера. Среди работников железнодорожного транспорта, обеспечивающих безопасность движения поездов и предотвращения ЧС на железной дороге, поездной диспетчер занимает ключевое положение. Труд поездного диспетчера относится к разновидности сложно-структурированной операторской деятельности и характеризуется значительными информационными нагрузками, высокой сложностью и напряженностью.

Термин "дуплекс", характеризующий возможность одновременной передачи данных (движения информационного потока) в обоих направлениях, также является не совсем подходящим, поскольку между одними и теми же элементами ИСУБ-П и субъектами РТУ (железнодорожными станциями, портами, экспедиторами, компаниями-операторами и т. д.) перемещаются потоки различных типов. Поэтому наиболее подходящим для формализации взаимодействий между элементами ИСУБ-П представляется термин "мультиплекс", характеризующий перемещение всех типов потоков в любых направлениях и их взаимодействие.

При этом под каждым мультиплексом подразумевается некое взаимодействие элементов инфраструктуры с грузо-, вагоно-, поездо- и локомотивопотоками. Коэволюционное взаимодействие, рассмотренное под углом зрения его организации, есть цепная связь конъюгирующих комплексов, для которой характерны асимметрия и наличие связи. Разрыв связи в коэволюционном взаимодействии, влечет за собой или дезорганизацию, или появление отдельных независимых комплексов. Эти идеи, выдвинутые А. А. Богдановым в начале XX в., относятся к исследованию формирующих организационных механизмов или механизмов формирования организационного взаимодействия. Для исследования многомерной связанной структуры мультипликационных комплексов целесообразно ввести понятие  $q$ -связности. Этот подход нашел прикладное применение в работах российских (Б. Б. Жардемков) и американских (Дж. Касти и Р. Эткин) ученых. Геометрически эти связи содержат информацию относительно того, каким образом взаимодействуют между собой различные типы элементов инфраструктуры ОАО "РЖД" и транспортных потоков в ИСУБ-П. На мультиплексах комплексов, соответствующих хозяйствам, относимых к инфраструктуре, можно ввести отношения эквивалентностей. Множества всех классов отношений эквивалентностей образуют соответственно фактор-множества, которые определяют разбиение пар мультипликационных комплексов на попарно непересекающиеся подсистемы (разбиение структуры ИСУБ-П на отдельные подсистемы элементов и потоков различных типов), называемых классами отношений эквивалентности. Мультиплексы, связанные общей вершиной, образуют соответственно множества мультиплексов соответствующих классов. Для учета индивидуальных свойств мультиплексов необходимо знать численное значение степени интегрированности каждого отдельного мультиплекса в структуру всей ИСУБ-П. Относительная важность того или иного элемента или потока в общей структуре ИСУБ-П характеризуется их эксцентриситетами. Для оценки качественного (топологического) свойства структуры ИСУБ-П целесообразно ввести показатель "мера сложности структуры", который может определяться для конкретных участков, полигонов и железнодорожной сети в целом. Предлагаемая ИСУБ-П позволяет:

- произвести анализ и оценку ее состояния одним интегральным показателем качества;
- определить степень интегрированности в ИСУБ-П отдельных подсистем и элементов инфраструктуры;

– сгруппировать отдельные категории элементов инфраструктуры и транспортных потоков различных типов в зависимости от сложности или отдельных критериев и выбрать по ранжиру качества наиболее важные с точки зрения обеспечения безопасности перевозочного процесса и предотвращения нештатных ситуаций.

### **Библиографический список**

1. Яковлева, Т. Г. под ред. Т. Г. Яковлевой Железнодорожный путь – 2-е изд. с изм. и доп. – М. : Транспорт, 2001.
2. Правила перевозок грузов железнодорожным транспортом : сборник. Кн. – М. : Юртранс, 2003.
3. Правила технической эксплуатации железных дорог РФ. – Москва, 2011 г.
4. Анализ состояния безопасности движения на железных дорогах России в 2002 г. / МПС России. Департамент безопасности движения и экологии. – М. : Транспорт, 2003.
5. Лысюк, В. С. Надежность бесстыкового пути / В. С. Лысюк, Н. Б. Зверев, Л. В. Башкатова ; под ред. В. С. Лысюка. – М. : УМК МПС, 1999.

## Мероприятия по энергосбережению при промышленном выращивании растений

**Блаженкова А. А., Данилова Я. Р., Цикота В. В.** (г. Мурманск, ФГБОУ ВПО "Мурманский государственный технический университет", кафедра энергетики и транспорта, e-mail: [vorbei@yandex.ru](mailto:vorbei@yandex.ru), [onilla\\_dx@mail.ru](mailto:onilla_dx@mail.ru), [vera.tsikota@yandex.ru](mailto:vera.tsikota@yandex.ru))

**Аннотация.** Рассмотрены варианты снижения стоимости потребляемой энергии для отопления и освещения теплиц, а также мероприятия по энергосбережению существующих хозяйств.

**Abstract.** Variants of reducing the cost of energy consumption for heating and lighting greenhouses are considered and energy saving measures of existing farms.

Рост и развитие растений непосредственно связаны с условиями и параметрами окружающей среды. Основными из них являются: питательные вещества, свет, воздух, тепло и вода. Данные факторы в совокупности являются тем комплексом, без которого существование растений невозможно, поэтому важнейшей задачей при организации искусственного выращивания растений является поддержание необходимых параметров внешней среды с учетом особенностей конкретного вида растения, что является энергоемким процессом [1].

Если для теплиц дачного/индивидуального пользования сложные обеспечивающие системы не являются обязательными, то для промышленных теплиц системы освещения, отопления, вентиляции, орошения и прочие системы являются неотъемлемым фактором успешного выращивания растений. Для больших производств такой обеспечивающий комплекс представляет собой крупного потребителя тепловой и электрической энергии. Поэтому встает вполне логичный вопрос – какие действия необходимо предпринять для создания энергоэффективного тепличного хозяйства?

Отвечая на поставленный вопрос, нужно понимать, что такое энергосбережение и энергоэффективность – это рациональное энергоиспользование во всех звеньях преобразования энергии – от добычи первичных энергоресурсов до потребления всех видов энергии конечными пользователями [1].

Создание любого энергоэффективного производства начинается еще на этапе проектирования и строительства. От этого, в конечном итоге, зави-

сит рентабельность всего предприятия. В процессе энергоэффективного проектирования используются те же самые подходы, методы и технические знания, что и в процессе энергоаудита существующих хозяйств и предприятий. Главное отличие состоит в том, что на этапе проектирования существует возможность выбора современных технологий, и в таких областях, как проектные параметры установок, используемый производственный процесс, основное производственное оборудование. Для промышленных теплиц важным нюансом являются виды культур, которые планируется выращивать [2].

Другим аспектом ведения современного хозяйства является экономичное использование энергии. В теплицах из-за большой площади прозрачных поверхностей возникают значительные потери тепла, для компенсации которых требуется определенный расход топлива в системе отопления. Для обогрева теплиц можно использовать горячую воду, водяной пар, нагретый воздух, инфракрасное излучение или продукты сгорания топлива [2].

Среди вариантов снижения стоимости потребленной энергии для отопления и освещения современных теплиц, наиболее популярно использование альтернативных источников тепла.

Альтернативные источники энергии имеют ряд недостатков – занимают большие площади, зависят от погодных условий, времени суток, сезона. Несмотря на бурное развитие в последние годы, использование ветровой и солнечной энергии остается экзотическим и дорогим экспериментом.

Другой источник альтернативной энергии, геотермальные ресурсы, – действительно огромны, но не соответствуют экономической и экологической эффективности. Также ограничены ресурсы, пригодные для освоения. Есть несколько проблем при использовании геотермальных ресурсов, которые очень сложно устранить.

Во-первых, в большинстве месторождений есть только горячая вода, которая, как правило, сильно минерализована, что также быстро изнашивает оборудование и требует специальных мероприятий. Обессоливание геотермальных вод – это сложная технологическая задача. Также после отработки образуется концентрированный рассол, который не утилизируется, являясь загрязнителем окружающей среды – сброс такого рассола уничтожает все живое в водоеме или участке грунта.

Во-вторых, выход геотермальных источников часто сопровождается газообразными выбросами, включая двуокись углерода, метан, радон и се-

ководород. Многие из них не только токсичны, ядовиты, и их нельзя просто выпускать в атмосферу, но и взрывоопасны. Поэтому геотермальная вода перед использованием должна подвергаться дегазации.

В-третьих, в России геотермальные источники в основном расположены экономически невыгодно – Сахалин, Камчатка, и Курильские острова отличаются слабой инфраструктурой, высокой сейсмичностью, малонаселенностью, сложным рельефом местности. Сегодня геотермальная энергетика развивается достаточно интенсивно в некоторых странах, в России также имеется опыт ее освоения, но этот способ отопления никак нельзя назвать бесплатным [2].

Для комбинированного производства тепла и электричества можно использовать мини-ТЭС. Вырабатываемая на мини-ТЭС электроэнергия идет на собственные нужды и искусственное освещение теплицы, вырабатываемая тепловая энергия идет на отопление, ГВС, обогрев. Выхлопные газы направляются в катализатор, где очищаются до чистого углекислого газа и, охлаждаясь в теплообменниках до приемлемой температуры, подаются в теплицу в качестве подкормки для растений.

Во всем мире уже давно используется система подкормки растений углекислым газом, содержащимся в объеме продуктов сгорания.

Распределение тепловой энергии и экономичное использование – не менее важный аспект тепличного хозяйства. В России, кроме строящихся новых теплиц, конструкции которых имеют хорошие показатели по энергосбережению, существует множество старых тепличных хозяйств. Их модернизация ограничена, кроме улучшения изоляции теплиц, приходится вводить более эффективные методы управления энергосистемой. Например, тепличным хозяйствам приходится внедрять все более совершенные компьютеры и программы, которые способны принимать самостоятельные компромиссные решения, и совмещать точность поддержания температурного режима и экономного потребления тепловой и электрической энергии [3].

К сожалению, во многих российских промышленных теплицах действует советская система подачи тепла – по графикам температуры, когда температура теплоносителя жестко привязана к наружной температуре. Очень часто это приводит или к перерасходу топлива или к дефициту тепла в теплице. При такой регулировке температуры теплоносителя не учитывается: скорость ветра, наличие осадков, уровень освещенности, положения форточек

и экрана, температуры обработки в контурах, расчетной и измеренной температуры и влажности в отделениях теплицы и т. д. Для того чтобы упорядочить все эти данные, нужна единая система сбора информации и принятия решений. Для этого можно воспользоваться современной системой управления, которая работает совместно с множеством внешних и внутренних датчиков. Эти датчики посылают информацию о температуре воздуха и влажности внутри теплицы и вне ее, о дожде и ветре.

На основе всех собранных данных современная система управления в режиме реального времени просчитывает необходимое количество энергии, согласно стратегии распределяет этот запрос между всеми источниками тепла [3].

Для экономии энергии существует система, которая следит за тем, чтобы кровля была зашторена. Это позволяет уменьшить необходимость ее обогрева ночью и увеличивает светоотдачу ламп досвечивания растений. Тепло, которое излучают эти лампы, система так же учитывает и, пока лампы включены, запрос тепла снижается. Это экономит тепло, предотвращает перегрев и температурный стресс растений. Лампы досветки в теплице делят на несколько зон для предотвращения резких токовых скачков при включении-выключении, а каждую зону – еще пополам, чтобы в одном ряду лампы включались сначала через одну, и только через некоторое время, остальные [4].

В любой системе, даже самой совершенной, невозможно обойтись без человека. Поэтому разработчики наряду с усложнением систем стараются максимально упростить работу операторов, технологов, агрономов. Создаются новые программы, с наглядным и понятным представлением информации, простыми способами ввода параметров.

Большинство параметров вводятся однократно, при настройке системы, многие другие имеют понятные, рекомендованные производителем пределы. Современные программы управления, позволяют убирать или добавлять на экран монитора только ту информацию, которую оператор, инженер, или агроном считают важной. Настройки индивидуальны для каждого сотрудника, что позволяет отследить действия всех, кто имеет доступ к данной системе [4].

Вопросы энергосбережения для российских теплиц, работающих с советских времен, являются ключевыми. Очень часто именно с них и начинается модернизация тепличных комплексов.

Инженерные системы современных промышленных теплиц включают в себя: электроснабжение, освещение, водоснабжение и водоотведение, теп-

лоснабжение, вентиляцию, а также системы контроля температуры, влажности и т. д.

Для существующих хозяйств будут актуальны мероприятия по энергосбережению, приведенные в таблице 1.

№ п/п	Наименование мероприятия
<b>1</b>	<b>Общие организационные мероприятия</b>
1.1	Назначение ответственного лица внедрению энергосберегательных мероприятий
1.2	Обучение персонала в области энергоэффективности и энергосбережения
<b>2</b>	<b>Системы освещения</b>
2.1	Замена ламп старой модификации на лампы нового поколения меньшей мощности при сохранении световых характеристик
2.2	Замена электромагнитных ПРА на электронные (при использовании газоразрядных ламп)
2.3	Своевременная протирка от пыли и грязи светильников и отражателей
2.4	Составление графика эксплуатации системы освещения для повышения эффективности процессов выращивания растений и уменьшения энергопотребления
<b>3</b>	<b>Системы электроснабжения</b>
3.1	Оснащение систем электроснабжения системами мониторинга потребления электрической энергии
3.2	Увеличение коэффициента загрузки электроприемников и ограничение их холостого хода
3.3	Модернизация внутренних сетей электроснабжения за счет замены кабельных линий на кабельные линии большего сечения (предпочтительнее с медными жилами)
<b>4</b>	<b>Системы отопления</b>
4.1	Снижение тепловых потерь за счет установки дополнительной теплоизоляции и устранения щелей и недоработок конструкций
4.2	Автоматизация системы теплоснабжения теплицы
4.3	Отстройка системы в зависимости от календарного периода
<b>5</b>	<b>Системы водоснабжения и водоотведения</b>
5.1	Снижение потребления за счет оптимизации расходов и регулирования температуры
5.2	Применение экономичной водоразборной арматуры
5.3	Замена трубопроводов ХВС, ГВС
<b>6</b>	<b>Системы вентиляции и кондиционирования</b>
6.1	Исключение перегрева и переохлаждения воздуха в помещениях
6.2	Применение устройств автоматического регулирования и управления вентиляционными установками и установками кондиционирования
6.3	Поддержание в рабочем состоянии поверхностей теплообменников, регуляторов и оборудования

В целом, можно сказать, что энергоэффективные промышленные теплицы – это результат тщательной проработки и обоснованного выбора ком-

плекса оптимальных решений в инженерной, конструктивной и архитектурной части проекта. Тем не менее, несмотря на все проводимые мероприятия по энергосбережению и вложенные инвестиции, старые тепличные конструкции никогда не смогут приблизиться к современным постройкам по уровню использования энергоносителей.

### **Библиографический список**

1. Гительман, Л. Д., Ратников Б. Е. Энергетический бизнес. – М. : Дело, 2006. – 600 с.
2. Свидерская, О. В. Основы энергосбережения / О. В. Свидерская. – Минск : ТетраСистемс, 2008. – 176с.
3. Федоров, С. Н. Приоритетные направления для повышения энергоэффективности зданий // Энергосбережение, 2008. – № 5. – С. 23–25.
4. Парахин, Н. В. Экологическая устойчивость и эффективность растениеводства: теоретические основы и практический опыт. / Н. В. Парахин – М. : КолосС, 2002. – 199 с.

## Логический уровень разработки навигационной системы судна на базе архитектурного подхода

**Бурзун М. С.** (*г. Мурманск, ФГБОУ ВПО "Мурманский государственный технический университет", кафедра математики, информационных систем и программного обеспечения; e-mail: burzun\_m@mail.ru*)

**Аннотация.** В работе рассмотрены основы построения логической модели навигационной системы судна по схеме Захмана, позволяющей последовательно описать каждый отдельный аспект системы в координации со всеми остальными через связи условия и правила.  
**Annotation.** The paper discusses the basics of building a logical model of the navigation system according to the scheme Zachman vessel, allowing consistently describe every single aspect of the system, in coordination with all the other via the communication conditions and rules.

**Ключевые слова:** моделирование процессов, схема Захмана, навигационная система.  
**Key words:** process modeling, Zachman scheme, a navigation system.

Разработка информационных систем – это процесс создания средств управления информацией. Система получает информацию, определяет правила обработки и передает результат потребителю. Для создания качественной системы, надо понять бизнес-процессы, потребности, какую именно информацией необходимо обрабатывать. Надо знать, какие объекты попадают в предметную область проектируемой информационной системы и какие логические связи между ними существуют. Для формирования такого понимания используются логические модели предметной области, которые позволяют поддержать бизнес-процессы предприятия ручным или автоматизированным способом. В такой модели отражаются сферы действия, как человека, так и машин. Модель может включать средства и механизмы управления, а также входные и выходные данные для логических систем, которые отражают систему функций и процессов предприятия [1].

На логическом уровне системной архитектуры осуществляется привязка организационных объектов судна к их местоположению, а так же – привязка компонент информационной системы к узлам сети [2].

При построении схемы Захмана для навигационной системы морского судна, следует рассмотреть ее компоненты и их привязку к узлам компьютерной сети, и привязку основных объектов системы к определенному местоположению [3].

Главный модуль – высокопроизводительный персональный компьютер, имеющий каналы для соединения с навигационными приборами и устройствами управления судном, устанавливается в рулевой рубке.

Резервный блок в полном или ограниченном объеме выполняет функции главного модуля при выходе последнего из строя. Резервной системе обеспечивается возможность получения всей необходимой информации от навигационных датчиков, результатов предварительной прокладки, данных корректур.

Навигационная система судна (НИС) использует данные, поступающие из различных источников, и передает свои сведения другим системам и устройствам.

НИС получает курс от гирокомпаса, скорость – от лага, глубину – от эхолота, обсервованные координаты – от приемоиндикаторов спутниковых и береговых РНС. К системе могут подключаться: указатель скорости поворота, электронный магнитный компас, датчик параметров ветра и ряд других приборов.

Одним из обязательных признаков НИС является автоматический ввод координат места от приемника спутниковой навигационной системы GPS или ГЛОНАСС, обеспечивающий возможность мониторинга точной позиции судна на электронных картах во всех районах Арктики.

Дополнительный модуль отображения НИС представляет собой снабженный органами управления монитор, который устанавливается на мостике. Он предназначен для возможности параллельного с главным модулем отображения данных в разных режимах. Этот блок полезен в ситуациях, когда при управлении судном задействовано несколько человек. На мостике, если необходимо, может устанавливаться несколько дополнительных мониторов НИС.

НИС позволяет по каналу Internet передавать изображение с главного ПК на дисплеи компьютеров, находящихся в других помещениях (в штурманской рубке, в каюте капитана и т. д.). Это компьютеры становятся выносными блоками НИС. Имея такой выносной модуль в своей каюте, капитан может в любое время проконтролировать процесс судовождения [4].

На логическом уровне последовательно определяются участники бизнес-процессов и их роли.

На данном этапе строят модели, отражающие поток работ, который включает спецификации ролей и ответственность участников.

Средства общения НИС с оператором включают пользовательский интерфейс, методы и формы отображения информации, звуковую сигнализацию, визуальные и голосовые предупреждения.

Пользовательский интерфейс НИС представляет собой среду организации взаимодействия оператора с системой. Он позволяет судоводителю изменять системные параметры, вводить данные, выбирать виды сервиса и функции, которые должна выполнять система.

На логическом уровне определяются события, вызывающие изменение состояния информационных объектов и инициацию операций над ними. В результате формируется структура процессов.

Поступающая в НИС информация с внешних датчиков считается краткосрочной, т. е. сохраняет свою ценность сравнительно небольшой срок (неделю, сутки, несколько часов). Эти сведения целесообразно хранить в динамических базах данных, состоящих из файлов, содержание которых полностью заменяется при обновлении информации.

Поступление новой информации вызывает ответные действия со стороны экипажа судна и принятие новых решений.

Информация, отражающая судно как систему управления движением и его внешнюю среду, включает в себя многочисленные данные: навигационно-гидрографические, метеорологические, климатические, географические, гидрологические, о морских мобильных объектах.

Для выполнения своих задач НИС использует информацию практически всех судовых навигационных датчиков: гирокомпаса, лага, эхолота, РЛС, САРП, транспондера АИС, НАВТЕКС, приемоиндикаторов спутниковых и береговых радионавигационных спутниковых и береговых радионавигационных систем и др., а также относящиеся к безопасности сведения, поступающие через каналы связи от береговых центров, обслуживающих мореплавателей.

Вахтенному помощнику НИС представляет информацию в интегрированном виде путем отображения концентрированных характеристик текущего состояния процесса судовождения на электронной карте.

Сложность обработки вышеназванной информации заключается в том, что НИС мало используется для выработки решений по управлению судном, так как в системе недостаток информации для формирования эффективных решений или отсутствует для ряда ситуаций метод нахождения решений.

В связи с планами превращения навигационной системы судна в мощную систему информационной поддержки принятия решений, проводятся работы по дополнению НИС экспертными системами. Они позволяют НИС стать консультантом вахтенного помощника в вопросах судовождения.

Основой экспертной системы является база знаний, которая пополнит состав информационного обеспечения НИС.

База знаний – это совокупность фактов, зависимостей и правил в некоторой предметной области, на основе которых можно производить рассуждения. Обычно база знаний представляет собой набор элементов, формализующих опыт специалистов в конкретной предметной области, и позволяющих давать на вопросы о ней ответы, которые в явном виде не содержатся в базе.

Разрабатываемые для НИС базы знаний предназначены для распознавания ситуаций, выработки рекомендаций, касающихся действий судоводителя в особых и экстремальных ситуациях. В базу знаний войдет информация, содержащаяся в официальных правилах, инструкциях, направлениях и рекомендациях. Это правила плавания в районах со специальными условиями, на подходах к конкретным портам, при прохождении определенных узкостей и каналов, при пониженной видимости; рекомендации по штормованию, по плаванию во льдах и т. д. Это также сведения о действиях, которые требуется предпринимать в аварийных ситуациях, при обеспечении непотопляемости и в других случаях. Самое главное, база будет аккумулировать знания опытных судоводителей, на основе которых с учетом многочисленных наставлений и руководств могут быть определены эффективные пути решения возникающих проблем в конкретной ситуации с пояснением, почему предположительно такое решение и доказательством его обоснования.

Кроме того, база знаний может содержать информацию, необходимую для выполнения диагностики судовых систем и механизмов, навигационной аппаратуры и решения ряда других задач.

Советы и рекомендации в отношении поведения в особых экстремальных ситуациях могут выдаваться системой по запросу судоводителя при появлении признаков, указывающих на развитие такой ситуации, при получении по каналам связи предупреждений о возможности ее возникновения.

Судовождение относится к процессам с повышенной опасностью. Поэтому вопросам надежности программного обеспечения, достоверности данных, их целостности, конфиденциальности, защите от умышленного и неумышленного искажения, контролю принадлежности к официальным уполномоченным источникам (аутентичности), уделяется в НИС внимание.

Безопасность данных НИС имеет три основные составляющие:

- конфиденциальность – защита информации от несанкционированного доступа;
- целостность – защита точности и полноты информации и программного обеспечения;

– доступность – обеспечение получения информации и основных услуг для пользователя в нужное для него время.

Защита данных НИС обеспечивается совокупностью стандартных мер, включающих: криптографическое кодирование, паролирование, присваивание идентификаторов, электронную цифровую подпись и т. д.

Процессы обработки в НИС информации о внешней среде судна являются основными, так как они ориентированы на производство информации, необходимой для безопасного управления судном:

- обработка важной в навигационном отношении информации;
- взаимодействие с береговыми системами;
- прогнозирование элементов обстановки на определенный период времени;
- планирование пути;
- оперативное ведение навигационных задач и ведение исполнительной прокладки;
- контроль достоверности информации.

Методы и формы отображения информации обеспечивают концентрированное, наглядное, точное представление требуемых вахтенному помощнику данных, способствуют глубокому пониманию им ситуаций, складывающихся при судовождении, и помогают принимать верные решения по управлению судном.

Звуковая сигнализация, визуальные и звуковые предупреждения привлекают внимание судоводителя к ситуациям, требующих быстрой оценки и принятия действий [4].

### **Библиографический список**

1. Развитие навигационных информационных систем с отображением электронных карт. [Электронный ресурс]. URL: <http://flot.com/editions/nh/7-17.htm?print=Y/> (дата обращения 16.02.2016).

2. Схема Захмана при разработке требований к ИС. [Электронный ресурс]. URL: <http://reqcenter.pro/zachman-framework/> (дата обращения 16.02.2016).

3. Данилин, А., Слюсаренко А. Архитектура предприятия : учебный курс. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.intuit.ru/studies/courses/995/152/info> (дата обращения 15.02.2016).

4. Вагущенко, Л. Л. Судовые навигационные информационные системы. – Одесса, Латстар, 2004. – 302 с.

## **Биоэнергетические аспекты переработки отходов окорки круглых лесоматериалов**

**Гаврилов Т. А., Колесников Г. Н.** (*г. Петрозаводск, ФГБОУ ВО "Петрозаводский государственный университет", кафедра общетехнических дисциплин, e-mail: gavrilov@petrsu.ru; kolesnikovgn@yandex.ru*)

**Аннотация.** В статье рассматривается вопрос диверсификации лесопромышленного комплекса на основе переработки древесных отходов как одного из перспективных направлений развития ведущих секторов экономики в Арктическом регионе. Предложена технология получения биоэнергии и биоудобрения на основе переработки отходов окорки.

**Abstract.** The article considers the issue of diversification of the forest industry complex on the basis of recycling of debarking waste as one of the promising directions of development of the leading economic sectors in the Arctic region. Technology for producing bioenergy and biofertilizer based on the recycling of debarking waste is proposed.

**Ключевые слова:** Арктический регион, биоэнергетика, лесопромышленный комплекс, отходы окорки, биоконверсия.

**Key words:** Arctic region, bioenergetics, forest industry complex, debarking waste, bioconversion.

Одним из перспективных направлений развития ведущих секторов экономики в Северных и Арктических регионах России является диверсификация и совершенствование технологий лесопромышленного комплекса [1], в том числе на основе рационального использования отходов производства. В процессе функционирования предприятий лесопромышленного комплекса образуются большие объемы отходов окорки, которые являются, с одной стороны, существенной проблемой для предприятий, связанной с необходимостью нести дополнительные затраты на их переработку. При этом, с другой стороны, они являются ценнейшим ресурсом, рациональное использование которого позволяет повысить рентабельность и конкурентоспособность предприятий лесопромышленного комплекса. В настоящее время существует большое разнообразие технологий переработки отходов окорки [2, 3, 4, 5, 6], при этом ни одна из технологий не получила широкого распространения, вследствие ряда существенных недостатков, описанных ранее в научных публикациях [2, 4, 5]. В связи с чем разработка новых рациональных технологий переработки отходов окорки является актуальной проблемой.

Одной из перспективных технологий переработки отходов окорки, отвечающих требованиям экономической эффективности и экологической безопасности, является анаэробное метановое сбраживание отходов окорки (авто-

рами работы подана заявка на изобретение № 2015150374 "Способ переработки коры хвойных и лиственных деревьев", дата подачи заявки 24.11.2015). В основе данной технологии лежат сложные природные процессы биологического разложения органических веществ в анаэробных условиях под воздействием особой группы анаэробных бактерий, с получением в конечном итоге биоэнергии в виде биогаза (содержит 60...80 % метана) и биоудобрения (высококачественного экологически чистого органического удобрения, в состав которого входят гумусоподобные органические вещества, способствующие структурированию почвы и повышению ее плодородия). Биогаз может быть использован в качестве топлива для выработки электроэнергии, тепла, пара, а также автомобильного топлива. В качестве основных компонентов сбраживаемой смеси используются навоз или помет, так как он содержит большое количество биогенных веществ, особенно азота (*N*), которые необходимы для питания анаэробных бактерий, и отходы окорки круглых лесоматериалов.

Данная технология состоит из ряда операций. Отходы окорки измельчают и смешивают с навозом или пометом сельскохозяйственных животных, после чего производят анаэробное метановое сбраживание полученной смеси при постоянном перемешивании. Затем осуществляют сбор образующихся в процессе анаэробного метанового сбраживания биогаза и биоудобрения (шлама).

Процесс анаэробного метанового сбраживания может протекать в трех температурных диапазонах: психрофильном (до 20 °С), мезофильном (от 20 до 40 °С) и термофильном (от 40 до 70 °С). Температура сбраживания влияет на выход биогаза и длительность этого процесса. На основании анализа результатов исследований, представленных в научной литературе [4, 7, 8, 9, 10] установлено, что интервал температур 30...50 °С является наиболее оптимальным для осуществления анаэробного метанового сбраживания отходов окорки, в этом интервале температур вырабатывается наибольшее количество биогаза при наименьшей длительности процесса сбраживания. Ниже температуры 30 °С выход биогаза очень мал (количество вырабатываемой энергии хватает только на функционирование биогазовых установок и поддержание необходимого температурного режима, т. е. коэффициент полезного действия стремится к нулю), при этом длительность процесса сбраживания увеличивается в разы. Выше температуры 50 °С резко увеличиваются затраты энергии на процесс сбраживания, также при этом в составе биогаза начинают появляться кремний содержащие вещества, которые снижают качество

биогаза, кроме того с повышением температуры выше 50 °С концентрация свободного аммиака (которое также увеличивается с ростом температуры) достигает точки, при которой процесс сбраживания замедляется и может вообще остановиться.

Длительность анаэробного метанового сбраживания отходов окорки в интервале температур 30...50 °С составляет 5...7 суток, при условии постоянного перемешивания перерабатываемой смеси, так как это ускоряет процессы биологического разложения органических веществ и образования биогаза, что было установлено на основе анализа результатов исследований, представленных в научной литературе [4, 7, 8, 9, 10].

Необходимым условием высокой эффективности процесса анаэробного метанового сбраживания является активный обмен веществ и высокая скорость биохимических обменных процессов, напрямую зависящие от величины площади поверхности частиц перерабатываемого материала. Достигнуть большой площади частиц перерабатываемого материала возможно посредством его измельчения. Также необходимым условием высокой эффективности процесса анаэробного метанового сбраживания является высокая степень однородности перерабатываемой смеси, она должна составлять 90...95 %. На основании анализа результатов исследований представленных в научной литературе [4, 7, 8, 9, 10] установлено, что средний размер отдельных частиц отходов окорки должен соответствовать значениям из интервала 1...7 мм. Скорость биохимических обменных процессов частицы с размером более 7 мм будет недостаточной для эффективной переработки отходов окорки. Измельчение частиц менее 1 мм экономически неэффективно, так как на это затрачивается очень большое количество энергии, при этом скорость биохимических обменных процессов увеличивается незначительно. Также установлено, что для достижения однородности смеси измельченных отходов окорки и навоза или помета сельскохозяйственных животных 90...95 % смешивание необходимо производить в течение 5...7 минут.

Технология переработки отходов окорки осуществляется следующим образом: отходы окорки измельчают до среднего размера отдельных частиц 1...7 мм, далее измельченные отходы окорки смешивают в течение 5...7 минут с навозом или пометом сельскохозяйственных животных, после чего производят анаэробное метановое сбраживание полученной смеси при температуре 30...50 °С и постоянном перемешивании в течение 5...7 суток, и осуществляют сбор образующихся в процессе анаэробного метанового сбраживания биогаза и биоудобрения (шлама).

Использование данной последовательности операций и технологических режимов позволяет получить новый технический результат, который состоит в сокращении длительности переработки отходов окорки; снижении зависимости эффективности переработки отходов окорки от природно-климатических условий и времени года (по температуре окружающей среды); уменьшении потребности использования больших площадей; сокращении материальных затрат на приобретение компонентов перерабатываемой смеси; и получении кроме биоудобрения (шлама), дополнительного ценного продукта – биогаза.

Для подтверждения технического результата был проведен ряд пробных экспериментов по переработке отходов окорки. Навеску коры сосны обыкновенной (взятую сразу после окорки) в количестве 10 кг измельчили в молотковой дробилке. Методом ситового анализа определили средний размер отдельных частиц, который составил 3,68 мм. Далее измельченную кору загрузили в лабораторную модель биогазовой установки, после чего в нее также загрузили свиной навоз в количестве 30 кг, и осуществили их перемешивание в течение 7 минут (посредством лопастной мешалки, которая уставлена внутри биогазовой установки). Затем произвели анаэробное метановое сбраживание полученной смеси при поддержании температуры внутри лабораторной модели биогазовой установки 45 °С и постоянно перемешивая. Сбраживания осуществляли в течение 7 суток. Вырабатываемый биогаз собирался в отдельную емкость, соединенную с биогазовой установкой. Через 7 суток было получено 8,45 м<sup>3</sup> биогаза и 38,8 кг жидкого биоудобрения (шлама). Частиц коры сосны обыкновенной в жидком биоудобрении не найдено.

Таким образом, анаэробное метановое сбраживание смеси отходов окорки и навоза или помета сельскохозяйственных животных позволяет при наименьших материальных затратах, в кратчайшие сроки перерабатывать отходы окорки с получением в качестве конечного продукта биогаза и биоудобрения. При этом процесс анаэробного метанового сбраживания практически не зависит от природно-климатических условий и времени года (по температуре окружающей среды). Данный процесс осуществляется в компактных автоматизированных биогазовых установках (затраты всех видов энергии на функционирование биогазовых установок и поддержание необходимого температурного режима составляют около 30 % от всей вырабатываемой энергии). Тем самым создаются условия для поточной переработки отходов окорки в промышленных объемах.

### Библиографический список

1. Селин, В. С. Значение Северных и Арктических регионов в новых геоэкономических условиях развития России / В. С. Селин, Е. П. Башмакова // Регион: экономика и социология, 2010. – № 3. – С. 23–39.
2. Гаврилов, Т. А. Анализ направлений переработки отходов окорки / Т. А. Гаврилов, Г. Н. Колесников // Актуальные направления научных исследований XXI в.: теория и практика : сб. научных трудов по мат. междунар. заочной науч.-практ. конф. № 9. Ч. 2 (20–2). – Воронеж : ООО ИПЦ "Научная книга", 2015. – С. 115–118.
3. Гаврилов, Т. А. О моделировании реологических свойств отходов очистки круглых лесоматериалов от коры / Т. А. Гаврилов, Г. Н. Колесников // Актуальные направления научных исследований XXI в.: теория и практика : сб. научных трудов по мат. междунар. заочной науч.-практ. конф. № 5. Ч. 4 (16–4). – Воронеж : ООО ИПЦ "Научная книга", 2015. – С. 344–348.
4. Цывин, М. М. Использование древесной коры / М. М. Цывин. – М. : Лесная промышленность, 1973. – 96 с.
5. Волынский, В. Переработка и использование древесной коры / В. Волынский // ЛесПромИнформ, 2012. – № 2 (84). – С. 168–170.
6. Гаврилов, Т. А. Ресурсосберегающие технологии переработки отходов в виде биомассы древесины / Т. А. Гаврилов // Ресурсосберегающие технологии, материалы и конструкции : сб. статей по мат. региональной науч.-практ. конф. – Петрозаводск : Петропресс, 2014. – С. 20–24.
7. Голубев, И. Г. Рециклинг отходов в АПК : справочник / И. Г. Голубев, И. А. Шванская, Л. Ю. Коноваленко, М. В. Лопатников. – М. : ФГБНУ "Росинформагротех", 2011. – 296 с.
8. Седнин, В. А. Анализ факторов, влияющих на производство биогаза при сбраживании осадка сточных вод / В. А. Седнин, А. В. Седнин, И. Н. Прокопеня, А. А. Шимукович // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика, 2009. – № 5. – С. 49–58.
9. Баадер, В. Биогаз: теория и практика (Пер. с нем. и предисловие М. И. Серебряного) / В. Баадер, Е. Доне, М. Бренндерфер. – М. : Колос, 1982. – 148 с.
10. Головков, С. И. Энергетическое использование древесных отходов / С. И. Головков, И. Ф. Коперин, В. И. Найденов. – М. : Лесн. пром-сть, 1987. – 224 с.

## Методы формирования матрицы корреспонденций транспортной инфраструктуры города

Гусев Е. С., Малышев В. С. (г. Мурманск, ФГБОУ ВПО "Мурманский государственный технический университет", кафедра энергетики и транспорта)

**Аннотация.** Проблема транспортных заторов актуальна для большинства городов мира. Основными задачами при проектировании и модернизацией улично-дорожной сети является повышения безопасности, снижение экономических затрат и снижение экологического воздействия на окружающую среду. Но из-за неполноты, а и в некоторых случаях отсутствия исследований транспортной системы города приводит к тому что действия направленные на оптимизацию дорожного движения, либо мало эффективны, либо экономически не целесообразны.

**Abstract.** The problem of congestion is relevant for most cities in the world. Main tasks in the design and modernization of the road network becomes increasing safety, reducing economic costs and reducing the environmental impact of the ski on the environment. But because of the incompleteness and in some cases, the lack of research on the city's transport system leads to the fact that actions aimed at optimization of traffic, either not very effective or economically feasible.

**Ключевые слова:** матрица корреспонденции, улично-дорожная сеть, модель, транспортная сеть, транспортная система.

**Key words:** matrix correspondence, road network model, transport network, transport system.

Одной из основных проблем современных городов является деградирующая транспортная сеть, которая не способна справиться со стремительно возрастающим объемом транспорта на дорогах города. Как следствие ухудшается экологическая обстановка на городских улицах, также происходит повышение аварийности.

Для реализации мероприятий направленных на оптимизацию УДС применяется комплекс мер, как локального формата (реорганизация регулирования пересечений городских улиц, создания регулируемых пешеходных переходов и т. д.), так и глобального формата, одним из которых является создание модели транспортной сети города.

Одним из главных параметров транспортной сети города является транспортные и пешеходные потоки улично-дорожной сети города. Сложностью данного параметра является его непредсказуемость и неоднозначность, но в современной практике применяется методы составления матриц корреспонденции между различными пунктами транспортной сети.

В мировой практике чаще всего применяются математические модели для составления матриц корреспонденции, которые можно разделить на 4 основных класса.

Класс I. Данный класс математических моделей один из самых простых, которые направлены на определения технико-экономических показателей существующих транспортных сетей. Данный класс чаще всего применяют при планировании перевозок.

Класс II. Модели данного класса имеют более сложную структуру и представляются статистическими моделями – от простейших однофакторных до динамических многофакторных.

Данный класс математических моделей направлен на планирования, как грузовых перевозок, так и пассажирских перевозок на всех видах транспорта. Также иногда данный класс моделей применяют для прогнозирования объемов перевозок.

Класс III. Модели третьего класса, также как и второго тоже статические, но представлены гравитационными моделями, которые модифицированы и усложнены дополнительными условиями, которые направлены на балансировку матрицы корреспонденции.

Задачи этого класса включают задачи определения трудовых корреспонденции в городских транспортных системах, когда рабочие места, их ёмкость и размещение потенциальных кадров на территории города выявлены и установлены априори.

Класс 4. Модели данного класса энтропийные. Они представляются в форме нелинейной оптимизационной задачи математического программирования, причём их целевая функция носит "термодинамический" характер и включает вероятностные характеристики коллективного поведения. Определяющую роль играют не детерминированные факторы поведения индивидуумов, а закономерности коллективного поведения.

Рассмотрим более подробно гравитационную и энтропийную математические модели матриц корреспонденции.

### **Гравитационная модель**

В основе гравитационной модели положен закон всемирного тяготения, утверждающий, что гравитационного притяжения между двумя материальными точками массы и разделёнными расстоянием, пропорциональна обеим массам и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. Если применять данный закон относительно транспортной системы, то в качестве тел выступают пункты, порождающие/поглощающие потоки, за массу

тела принимается суммарный объем выезжающего, въезжающего потока, физическое расстояние можно заменить любыми другими затратами, связанными с передвижением. В самой простой форме гравитационная модель имеет вид:

$$p_{ij} = k \frac{s_i d_j}{c_{ij}^2}, i \in S, j \in D$$

где  $s_i$  – общий объем выезжающих из пункта  $i \in S$ ;  
 $d_j$  – общий объем въезжающих в пункт  $j \in D$ ;  
 $c_{ij}$  – удельные затраты на передвижение из  $i$  в  $j$ ;  
 $k > 0$  – калибровочный коэффициент.

Стоит отметить, что у данной модели существует недостаток. Как видно из формулы выше при увеличении объемов входящего трафика и выводящего трафика на два, объем полученных корреспонденций увеличивается в 4 раза, что с точки зрения транспортных моделей поведения на дорогах города нелогично. В связи с чем на практике классические гравитационные модели применяются с модификацией, где под модификацией понимают дополнительные условия, которые воздействуют на транспортную систему, к таким условиям чаще всего относят балансовые ограничения на въезд и выезд.

Кроме того, квадрат расстояния (затрат)  $c_{ij}^2$  заменяют на так называемую функцию тяготения  $f(c_{ij})$ , характеризующую предпочтения индивидуумов при выборе пары источник-сток ( $i, j$ ) для передвижения. В результате модифицированная гравитационная модель имеет вид

$$p_{ij} = \frac{s_i d_j}{f(c_{ij})}, \sum_{j=1}^n p_{ij} = s_i, \sum_{i=1}^m p_{ij} = d_j, p_{ij} \geq 0, i \in S, j \in D$$

или, что то же

$$p_{ij} = \alpha_i \beta_j s_i d_j f(c_{ij}), i \in S, j \in D$$

где калибровочные коэффициенты  $\alpha_i$  и  $\beta_j$  определяются из системы

$$\alpha_i = \left[ \sum_{j \in D} \beta_j d_j f(c_{ij}) \right]^{-1}, \beta_j = \left[ \sum_{i \in S} \alpha_i s_i f(c_{ij}) \right]^{-1}$$

Очевидно, что система будет совместной только тогда, когда суммарные объемы по выезду и въезду равны

$$\sum_{i \in S} s_i = \sum_{j \in D} d_j$$

### Энтропийная модель

Если рассмотреть второй закон термодинамики, который утверждает, что любая замкнутая физическая система стремится достичь устойчивого равновесного состояния, которое характеризуется максимумом энтропии этой системы, то можно провести аналогию с транспортной системой.

Транспортную систему города можно считать замкнутой, исключая все топологии и неизменности (ремонт и реконструкция дороги, введение новых объектов улично-дорожной сети и т. д.).

Таким образом, проблему определения корреспонденции  $p_{ij}$  можно ставить как задачу максимизации энтропии в транспортной системе. Пусть задано фиксированное пространственное распределение населения по зонам, порождающим потоки, как и ранее, назовем такие зоны источниками и объединим их во множество  $S$ , и по зонам, поглощающим потоки, назовем их стоками и объединим во множество  $D$ . Тогда распределение индивидуумов по транспортной сети между источником и стоком является распределением матрицы корреспонденции.

В работе Гасникова А. В. "Введение в математическое моделирование транспортных потоков" объясняется параллель преобразование энтропийной модели от физической системы к транспортной модели, в конечном варианте модель принимает вид

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p_{ij} \ln \frac{v_{ij}}{p_{ij}} \rightarrow \max$$

Данная модель справедлива при условии что выбор того или иного пути следования пользователя внутри транспортной системы за ранее известен, в противном случае при повышении вероятности выбора пользователем иного пути следования от запланированного, т. е. будет постоянным то энтропийная модель принимает следующий вид

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p_{ij} \ln \frac{1}{p_{ij}} \rightarrow \max$$

Из выше сказанного следует, что для построения транспортной модели города существует необходимость создания матрицы корреспонденции для определения проблемных точек (заторы, сложность маневр движения, увеличение интенсивности потока и т. д.), кроме того, при введении новых объектов в улично-дорожную сеть, приводит к изменению характеристик движения во всей системе.

Стоит отметить, что произвести выбор одной из представленной модели не возможно, так как каждая модель дополняет друг друга, так гравитационная модель направлена на изучения поведения пользователей с ограничением внешних факторов, в свою очередь энтропийная модель направлена на изучение движения в системе от множества факторов, включая психологическую особенность индивидуумов.

### **Библиографический список**

1. Введение в математическое моделирование транспортных потоков: учеб. пособие / Гасников А. В., Кленов С. Л., Нурминский Е. А., Холодов Я. А., Шамрай Н. Б.; Под ред. А. В. Гасникова. – М. : МФТИ, 2010. – 362 с.
2. Лобанов, Е. М. Транспортная планировка городов : [Для вузов по спец. "Орг. дорож. движения"] / Е. М. Лобанов. – М. : Транспорт, 1990. – 239, [1] с.
3. Степанов, Е. О. Математические модели оптимизации транспортных сетей и потоков : монография / Е. О. Степанов. – СПб. : СПб гос. ун-т информ. технологий, механики и оптики, 2005 (СПб. : РИО СПбГУ ИТМО). – 244 с.
4. Нурминский Е. А., Шамрай Н. Б. Прогнозное моделирование автомобильного трафика Владивостока // ТРУДЫ МФТИ. –2010. – Т. 2. – № 4.

## Способы обработки обводненных мазутов в системах топливоподачи стационарных котлов

**Зимнухов Е. Н., Малышев В. С., Пантилеев С. П.** (г. Мурманск, ФГБОУ ВПО "Мурманский государственный технический университет", кафедра энергетики и транспорта)

**Аннотация.** Использование обводненных мазутов создает серьезные проблемы в работе котлов. В работе рассмотрены эти проблемы, связанные, в том числе, со сгоранием в топке. Рассмотрены также пути решения либо за счет разработки способов удаления воды из топлива, либо с созданием устойчивых эмульсий. В работе рассмотрены эти способы на основании опыта работы котельных установок на судах флотов рыбной промышленности.

**Abstract.** Using watered fuel oil creates serious problems in the boilers. The paper discusses the problems including, for combustion in the boilers furnace. Also considered are ways to solve either through the development of methods for the removal of water from the fuel, or with the creation of stable emulsions. The paper discusses these methods are based on the experience of boiler installations on ships fleets fishing industry.

**Ключевые слова:** котёл, обводненный мазут, проблемы сгорания, водотопливная эмульсия, сгорание в топке котла.

**Key words:** boiler, watered fuel oil, combustion problems, water emulsion, burning in the boiler furnace.

### 1. Теплообмен в топке

В большинстве топок, за исключением топок циклонного или вихревого типа, передача теплоты рабочему телу, движущемуся в трубах, осуществляется благодаря лучистому отводу теплоты от высокотемпературных продуктов сгорания к поверхностям экранных трубок. Ввиду малой скорости продуктов сгорания в радиационном газоходе, конвективной составляющей теплового потока обычно пренебрегают.

Излучающая способность факела в основном определяется составом продуктов сгорания и температурным уровнем процесса горения. Наибольшей излучающей способностью обладает пламя мазутного факела.

На начальной стадии процесса горения мазута наблюдается образование большого количества частиц сажи. Обычно такой факел называют светящимся.

Наименьшее излучение у факела, состоящего из трехатомных газов  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ , получаемого при сжигании газа. Такой факел называют несветящимся.

Лучистый теплообмен в топке описывается законом Стефана-Больцмана, согласно которому удельный тепловой поток, падающий на экраны, кВт/м<sup>2</sup>

$$q_{п} = c_0 \varepsilon \left( \frac{T_{ф}}{100} \right)^4.$$

где  $c_0 = 5,67 \cdot 10^{-11}$  – коэффициент излучения абсолютно черного тела, кВт/(м<sup>2</sup> °К);

$T_{ф}$  – средняя температура факела;

$\varepsilon_{ф}$  – коэффициент теплового излучения, степень черноты топки.

От его горючих составляющих (углерода, водорода, летучей горючей серы и др.), а также от его влажности и зольности.

Теплота, выделяющаяся при сжигании 1 л дизельного топлива составляет  $q = 10\,300$  кКал, а при сжигании 1 л мазута М100 –  $q = 9\,700$  кКал.

При этом яркость пламени в топке горения мазута более высокая, чем при горении дизельного топлива, что делает интенсивность теплоотдачи в топке котла более высокой. Объясняется это тем, что в факеле горящего мазута гораздо больше сажистых частиц, которые и повышают излучательную способность пламени.

Данный факт подтверждается опытом работы котельной установки на судне проекта БМРТ-394пр., где установлены два котла. Главный потребитель пара – рыбомучная установка (РМУ). Это основной потребитель пара на судне. Обычно для обеспечения нормальной работы РМУ достаточно одного котла, работающего на мазуте. Когда же приходилось переводить котел на работу на дизельном топливе, давление пара в котле моментально падало и возникала необходимость подключать в параллельную работу на сеть второй котёл. В судовых вспомогательных котлах не развита конвективная поверхность нагрева, поэтому не смотря на то, что калорийность дизельного топлива выше, чем мазута, эффективность работы котла падает.

Такой эффект подтверждался многократно в течении длительных рейсов. Температура факела при работе на дизельном топливе возможно и не ниже, чем при работе на мазуте, но однозначно ниже излучательная способность пламени. Поэтому, для котлов, работающих на лёгких топливах (дизельное топливо, газ и пр.) необходима более развитая конвективная поверхность нагрева.

## **2. Вода в топливе**

Наличие воды в топливе приводит к эффекту снижения яркости пламени за счёт того, что трёхатомные газы поглощают часть лучистой энергии. Эта энергия могла бы использоваться на последующих участках газового тракта,

но, как отмечалось выше, у большинства вспомогательных котлов конвективные поверхности не развиты.

Исходя из выше сказанного, можно сделать вывод о нежелательном присутствии в воды в котлах с неразвитыми конвективными поверхностями нагрева, в которых можно понизить температуру уходящих газов до точки конденсации влаги с возможной утилизацией этой теплоты в хозяйственных целях.

Решить вопрос можно путем создания мелкодисперсных водо-топливных эмульсий. В настоящее время разработаны кавитационные диспергаторы, которые по мнению их разработчиков, приводят смесь к такому состоянию, при котором увеличивается яркость пламени за счёт повышения интенсивности сгорания топлива в топке. Если, эффект ускорения сгорания превышает эффект от поглощения лучистой энергии трёхатомными газами, включая пары  $H_2O$ , то целесообразность использования предлагаемых устройств очевидна.

В противном случае, с наличием воды в котельном топливе, необходимо обеспечивать очистку мазута от воды. Это позволит не только повысить КПД установки, но и уберечь котёл от целого ряда других неприятностей. В частности, при наличии в топливе неразрушаемых водяных "линз" (крупных включений не эмульгированной воды), зачастую происходит внезапный срыв факела и остановка котла, запуск которого в автоматическом режиме невозможен. Этот факт наиболее вероятен при использовании высоковязкого мазута М100. Вследствие высокой плотности и вязкости мазута "линза" становится устойчивой к перемешиванию и диспергированию.

Исходя из выше изложенного, актуальным становится решение проблемы отделения водяной "линзы" от мазута до поступления его в топку котла и последующая утилизация загрязнённой воды. При попадании "линзы" в топливную систему котла факел гаснет. Автоматика не может вновь запустить котел, так как в подводящем трубопроводе содержится значительное количество эмульсии, при которой факел не зажигается. Эту эмульсию предварительно необходимо удалить. Если производить спуск через форсунки, то накопленное топливо в топке может привести к взрыву в котле. Для предотвращения взрыва необходима длительная продувка топки. Но где уверенность, что в трубопроводе осталось чистое топливо? Такая ситуация может повторяться неоднократно.

Рассмотрим возможные пути решения этой задачи и предложим способ технической реализации выбранного решения.

### 3. Способы деэмульгирования обводненных мазутов

Используемые в настоящее время способы и устройства деэмульгирования условно можно разделить на следующие группы:

- механические – отстаивание, фильтрование, центрифугирование,
- термические – подогрев и отстаивание при атмосферном и под избыточным давлением,
- электрические – обработка в электрическом поле.
- химические – обработка эмульсии различными реагентами – деэмульгаторами.

Каждый из методов основан на слиянии и укрупнении капель воды, что способствует ее более интенсивному отстаиванию. Выбор того или другого метода определяется типом нефтяной эмульсии.

Наиболее эффективным считается термический метод деэмульгирования нефтяных эмульсий.

В нашем случае для ликвидации "линзы" целесообразно производить отделение воды от мазута в нагретом до  $140^{\circ}\text{C}$  при избыточном давлении  $P_m = 1,6 \text{ МПа}$  для мазута М100. При эти параметрах кинематическая вязкость мазута составляет  $\nu = 2,5 \text{ Е}$  или  $\nu = 14 \text{ сСтokes}$ , а плотность  $\rho = 0,875 \text{ т/м}^3$

Плотность и вязкость при этой температуре для мазута сравнимы с показателями для дизельного топлива, находящегося при нормальных условиях, когда отделение воды не представляет значительной сложности.

Ниже представлена принципиальная схема разделения воды и мазута, что обеспечит безопасное последующее сжигание смеси в котле.

Представим схему отделения водяной линзы (рис. 1).

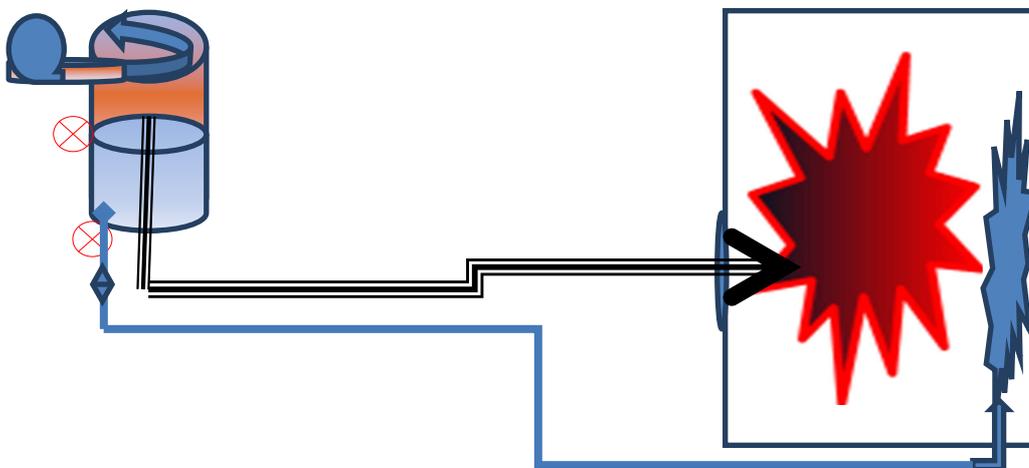


Рисунок 1 – Схема устройства отделения воды

#### **4. Описание процесса отделения воды от мазута**

1. Мазут от подогревателя через сопло поступает в вихревую камеру при давлении  $P_m = 1,6$  мПа и температурой  $t = 140$  град С.

2. Струя мазута, направленная по касательной к стенке камеры обеспечивает стойкое поддержание вихря, угловая скорость вращения которого приводит к центробежному ускорению не менее  $2g$  ( $m/c^2$ ).

3. Высота баллона-разделителя и его емкость определяют расходную составляющую скорости не более  $0,01$  м/с.

4. За счёт центробежных сил происходит инерционное разделение смеси на мазут и воду, так как при данной температуре мазута его плотность не превышает  $\rho_m = 890$  кг/м<sup>3</sup>, а вода имеет плотность  $\rho_v = 998$  кг/м<sup>3</sup>.

5. Вода по стенкам камеры стекает вниз, вытесняя имеющийся там мазут.

6. В камере отделителя установлены 2 датчика, которые сигнализируют о появлении воды на уровнях их установки.

1-й датчик установлен в трубопроводе отвода водотопливной эмульсии.

2-й датчик установлен на  $1/2$  высоты рабочего трубопровода.

Такая установка гарантирует сброс эмульсии и бесперебойную работу форсунок котла.

7. Сигнал от датчиков поступает как на систему сигнализации, так и на систему управления быстрозапорными клапанами с электроприводом, которые обеспечивают выход воды и последующую её утилизацию.

#### **5. Утилизация отделённой воды**

Отделённая вода представляет собой эмульсию с мазутом. Экологические требования не позволяют выбрасывать её даже в виде пара в атмосферу.

Предлагается отделённую эмульсию направлять в котёл по сопутствующему топливопроводу через специальную форсунку, установленную в задней стенке котла. Так как вода при давлении  $1.6$  мПа находится в перегретом состоянии, ее распыл в зоне низкого давления в топке превратит воду в пар, а содержащееся в эмульсии топливо воспламенится и полностью сгорит. Своеобразный факел, состоящий из паров воды и незначительного количества горящего топлива позволит снизить тепловую нагрузку на огнеупорную футеровку котла за счёт поглощения лучистой энергии парами воды. Энергия рабочего факела не будет отнята от экранных поверхностей котла. Работа такой установки позволит гарантировать бесперебойную работу и эффективную работу котла.

## Транспортная связность арктического и субарктического пространства Европейской части России

**Колесников Н. Г.** (г. Петрозаводск, Институт экономики Карельского НЦ РАН, e-mail: nk@karelia.ru)

**Аннотация.** В статье приводится сопоставление понятий "транспортная доступность", "транспортная обеспеченность", "транспортная освоенность" и "транспортная связность" территории. Предложен методический подход к оценке транспортной связности территории. Приведены результаты оценки транспортной связности арктического и субарктического пространства Европейской части России.

**Abstract.** The article reviews the comparison of the terms "transport proximity", "transport availability", "transport developing" and "transport connectivity" of a territory. The authors propose a methodological approach to the evaluation of transport connectivity of a territory. Results of empirical evaluation of transport connectivity for Russian European Arctic and sub-Arctic space are given.

**Ключевые слова:** транспортная доступность, транспортная связность территории, Арктика, субарктика, Россия.

**Key words:** transport proximity, transport connectivity of a territory, Arctic, sub-Arctic, Russia.

Транспортная связность пространства является одной из базовых предпосылок для обеспечения взаимодействия между территориальными центрами – экономического, культурного и других видов взаимодействия. Транспортная связность является источником дополнительной ценности территории, или, иначе говоря, создаёт добавленную стоимость, повышая капитализацию территории, так как способствует экономическому освоению пространства. Особую актуальность вопросы исследования и управления транспортной связностью имеют для территорий с малой плотностью экономической активности, но обладающих значительным потенциалом развития. Арктическое и субарктическое пространство России относится именно к такому разряду территорий, в связи с чем они и стали объектом исследования в рамках настоящей работы.

В современной отечественной научной литературе понятия "транспортная доступность", "транспортная обеспеченность", "транспортная освоенность" и "транспортная связность" территории рассматриваются как сущностно и методологически схожие. Разделяя, в целом, данный подход, предложим уточнение указанных терминов для целей настоящей работы.

Любая территория, даже ограниченная административными и государственными границами, существует не изолированно от внешнего мира – нацио-

нальной и глобальной экономики, а осуществляет с ним взаимодействие, в том числе физический обмен потоками вещества. Для осуществления такого взаимодействия необходимы транспортные пути, связывающие данную территорию с внешним миром. Наличие и характеристики различных видов транспортного сообщения территории с *внешним миром* определим как *транспортную доступность* территории.

При определении *транспортной обеспеченности* территории акцент смещается на характеристики транспортной системы *внутри* территории. Базовыми показателями транспортной обеспеченности являются плотность и мощность путей сообщения различных видов, в первую очередь сети автомобильных дорог, в пределах определённой территории. Показатели транспортной обеспеченности являются агрегированными, методика их расчёта не предполагает выявления различий характеристик транспортной системы между отдельными частями исследуемой территории, т. е. территория рассматривается как "пространственный атом", или абсолютно однородное пространство.

Пространственную неоднородность территории позволяет учесть выявление *транспортной освоенности* территории. Согласно С. А. Тархову, транспортная освоенность территории – это "характер вовлеченности территории в человеческую деятельность посредством транспорта и транспортной сети" [2]. В самом упрощённом варианте транспортная освоенность рассчитывается как доля территории, обеспеченная транспортной сетью. Более сложные (и более точные) методы определения транспортной освоенности предполагают расчёт качественных характеристик на основе выявления топологии транспортной сети, что позволяет учесть пространственные различия в транспортной обеспеченности между различными частями территории. Вместе с тем, показатели транспортной освоенности территории не учитывают вес отдельных узлов-населённых пунктов, соединяемых транспортной сетью. Вес населённого пункта определяется экономической значимостью (например, произведённой валовой добавленной стоимостью) либо демографическими показателями (как правило, численностью населения). Кроме того, с помощью определения транспортной освоенности достаточно сложно охарактеризовать наличие в пределах одной территории изолированных ареалов освоения; т. е. возможна ситуация, при которой территория с высокими показателями транспортной освоенности состоит из нескольких ареалов с хорошо развитой транспортной сетью, но не связанных друг с другом транспортными путями сообщения.

Преодолеть указанные недостатки показателя транспортной освоенности территории позволяет *транспортная связность* территории. Транспортную связность территории мы определяем как взаимную транспортную доступность экономических центров, расположенных на данной территории. По мнению автора, показатель транспортной связности территории должен отражать степень оптимальности транспортной сети, при этом критерием оптимальности является время, необходимое для доставки грузов и пассажиров между всеми значимыми экономическими центрами территории.

Затраты времени на преодоление маршрута зависят от физического расстояния между пунктами, технических возможностей прокладки транспортного пути по прямому маршруту (т. е. необходимости отклонения от прямого маршрута с учётом водных преград, особенностей ландшафта и других естественных непреодолимых факторов), от степени оптимальности маршрута фактически существующего пути сообщения (т. е. степени его отклонения от кратчайшего технически возможного пути) и качества фактически существующего пути сообщения (например, типа и состояния дорожного полотна). Очевидно, что в рамках человеческой деятельности невозможно сократить физическое расстояние между городами и практически невозможно обойти технические ограничения на прокладку сухопутного пути сообщения (например, проложить дорогу напрямую сквозь море или горный массив), а, поскольку транспортная сеть есть продукт человеческой деятельности, то степенью оптимальности транспортной сети (и, соответственно, мерой транспортной связности территории) должны являться не абсолютные характеристики существующей транспортной сети, а их соотношение с оптимальными технически возможными характеристиками.

По аналогии с методологией определения транспортной освоенности расчёт транспортной связности также предполагает выявление топологии транспортной сети, но не в полном объёме, а лишь тех транспортных путей, которые соединяют населённые пункты, принимаемые в качестве экономических центров в рамках конкретного исследования. В упрощённом варианте методики расчёта транспортной связности выявляется лишь несколько – наиболее крупных – экономических центров территории, и предполагается, что все они имеют одинаковый вес (или значимость). В расширенном варианте методики в состав исследуемых экономических центров вовлекаются населённые пункты, удовлетворяющие определённому критерию, например, пороговому значению численности населения, и каждому центру присваивается весовой коэффициент в соответствии со значением показателя, опре-

деляющим значимость данного центра. Показателем, наиболее доступным в официальной статистике и адекватно отражающим значимость населённого пункта, является численность населения.

Взаимную транспортную доступность городов, необходимую для расчёта транспортной связности, возможно определять по различным методам, представленным в трудах российских и зарубежных учёных. Наиболее полный и систематизированный обзор методов оценки транспортной доступности представлен в исследовании В. О. Дубовика [1]. Для целей настоящего исследования применимы методы оценки пространственного разграничения [3, 6] и методы потенциалов [4, 5, 6, 7, 8].

Определим транспортную связность арктического и субарктического пространства Европейской части России. Данное пространство в рамках настоящей работы мы трактуем расширительно, включая в него Архангельскую и Мурманскую области, Республику Карелия и Республику Коми. Определим экономические центры данной территории. В качестве таковых примем города (и городские агломерации) с населением не менее 100 тыс. чел.: Архангельск (агломерация включает Северодвинск), Мурманск, Петрозаводск, Сыктывкар. Виды транспортного сообщения, которые мы включим в орбиту анализа: автомобильное и железнодорожное (авиационное сообщение возможно между всеми указанными городами). Для каждого вида транспортного сообщения выявим фактическое расстояние между экономическими центрами по существующей транспортной сети и минимально возможное расстояние по прямой линии с учётом водных преград. Транспортную связность пар экономических центров определим как соотношение между минимально возможным и фактическим расстоянием. Значение данного соотношения теоретически может принимать значения от 0 до 1; чем значение ближе к единице, тем более связанной является исследуемая пара экономических центров.

Результаты расчётов представлены в таблицах 1–5.

Таблица 1 – Минимально возможное расстояние по суше, км\*

	Архангельск	Мурманск	Петрозаводск	Сыктывкар
Архангельск		890	490	610
Мурманск	890		830	1 420
Петрозаводск	490	830		950
Сыктывкар	610	1 420	950	

\* Источник данных: сервис Яндекс.Карты [URL: <http://maps.yandex.ru>]

Таблица 2 – Фактическое расстояние по автодорогам, км\*

	Архангельск	Мурманск	Петрозаводск	Сыктывкар
Архангельск		1 640	978	862
Мурманск	1 640		923	2 136
Петрозаводск	978	923		1 411
Сыктывкар	862	2 136	1 411	

\* Источник данных: АвтоТрансИнфо [URL: <http://ati.su>]

Таблица 3 – Транспортная связность по автодорогам\*

	Архангельск	Мурманск	Петрозаводск	Сыктывкар
Архангельск		0,54	0,50	0,71
Мурманск	0,54		0,90	0,66
Петрозаводск	0,50	0,90		0,67
Сыктывкар	0,71	0,66	0,67	

\* Рассчитано автором

Интегральный показатель транспортной связности территории определим как среднее значение показателей транспортной связности пар экономических центров. Кроме того, мы можем оценить транспортную связность территории отдельно по каждому виду транспортного сообщения.

Таблица 4 – Фактическое расстояние по железной дороге, км

	Архангельск	Мурманск	Петрозаводск	Сыктывкар
Архангельск		1 137	854	1 114
Мурманск	1 137		1 027	1 993
Петрозаводск	854	1 027		1 655
Сыктывкар	1 114	1 993	1 655	

\* Источник данных: GLogistic [URL: <http://glogist.ru/site/calculateDist>]

Таблица 5 – Транспортная связность по железным дорогам

	Архангельск	Мурманск	Петрозаводск	Сыктывкар
Архангельск		0,78	0,57	0,55
Мурманск	0,78		0,81	0,71
Петрозаводск	0,57	0,81		0,57
Сыктывкар	0,55	0,71	0,57	

\* Рассчитано автором

Интегральный показатель транспортной связности арктического и субарктического пространства Европейской части России составит: по автомобильным дорогам – 0,663; по железным дорогам – 0,665; по всем сухопутным видам транспортного сообщения – 0,664. Это означает, что имеющиеся маршруты между экономическими центрами в рамках существующей транспортной сети примерно на 34 % длиннее оптимальных технически возможных.

Выявленные значения транспортной связности пар экономических центров (табл. 3 и 5) позволяют определить наиболее "проблемные" участки транспортной сети, оптимизация которых позволит получить наиболее существенный эффект для повышения транспортной связности территории, в целом, и обосновать соответствующие управленческие решения. В рамках исследуемой территории к таким участкам относятся: автомобильные дороги на маршруте Архангельск-Мурманск, Архангельск-Петрозаводск, железные дороги на маршруте Архангельск-Петрозаводск, Архангельск-Сыктывкар, Петрозаводск-Сыктывкар.

Дальнейшие исследования могут быть связаны с теоретическим уточнением и методологическим обоснованием понятия транспортной связности территории. Также перспективными представляются эмпирические исследования с целью сравнительного анализа транспортной связности различных территорий.

### **Библиографический список**

1. Дубовик, В. О. Оценка транспортной доступности городов на примере стран Южной Америки : дис. ... канд. геогр. наук / В. О. Дубовик. – М., 2014. – 294 с.
2. Тархов, С. А. Транспортная освоенность территории // Социально-экономическая география: понятия и термины. Словарь-справочник. Отв. ред. А. П. Горкин / Под ред. А. П. Горкин, Е. Е. Демидова (Чиркова). – Ойкумена Смоленск, 2013. – С. 269–270.
3. Allen, W. B., Liu D., Singer S. Accessibility measures of U.S. Metropolitan Areas // *Transportation Research, Part B*. 1993. Vol. 27B, No. 6. P. 439–449.
4. Handy, S. L. Regional versus Local Accessibility: Implications for Non-Work Travel // *Transportation Research Board*. 1993. No. 1400. P. 58–66.
5. Hansen W. G. How accessibility shapes land-use // *Journal of American Institute of Planners*. 1959. Vol. 25, no. 2. P. 73–76.
6. Ingram D. R. The concept of accessibility: a search for an operational form // *Regional Studies*. 1971. Vol. 5, No.2. P. 101–107.
7. Keeble, D., Owens P. L., Thompson C. Regional Accessibility and Economic Potential in the European Community // *Regional Studies*. 1982. Vol. 16 (6). P. 419–432.
8. Sales Filho L. H. Indicadores de acessibilidade: alguns aprimoramentos analíticos e seu uso na avaliação de redes estruturais de transporte urbano // *Congresso de pesquisa e ensino em transportes, XI. Anais. Rio de Janeiro*. 1995. Vol. 2. P. 985–996.

## Исследование инфильтрационной нагрузки в многоэтажном жилом доме серии 93М

**Куренков В. В.** (г. Мурманск, ФГБОУ ВПО "Мурманский государственный технический университет", кафедра энергетики и транспорта)

**Аннотация.** Система вентиляции – очень важный элемент здания. Она существенно влияет как на энергопотребление здания, так и на здоровье людей. В жилых зданиях массовой застройки традиционно выполнялась естественная вытяжная вентиляция. До оборудования наших зданий типовых серий герметичными окнами, изготовленными по европейской технологии, существовала проблема в избыточности воздухообмена в помещениях квартиры из-за большой воздухопроницаемости деревянных оконных проемов и, соответственно, в перерасходе тепла на отопление. Сейчас очень многие жители ставят стеклопакеты, которые очень герметичны и не пропускают воздух. А без притока нет и вытяжки. Таким образом, в квартирах вентиляция по сути, перестает работать, что приводит к заметному ухудшению самочувствия людей. С другой стороны, с уменьшением нормируемого притока воздуха должна снизиться инфильтрационная нагрузка на здание, но так ли это?

**Abstract.** Ventilation is a very important element of the building. It significantly affects both the energy consumption of the building and on people's health. In residential buildings of mass building traditionally performed natural ventilation. To the equipment of our buildings of typical series sealed Windows, manufactured according to European technology, there was a problem in the hut-precision air exchange in the premises of the apartments due to the great breathability of wooden window apertures and, accordingly, the heat waste for heating. Now many residents put glass, which is very tight and does not leak air. And no there is no inflow and exhaust. Thus, in the apartments of ventilation actually ceases to work, resulting in a noticeable deterioration of health of people. On the other hand, with the decrease in the normalized air flow should be reduced infiltration load on the building, but is it?

**Ключевые слова:** естественная вентиляция, инфильтрационные потери в многоквартирных жилых домах.

**Key words:** natural ventilation, infiltration losses in apartment buildings

В качестве объекта обследования было выбрано жилое многоквартирное здание, расположенное по адресу: г. Мурманск, ул. Старостина, д. 57. Здание построено по проекту 93М в 1987 г. В здании 9 этажей, также имеется подвал, цокольный и технический этаж. Согласно паспорту здания, средняя площадь квартиры составляет  $29,5 \text{ м}^2$ , средняя высота помещений –  $2,80 \text{ м}$ , объем здания –  $16\,989 \text{ м}^3$ , жилая площадь –  $2126,3 \text{ м}^2$ , общая полезная площадь дома  $3954,8 \text{ м}^2$ , полезная площадь жилых помещений  $3891,9 \text{ м}^2$ .

Наружные стены – крупнопанельные сборной конструкции. Панели состоят из трех слоев. Общая толщина панелей 300 мм, с внутренним слоем толщиной 100 мм, наружным слоем 50мм, и утеплителем толщиной 150 мм.



Рисунок 1 – Жилое многоквартирное здание, расположенное по адресу:  
г. Мурманск, ул. Старостина, д. 57.

Окна и балконные двери в деревянных переплетах с тройным остеклением, больше половины которых заменены на герметичные стеклопакеты самими жильцами.

Для определения реального расхода тепловой энергии на нагрев воздуха, поступающего в здание через ограждающие поверхности здания были произведены измерения скорости воздушного потока удаляемого воздуха при его движении через отверстие вытяжной шахты технического этажа в период с 6 по 22 марта 2015 г.

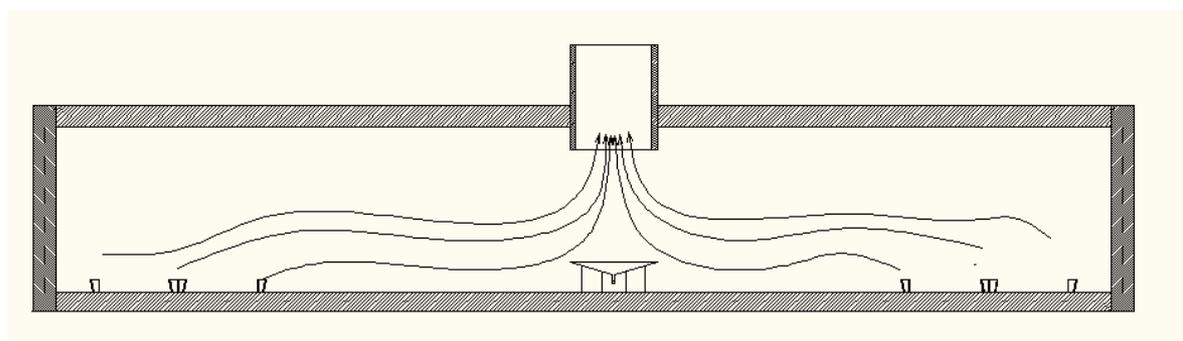


Рисунок 2 – Схематическое изображение направления движения воздушных потоков на техническом этаже

Технический этаж представляет собой помещение, расположенное между покрытием и перекрытием последнего жилого этажа рассматриваемого здания. На техническом этаже располагаются оголовки магистральных воздухо-

проводов, по которым удаляемый воздух попадает из жилых помещений в окружающую среду через пространство технического этажа и вытяжную шахту.

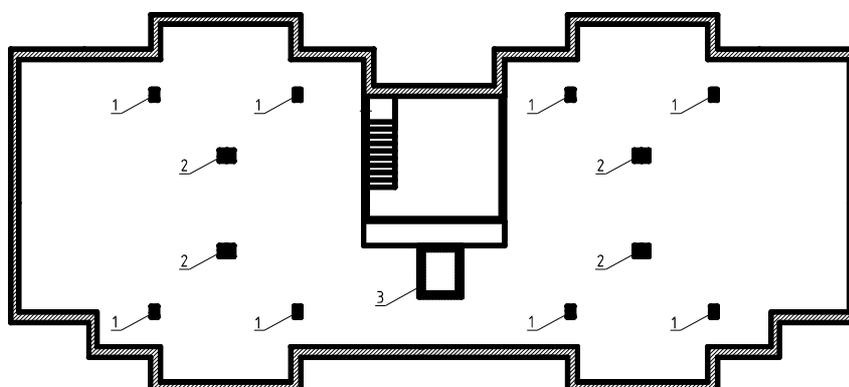


Рисунок 3 – План технического этажа с указанием расположения магистральных воздуховодов и вытяжной шахты: 1 – магистральные воздуховоды вентиляции кухонь; 2 – магистральные воздуховоды вентиляции ваннных комнат и туалетов; 3 – вытяжная шахта

Для определения степени влияния различных внешних факторов на расход вентиляционного воздуха измерения производились в различное время суток, при различных погодных условиях и в различные дни недели.

Экспериментальное исследование было построено на измерении скорости воздушного потока в геометрическом центре каждого из равных по площади участков поперечного сечения вытяжной шахты, которая представляет собой вертикальный прямоугольный воздуховод.

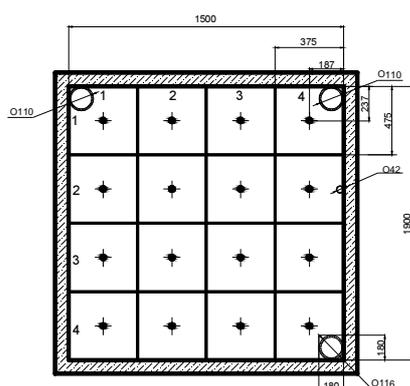


Рисунок 4 – Схема разбиения поперечного сечения вытяжного канала на участки с указанием точек, в которых производилось определение скорости воздушного потока

В ходе исследования были экспериментально определены следующие величины:

- скорость воздушного потока, м/с;

- температура воздуха на техническом этаже, °С;
- скорость ветра с внешней стороны наружных ограждений, м/с;
- температура наружного воздуха, °С.

Таблица 1 – Сводная таблица результатов измерений

№ п/п	Дата	Время	День недели	Температура наружного воздуха, °С	Скорость ветра, м/с, направление	Температура воздуха на техническом этаже, °С	Средняя скорость потока вентиляционного воздуха, м/с
1	06.03.15	18:35	пт	-1	2	21	0,99
2	07.03.15	18:50	сб	2	5,83	24	1,03
3	09.03.15	10:45	пн	1	5,73	22,4	1,11
4	09.03.15	21:10	пн	3	5,27	23,8	1,14
5	10.03.15	23:10	вт	-4	3,1	21,6	0,93
6	20.03.15	13:40	пт	-4	9	22	1,68
7	20.03.15	20:30	пт	-9	4	21,7	1,33
8	21.03.15	12:05	сб	-7	4,72	21,7	1,33
9	21.03.15	20:55	сб	-1	5,56	20,7	1,2
10	22.03.15	14:35	вс	-5	6	23,4	1,01
11	22.03.15	21:54	вс	-7	9	24,1	1,07

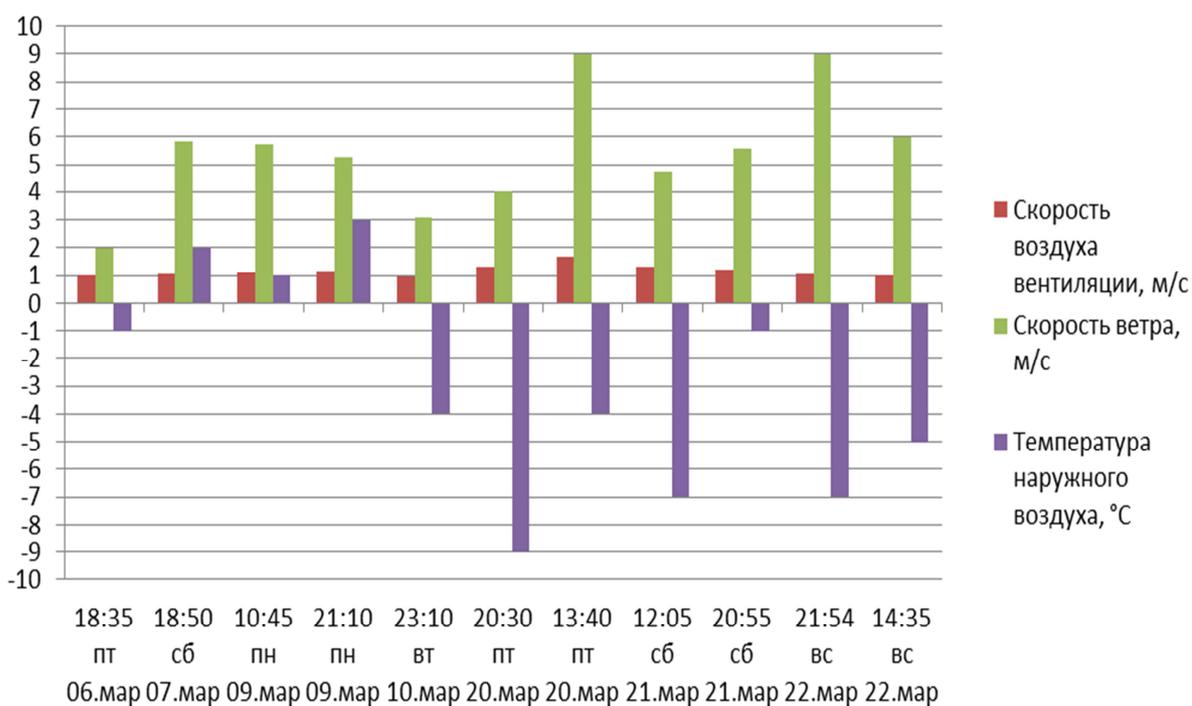


Рисунок 5 – Графики измерений скорости вентиляционного воздуха, скорости ветра и температуры наружного воздуха

По полученным значениям скорости воздушного потока вентиляции был определен объемный расход воздуха через вентиляционную шахту по формуле 1

$$L = v_{cp} \cdot S = 1,17 \cdot 2,86 = 3,35 \text{ м}^3/\text{с}, \quad (1)$$

где  $V_{cp}$  – среднее по всем измерениям значение скорости воздушного потока, м/с;

$S$  – площадь проходного сечения вентиляционной шахты, м<sup>2</sup>.

Приблизительная мощность тепловых потерь с уходящим воздухом была определена по формуле 2:

$$P = \frac{M \cdot p}{R \cdot (273 + t_{вент})} \cdot c \cdot L \cdot (t_{вент} - t_{н.в.}), \quad (2)$$

где  $M$  – молярная масса воздуха;

$R$  – универсальная газовая постоянная;

$t_{вент}$  – средняя по всем измерениям температура вентиляционного воздуха;

$t_{н.в.}$  – среднее арифметическое значение температуры наружного воздуха;

$p$  – атмосферное давление;  $c$  – удельная теплоемкость воздуха при температуре, равной средней по всем измерениям температура вентиляционного воздуха;

$L$  – объемный расход воздуха через вытяжную шахту.

$$P = \frac{0,0289 \cdot 0,101 \cdot 10^6}{8,31 \cdot (273 + 22,4)} \cdot 1,005 \cdot 10^3 \cdot 3,35 \cdot (22,4 - (-2,9)) = 101,212 \text{ кВт}$$

СП 54.13330.2011 Здания жилые многоквартирные. Актуализированная редакция СНиП 31-01-2003 рекомендует следующую схему воздухообмена квартир: наружный воздух поступает через открытые форточки жилых комнат и удаляется через вытяжные решетки, установленные в кухнях, ванных комнатах и туалетах. Воздухообмен квартиры должен быть не менее одной из двух величин: суммарной нормы вытяжки из туалетов, ванных комнат и кухни, которая в зависимости от типа кухонной плиты составляет 110–140 м<sup>3</sup>/ч, или нормы притока, равной 3 м<sup>3</sup>/ч на каждый м<sup>2</sup> жилой площади. В типовых квартирах, как правило, первый вариант нормы оказывается решающим, в индивидуальном – второй. Так как этот вариант нормы для больших квартир приводит к неоправданно завышенным расходам вентиляционного воздуха,

во многих региональных нормах предусматривается воздухообмен жилых комнат с расходом  $30 \text{ м}^3/\text{ч}$  на одного человека.

По результатам замеров получен фактический воздухообмен:

- одной квартиры составляет  $158 \text{ м}^3/\text{ч}$  (в доме всего 76 квартир);
- на одного человека  $76 \text{ м}^3/\text{ч}$  (фактически проживает 159 человек) и  $55 \text{ м}^3/\text{ч}$  (с учетом норматива предоставления жилья в Мурманской области на одного человека –  $18 \text{ м}^2$ , максимальное количество жильцов – 219 человек).

Эти значения намного превышают нормативные показатели.

Годовые потери тепловой энергии на нагрев воздуха, удаляемого через систему вытяжной вентиляции, были определены по формуле 3:

$$Q'_v = P \cdot n \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 10^{-3}, \quad (3)$$

где  $n = 275$  – число суток отопительного периода.

$$Q'_v = 101,212 \cdot 275 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 10^{-3} = 2404797 \text{ МДж} / \text{год} = 573,9 \text{ Гкал} / \text{год}.$$

Полученное значение расхода теплоты на вентиляцию существенно превышает расчетное значение:

$$\delta_v = \frac{Q'_v - Q_v}{Q_v} \cdot 100\% = \frac{573,9 - 292,8}{292,8} \cdot 100\% = 96\%, \quad (4)$$

где  $Q_v$  – расчетный расход теплоты на вентиляцию

Долю годового расхода тепловой энергии на нагрев вентиляционного воздуха от годового расхода теплоты на отопление (по показаниям счетчиков, установленных в тепловом пункте здания) определены по формуле 5:

$$q_v = \frac{Q'_v}{Q'_{ов+гвс} - Q'_{гвс}} \cdot 100\% = \frac{573,9}{1216,29 - 277,979} = 61,16\%, \quad (5)$$

где  $Q'_{ов+гвс}$  – фактический расход теплоты на отопление и ГВС;

где  $Q'_{гвс}$  – фактический расход теплоты на ГВС.

Разница между экспериментально определенным и расчётным значениями потребления тепловой энергии на нагрев вентиляционного воздуха составляет:

$$Q'_v - Q_v = 573,9 - 292,8 = 281,1 \text{ Гкал} = 1177 \text{ 809 МДж}. \quad (6)$$

Заключение:

- четкой зависимости между скоростью воздушного потока через вытяжную шахту и другими исследуемыми параметрами (день недели, время

суток, климатические условия) получено не было, однако большие значения скорости воздуха были получены при большей скорости ветра и более низких значениях температуры наружного воздуха;

– фактический воздухообмен в квартирах значительно превышает нормативные значения;

– фактическое значение расхода теплоты на вентиляцию, полученное в результате замеров превышает расчетное значение на 96 %;

– количество тепловой энергии, удаляемой вместе с уходящим воздухом за год, составляет 61,16 % от годового расхода теплоты на отопление и вентиляцию здания;

– преобладание фактического расхода теплоты на вентиляцию над расчетным скорее всего связано с увеличением инфильтрационных потерь.

Скорее всего это связано с тем, что после установки герметичных стеклопакетов нарушился воздухообмен в квартирах и вместо кратковременного проветривания, жители очень часто держат окна постоянно приоткрытыми, что подтверждает визуальный осмотр фасадов здания. Применение же воздушных клапанов в окнах не нашло широкого применения на практике, особенно в условиях крайнего севера.

### **Библиографический список**

1. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий.
2. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. – Взамен ГОСТ 30494-96; введ. 2013–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 2013. – 16 с.
3. СНиП 41-01-2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование. Мин-регион России, 2010.
4. СП 54.13330.2011 Здания жилые многоквартирные. Актуализированная редакция СНиП 31-01-2003.

## Повышение эффективности использования эксплуатируемого теплогенерирующего оборудования

**Малышев В. С., Пантлеев С. П.** (г. Мурманск ФГБОУ ВПО "Мурманский государственный технический университет", кафедра энергетики и транспорта, [malyshevvs@mstu.edu.ru](mailto:malyshevvs@mstu.edu.ru)),

**Аннотация.** В работе проанализированы существующие проблемы в региональной теплоэнергетике, связанные с использованием тяжелых топлив (мазатов) и предложены пути их решения, обеспечивающие снижение расхода топлива и значительное улучшение экологических характеристик существующего теплогенерирующего оборудования.

**Abstract.** This paper analyzes the existing problems in the regional power system, caused by the use heavy fuels (fuel oil) and ways to solve them, providing reduced fuel consumption and a significant improvement in the environmental performance of existing heat generating equipment.

Мурманская область относится к так называемым мазутозависимым регионам России. При этом имеется в виду, что экономическое положение теплоснабжающих организаций региона априори неудовлетворительно в силу высокой стоимости топлива. К сожалению, высокая стоимость топлива это не единственная проблема. Работа котлов на тяжелых топливах сопровождается интенсивным коксованием их поверхностей нагрева, а также коррозионным разрушением так называемых "хвостовых поверхностей нагрева" вследствие низкотемпературной газовой коррозии, вызванной воздействием на них образующейся в отработавших газах серной кислоты. Это требует повышения температуры уходящих газов для сохранения хвостовых поверхностей нагрева до температуры в 200 °С, что составляет при коэффициенте избытка воздуха  $\alpha = 1,3$  около  $q_2 = 9\%$ . Плохое качество мазута требует применения для его распыливания паромеханических форсунок. Расход пара у которых составляет 0,5–0,8 кг на 1 кг топлива, а это примерно 4 % дополнительного расхода топлива. Плохое качество горения мазутов приводит к быстрому загрязнению отложениями поверхностей нагрева, что ведёт уменьшению коэффициента теплопередачи от продуктов сгорания к пару и в конечном итоге повышению температуры уходящих газов и связанных с ними потерь тепла. Увеличение потери с уходящими газами отложений в 1мм (2 мм) составит:

$$q_2 = 100\Delta J / Q_H^P = 100 \cdot 757 / 40\ 900 = 1,85\ \% (3,4\ \%).$$

В итоге имеем общие потери порядка 15 %, которые можно значительно уменьшить, если использовать ниже рассматриваемые мероприятия.

### **Применение диспергаторов мазута**

Обводнённость современных мазутов достигает 3 %. Отделить воду от мазута практически невозможно, так как у них одинаковая плотность. Вода в хранилищах мазута находится в виде линз и попадает в форсунку почти без мазута, что приводит к гашению факела и нарушению нормальной работы котла.

Применения различных конструкций современных диспергаторов позволяет обводнённые мазуты превращать водо-мазутные эмульсии (ВМЭ, в которых мазут представляет из себя эмульсию разбитых до 10–40 мкм частиц мазута и воды, которые равномерно распределены в объёме и не расслаиваются в течении нескольких месяцев. В результате улучшенного смесеобразования сгорание топлива происходит при очень низких коэффициентах избытка воздуха, что приводит к значительному снижению механического и химического недожёга (о чём подробно будет рассмотрено ниже).

### **Применение воды, дополнительно вводимой в диспергаторов мазута**

Для качественного смешивания и диспергирования продувочной воды и мазута необходимо применять диспергаторы мазута. В настоящее время на рынке представлено множество типов и конструкций этих агрегатов. В рекламных проспектах обещают при применении диспергатора для обводнённых мазутов добиться экономии топлива до 7 % за счёт снижения потерь от механического, химического недожёга и уменьшения отложений на теплопередающих поверхностях снижения потери с уходящими продуктами сгорания.

Известно, что при распылении в топке капли мазута прогреваются, легкие фракции испаряются и сгорают, а высокомолекулярные соединения (в виде карбонатов, асфальтенов и смол), составляющие коксовый остаток, выгорают значительно дольше. Даже использование горелок фирмы "Saacke" (Бремен, Германия) с ротационной форсункой не позволяет полностью избавиться от содержания в продуктах сгорания мелкодисперсных сажистых частиц [2]. Экспериментально доказано, что эмульгирование небольшого количества воды в мазуте способствует снижению содержания сажи, а также газообразных продуктов неполного сгорания. Исследования проводились на котле паро-

производительностью 6 т/ч (тепловая мощность – 4,2 МВт) с горелочным устройством типа SKVJ 60 (с ротационной форсункой). На рисунке 1 приведена схема такой экспериментальной установки.

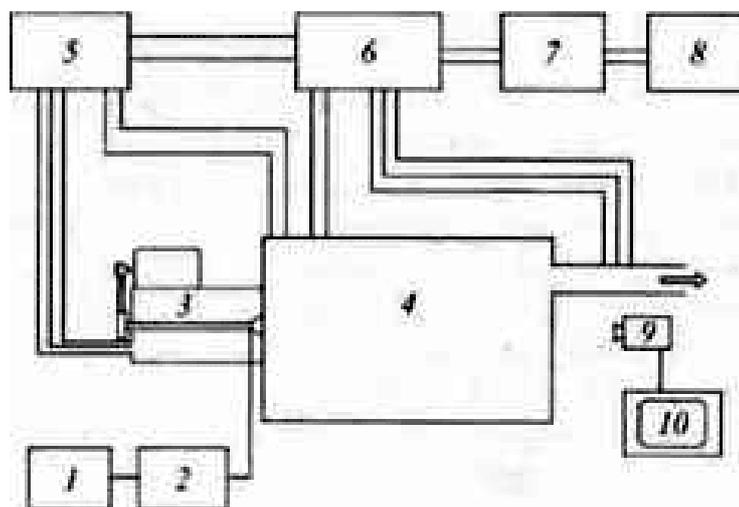


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки с измерительными приборами:

- 1 – подогреватель топлива; 2 – система впрыска воды в мазут;
- 3 – горелочное устройство SKVJ 60; 4 – паровой котел производительностью 6 т/ч;
- 5 – шкаф с устройствами управления; 6 – измерительные приборы;
- 7 – компьютер и система обработки информации; 8 – принтер;
- 9 – видеокамера 10 – телевизор

Подогреватель мазута 7 – двухступенчатый. В первой ступени мазут разогревается паром до температуры 85 °С. Вторая ступень – электрический догрев до температуры, необходимой для эффективного распыления. Система впрыска 2 применялась для подачи воды (давление – около 10 кгс/см<sup>2</sup>) в мазут (давление – 2 кгс/см<sup>2</sup>) и их эффективного смешения.

С помощью специальных приборов измерялся расход воды. Диапазон рабочего регулирования горелки с ротационной форсункой SKVJ 60 (с вентилятором) составлял 0,67–7,36 МВт. Частота вращения распыливающего стакана – 6 500 мин<sup>-1</sup>. Давление первичного воздуха достигало 1 000 кгс/м<sup>2</sup>. Большая частота вращения стакана и высокое давление первичного воздуха обеспечивали эффективное распыление мазута.

Паровой котел 4 – это трехходовой жаротрубный агрегат производительностью 6 т/ч пара давлением 13 кгс/см. Топочный автомат фирмы "Saacke", расположенный в шкафу 5, выполнял функцию автоматического управления горелкой как на этапе пуска, так и в рабочем режиме. Соотношение топливо – воздух измерялось с помощью механического регулятора. Для отбора проб

продуктов сгорания применялся измерительный прибор фирмы "E. Kjneth" (Швейцария).

Важный момент – тут мы видим что смешивание мазута с водой происходило "методом впрыска" но не кавитационного перемешивания, т. е. вода не образовывала мелкодисперсную водо-мазутную эмульсию и по этой причине она была балластом и забирала часть энергии на испарение. Использование кавитационных эмульгаторов с высокотемпературной перегретой продувочной водой снизит потери на испарение воды. Даже при получении эмульсии при помощи впрыска воды в мазут получены очень хорошие результаты.

Исследование влияния присадки воды на коксообразование проводилось при четырех нагрузках котла (0,67, 2,42, 4,23, 5,96 МВт), постоянном содержании  $O_2$  в уходящих газах (3 %) и переменном расходе добавляемой в мазут воды на каждой нагрузке. Кроме того, оценивалось влияние температуры подогрева мазута на процесс образования кокса. Был проведен 21 опыт, результаты которых представлены в виде графиков на рисунках 2–4.

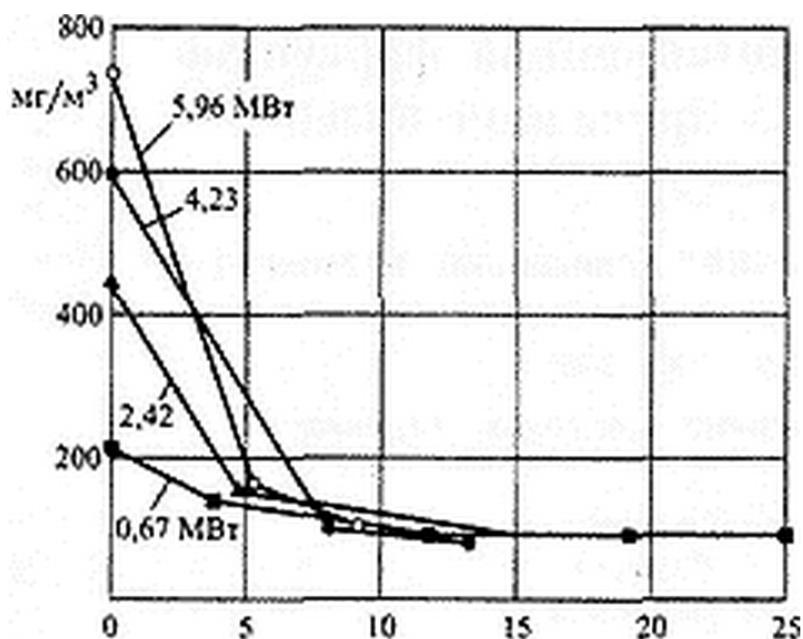


Рисунок 2 – Зависимости концентрации твердых остатков сгорания топлива С от присадки воды к мазуту (%) при нагрузках 0,67–5,96 МВт

Как видно, при всех нагрузках и одинаковой температуре подогрева мазута содержание кокса существенно зависит от количества добавленной воды и снижается примерно до 110 мг/м. При добавлении воды более 8–10 % от расхода мазута количество кокса остается постоянным.

Из рисунков 3 и 4 видно, что с впрыском воды помимо снижения количества твердых остатков уменьшаются концентрации  $\text{CO}$  и  $\text{C}_n\text{H}_m$ , в продуктах сгорания.



Рисунок 3 – Зависимости концентрации оксида углерода  $\text{CO}$  в продуктах сгорания от присадки воды к мазуту при нагрузках 0,67–5,96 МВт.

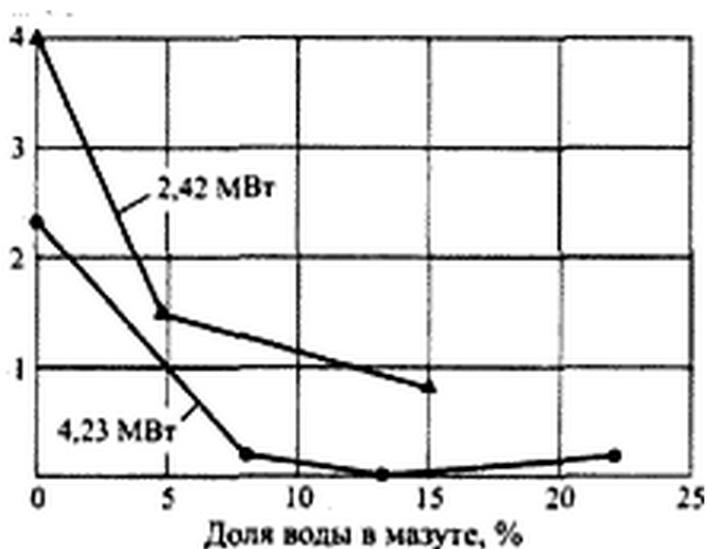


Рисунок 4. Зависимости концентрации углеводородов  $\text{C}_n\text{H}_m$  в продуктах сгорания от присадки воды к мазуту при нагрузках 2,42 и 4,23 МВт

Анализ проб твердого остатка, отобранных без присадки воды и при добавлении воды в мазут, показывает (рисунок 5), что во втором случае общая концентрация твердых частиц снизилась за счет уменьшения содержания кокса, поскольку количество золы и осталось прежним. Это свидетельствует об уменьшении тепловых потерь  $Q_4$  от механической неполноты сгорания

и приросте к. п. д. котла за счет дополнительного сжигания 719 мг кокса на 1 м<sup>3</sup> дымовых газов. Теплота сгорания кокса равна 34 МДж/кг.

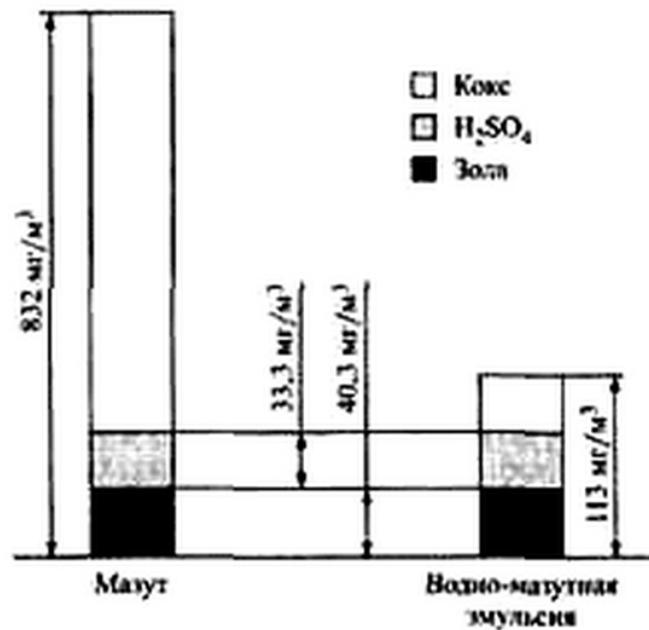


Рисунок 5 – Диаграмма содержания твердых частиц в продуктах сгорания при сжигании мазута и водно-мазутной эмульсии

Прирост к. п. д. котла:

$$\Delta\eta_1 = Q_4/Q_n^P = 303/40\,900 = 0,741 \%,$$

где  $Q_n^P$  – располагаемая теплота, введенная в топку.

Но одновременно из-за испарения добавленной к мазуту воды и нагрева пара до  $t_{xy}$  растут потери теплоты с уходящими газами:

$$Q_2 = (r + c\Delta t)G = [2\,258 + 1,87(200 - 100)] \cdot 0,081 = 198 \text{ кДж/кг},$$

где  $r$  – энтальпия испарения воды, кДж/кг;

$c$  – теплоемкость пара, кДж/(кг · °С);

$\Delta t$  – разность температур, °С ( $t = 200$  °С);

$G$  – количество поданной в мазут воды, кг/кг.

Снижение к. п. д. котла из-за дополнительных потерь с уходящими газами:

$$\Delta\eta_2 = Q_2/Q^P = 198/40\,900 = 0,484 \%.$$

В итоге суммарный к. п. д. котла увеличивается на:

$$\Delta\eta = \Delta\eta_1 - \Delta\eta_2 = 0,257 \%.$$

При проведении опытов исследовалось также влияние температуры подогрева мазута и водно-мазутной эмульсии на концентрацию твердых частиц в дымовых газах. Результаты этих опытов представлены в графическом виде на рисунке 7, из которого видно, что содержание кокса без впрыска воды напрямую зависит от температуры подогрева мазута. При повышении этой температуры с 87 до 120 °С концентрация кокса снижается с 832 до 645 мг/м<sup>3</sup>, поскольку при уменьшении вязкости значительно улучшается качество распыления мазута. Однако для данной форсунки из-за опасности коксования стакана ротационной форсунки возможности повышения температуры подогрева ограничены.

Из рис. 6 также видно, что при добавке воды в мазут концентрация кокса остается практически постоянной в диапазоне температур от 90 до 121 °С.

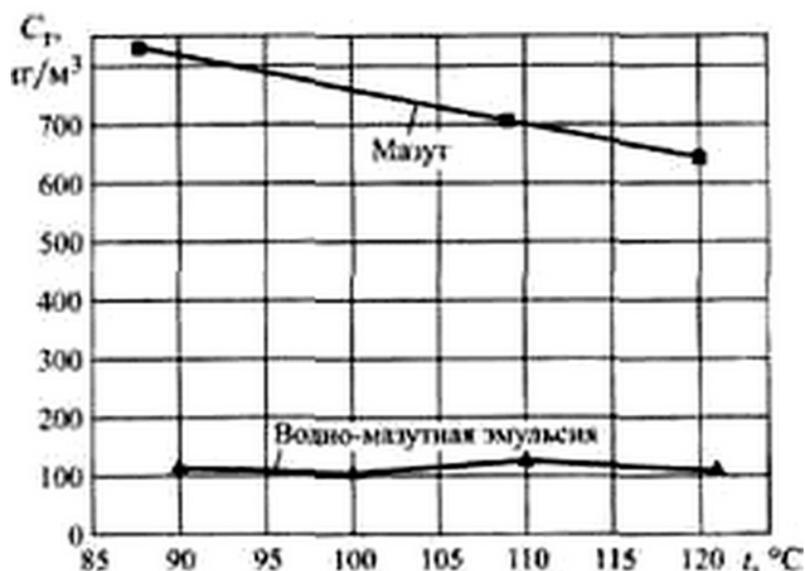


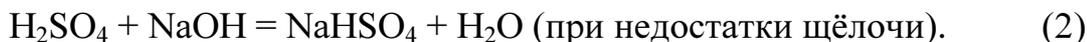
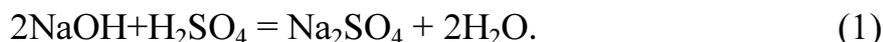
Рисунок 6 – Зависимости концентрации твердых частиц  $C_t$  в дымовых газах от температуры  $t$  подогрева топлива при сжигании мазута и водно-мазутной эмульсии

Выводы фирмы "Saacke" совместно с представителями китайского университета (г. Джимей) по испытаниям совместного сжигания мазута и воды показывают определённые положительные моменты этого процесса, но нет в них данных о зависимости полученных положительных эффектах от качества дисперсии ВМЭ (размера водяных капель) и от температуры ВМЭ.

#### **Применение продувочной воды, дополнительно вводимой в диспергаторов мазута**

В продувочной воде всегда имеется щёлочь NaOH (по расчёту при  $D = 20$ т/ч и продувки 4 % её расход  $[Na\ OH] = 0,48$  кг/ч), которой и осу-

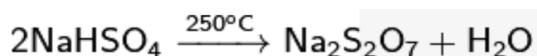
ществляется очистка (связывание серы) дымовых газов от триоксида серы по следующим реакциям:



Сульфат натрия  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  безводный устойчив выше температуры  $32,384^\circ\text{C}$ , ниже этой температуры в присутствии воды образуется кристаллогидрат  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ . В дымовых газах будет в безводном сухом состоянии.

Гидросульфат натрия  $\text{NaHSO}_4$  образует бесцветные кристаллы с температурой плавления  $186^\circ\text{C}$ . В газовом тракте он будет в расплавленном виде.

При нагревании гидросульфат натрия переходит в пиросульфат натрия:



Расход  $\text{HSO}_4$  составит согласно опытным данным  $33,3\text{мг/м}^3$  (рисунок 5):

$$G_{\text{HSO}_4} = 33,3 \text{ В } V_{\text{г}} \cdot 10^{-6} = 33,3 \cdot 0,38 \cdot 12,01 \cdot 10^{-6} = 0,000151\text{кг/с} = 0,544\text{кг/ч}.$$

Согласно формулы (1) для нейтрализации  $G_{\text{SO}_3\text{сут}}$  потребуется следующее количество  $[\text{Na OH}]$ :

$$[\text{Na OH}]' = 112 G_{\text{SO}_3\text{сут}} / 98 = 112 \cdot 0,544 / 98 = 0,62\text{кг/ч}.$$

Продувочной воды для нейтрализации триоксида серы, выделившегося при сгорании мазута с содержанием серы  $S^{\text{P}} = 5\%$ , не хватает, остаётся  $(0,62 - 0,48) = 0,14 \text{ кг,ч.}$

При сернистости топлива  $S^{\text{P}} = 2,5\%$  нейтрализация триоксида серы будет полной.

Согласно формулы (2) для нейтрализации  $G_{\text{SO}_3\text{сут}}$  потребуется следующее количество  $[\text{Na OH}]$ :

$$[\text{Na OH}]' = 56 G_{\text{SO}_3\text{сут}} / 98 = 56 \cdot 0,544 / 98 = 0,31 \text{ кг/сут}.$$

При недостатке щёлочи будет проходить реакция (2) и весь сернистый ангидрид  $\text{SO}_3$  будет нейтрализован.

### **Сравнение распыливания мазута на номинальном режиме в паровой форсунке и ВМЭ в механической форсунке**

Распыливание мазута на номинальном режиме в паровой форсунке при давлении мазута и пара  $1,4 \text{ МПа}$  при температуре обоих компонентов  $190^\circ\text{C}$  будет обеспечиваться расширением вылетающего пара в 14 раз. Эффект рас-

пыливания будет проходить от соударения струй пара и мазута, летящих почти в одном направлении и расширения паровых струй.

Распыливание ВМЭ на номинальном режиме в механической форсунке при давлении ВМЭ 1,4 МПа при температуре 190 °С будет обеспечиваться расширением капель перегретой продувочной воды, покрытых мазутной плёнкой, вылетающего из сопла форсунки. При радиусе капли в  $R_{кв1} = 2$  мкм объём капли будет:

$$V_{кв1} = 4\pi R_{кв1}^3/3 = 4 \cdot \pi \cdot 2^3/3 = 33,5 \text{ мкм}^3.$$

Капля резко в виде взрыва увеличится в диаметре в  $173,7^{1/3} = 5,57$  раз до радиуса:

$$R_{кв2} = 5,57 R_{кв1} = 5,57 \cdot 2 = 11,14 \text{ мкм}.$$

Это приведёт к её резкому многократному дроблению на мелкие водяные капли, покрытые микронным слоем мазута, микронных размеров. Последние начнут нагреваться и испаряться и увеличиваться в объёме в  $v_{2п} / v_{2ж} = 1,673/0,00104 = 1608$  раз. Это приведёт к полному распыливанию мазутной плёнки, которая при температуре испарения начнёт гомогенно гореть.

Распыление ВМЭ в механической форсунке на порядок превосходит распыливание мазута в паровой форсунке.

Мелкие микронные капли, не прогретые до испарения воды, попадая на поверхность труб котла, покрытых нагаром, взрываются от контакта с высокой температурой отложений и разрушают их. Это документально доказано рядом испытаний.

## **ВЫВОДЫ**

Замена паровой мазутной форсунки на механическую форсунку, работающую на ВМЭ, полученной в диспергаторе с добавлением продувочной воды приводит к:

Полной нейтрализации триоксида серы, что позволяет увеличить площадь экономайзера, так точка росы снижается до 60 °С, что уменьшает потери с уходящими газами на 2,5 %;

Экономии топлива, идущего на производство пара для форсунки, что составляет 4 %;

Уменьшает сажеобразование и механический недожог в размере 0,741 %;

Уменьшает сажеобразование и нагар на трубах, это при уменьшении толщины нагара в 1 мм (2 мм) уменьшает потери с уходящими газами соответственно на 1,85 % (3,4 %).

В итоге с явными экологическими преимуществами (отсутствие триоксида серы в продуктах сгорания и уменьшение в них в 18 раз сажи) мы получаем уменьшение тепловых потерь на 8 %.

### **Библиографический список**

1. Тепловой расчёт котлов (нормативный метод). – 3-е изд., перераб. и доп. – СПб. : Изд-во НПОЦКТИ, 1998. – 266 с. : ил.
2. Отчёт фирмы "Saacke" совместно с представителями китайского университета (г. Джимей). <http://www.afuelsystems.com/ru/trga/s12.html>
3. [www.energy-saving-technology.com](http://www.energy-saving-technology.com)
4. Александров В. Г. Паровые котлы средней и малой мощности : монография / Изд. 2-е перераб. и доп. – Л. : Энергия, 1972. – 200 с., илл. – 103, табл. – 74, библиограф. с.
5. СО 34.26.717 Методические указания по испытаниям высокотемпературных поверхностей нагрева котлов для выявления причин коррозионных повреждений. – М. : © СПО Союзтехэнерго, 1989.

## **Определение средней температуры наружных ограждений с помощью распространённых программных продуктов, имеющих функцию цветового интегрирования**

**Чепракова Е. Е., Шорников В. П.** (*г. Мурманск, ФГБОУ ВПО "Мурманский государственный технический университет", кафедра энергетики и транспорта*)

**Аннотация.** В данной статье приведены оригинальные результаты исследований возможности определения средней температуры при помощи графического редактора-Фотошоп. Демонстрируется возможность использования полученных результатов для дальнейших исследований в области изучения тепловых потоков.

**Abstract.** In this article presents the original research results of possibility of definition the average temperature using the graphical editor, Photoshop. Demonstrated ability to use the results for further research in the field of heat fluxes.

**Ключевые слова:** средняя температура, тепловой поток, теплопередача, термография.

**Key words:** Photoshop, average temperature, heat flow, heat transfer, thermography.

Актуальность работы. В исследованиях процессов теплообмена, при строительстве, приемке и эксплуатации зданий и сооружений уделяется значительное внимание вопросу минимизации энергопотребления. Для его решения требуется мониторинг (контроль) теплотехнической картины, неотъемлемой частью которого является измерение температур, определение расчётных температур и тепловых потоков, диалектическое сходство и высокая информативность которых позволяют оценить качественную и количественную сторону теплообменных процессов протекающих внутри и снаружи зданий и сооружений.

Предметом наших исследований является нахождение средней (средне-взвешенной) по поверхности температуры стены здания для последующего определения тепловых потоков через ограждающие конструкции.

Существует несколько подходов к определению тепловых потоков через наружные ограждения здания по температурной информации. Наиболее распространённым является градиентный метод, при котором искомая величина теплового потока находится по распределению температуры в толщине наружных ограждений и на поверхности теплообмена. Градиентный

метод позволяет определять тепловые потоки с помощью измерений локальных значений температуры и тепловой нагрузки по поверхности теплообмена при стационарных и нестационарных режимах.

**Цель работы.** В настоящей работе предлагается реализовать метод относительной яркостной термоколориметрии, для определения средней температуры поверхности наружных ограждений зданий и сооружений. Для чего необходимо разделить термограмму изучаемого объекта на участки, соответствующие различным температурным значениям и при помощи цветового интегрирования, и эмпирических коэффициентов обработки, определить искомую температуру. Наличие же термовидеозаписи проследить динамику температурного поля и средней температуры.

Иными словами имеющееся тепловое изображение оцифровывается с помощью агрегированной цветовой шкалы определения температур, с последующим "усреднением" цвета и нахождением средневзвешенного значения температуры по поверхности объекта.

Для решения данной задачи используются широкораспространенные программные продукты, имеющие функцию – "мозаичезация".

Для достижения поставленной цели необходимо:

- изучить возможности термоколориметрии;
- произвести цветовое интегрирование, связав цветопередачу и распределение температур путем построения линейных зависимостей с применением эмпирических, уравнивающих коэффициентов перевода цвета (RGB, CMYK и т. д);
- разработать опытно-экспериментальную методику регистрации тепловых потоков;
- получить расчетным путем, на основании инфракрасного изображения, значения тепловых потоков. С учетом влияния внешних параметров на интенсивность теплоотдачи.

Технический результат, на достижение которого направлена работа, – программно-расчетная методика определения средней температуры поверхности объекта, в нашем случае наружных ограждений зданий и сооружений.

### **Пример выполнения работы**

Цифровое инфракрасное изображение наружной стены здания, обрабатывается при помощи распространенных графических редакторов (Photoshop,

CorelDraw, AutoCAD). Например, при обработке в "Photoshop", необходимо выполнить следующую последовательность действий:

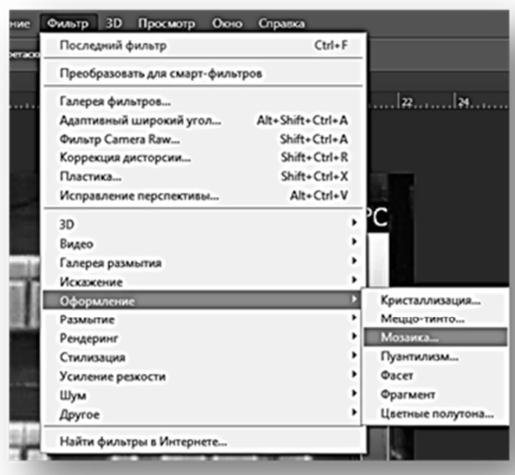
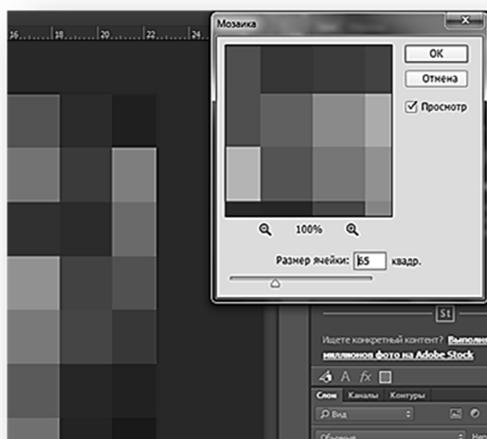


Рисунок 1 – "ФИЛЬТР"-**"ОФОРМЛЕНИЕ"**- Рисунок 2 – **"РАЗМЕР ЯЧЕЙКИ"** (РАЗМЕР КВАДРАТА/ПРЯМОУГОЛЬНИКА РАЗБИЕНИЯ)

Изображение разбивается на одинаковые фигуры (квадраты и прямоугольники) – (Рис. 1). Мозаичезация (сегментация), по возможности, проводится равномерно на  $n$  частей, в зависимости от размера исходной термограммы (Рис. 2). В новом изображении одному пикселю будет соответствовать несколько пикселей (монохромных объектов) исходного. При этом каждый элемент будет определяться наиболее подходящим (программно-интегрированным) цветом без потери изображения в целом. Т. е. используемый метод агрегации позволяет сформировать изображение с ограниченным количеством участков при полной передаче "среднего цвета" на всех частях исходного изображения (Рис. 3, 4).

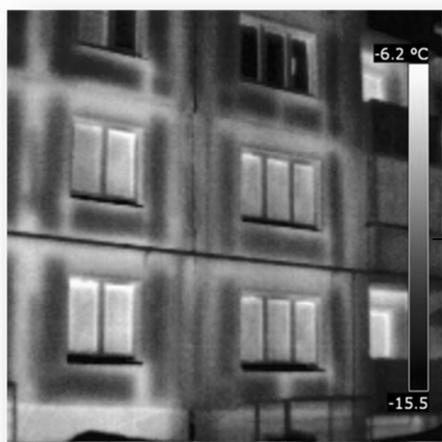


Рисунок – 3

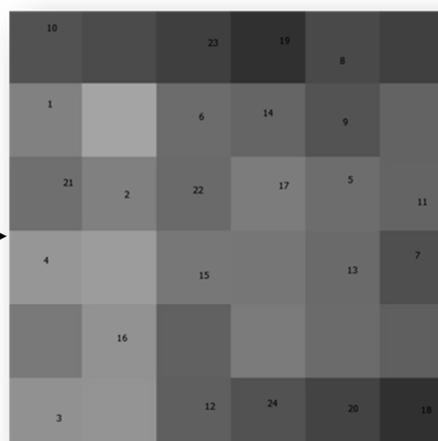
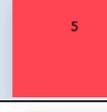


Рисунок – 4

Для дальнейшего получения значения средней температуры ( $\bar{t}$ ), необходимо произвести подсчет квадратов одинаковых цветов при помощи RGB таблицы. В модели RGB каждый базовый цвет характеризуется яркостью (интенсивностью), которая может принимать 256 дискретных значений от 0 до 255. Поэтому можно смешивать цвета в различных пропорциях, варьируя яркость каждой составляющей. Таким образом, можно получить  $256 \times 256 \times 256 = 16\,777\,216$  цветов. Каждому цвету можно сопоставить код, содержащий значения яркости трех базовых составляющих. Используются десятичное и шестнадцатеричное представления кода (в рассмотренном случае десятичное), где первое число соответствует яркости красной (RED) составляющей, второе – зеленой (GREEN), а третье – синей (BLUE). Если все составляющие имеют максимальную яркость (255,255,255 – в десятичном представлении), то получается белый цвет. Минимальная яркость (0,0,0) соответствует черному цвету. Смешение красного, зеленого и синего цветов с различными, но одинаковыми яркостями дает шкалу из 256 оттенков (градаций) серого цвета – от черного до белого. При этом для нашей работы допустимой погрешностью отклонения 2х пограничных кодов цвета будут являться значения  $R(\pm 10)$   $G(\pm 10)$   $B(\pm 10)$ . В некоторых случаях до  $\pm 20$ .

Пример таблицы для изображения на Рис. 3

ПОЗИЦИЯ КОД ЦВЕТА (RGB)	Количество	t, °C на 1 кв.	t, °C (с учетом количества)
 (235;100;54)	4	-10,9	-43,6
 (239;131;44)	3	-10,12	-30,36
 (223;69;83)	2	-11,18	-22,36
 (173;42;128)	4	-12,55	-50,2
 (185;43;115)	3	-12,16	-36,48

Окончание таблицы

ПОЗИЦИЯ КОД ЦВЕТА (RGB)	Количество	t, °C на 1 кв.	t, °C (с учетом количества)
 11 (200;58;100)	2	-11,78	-23,56
 13 (217;68;87)	2	-11,26	-22,52
 18 (123;21;120)	2	-13,19	-26,38
 21 (225;74;79)	2	-10,1	-20,2

Следующим этапом производится сегментация температурной шкалы, опирающаяся на количество квадратов (прямоугольников) равных разбиению исходного изображения. Для наглядности, сопоставление производится в двух вариациях: натуральная шкала-шкала с разбиением. Где значения t, °C приходящееся на 1 квадрат принятого цвета вычисляется по шкале, соответствующей данному изображению с "средним" значением цвета. При этом середины 2х сопоставляемых шкал имеют одинаковые (или безопасные) коды цвета, что позволяет принять среднее значение температуры на выбранном участке. Более детально этот эффект виден на Рис. 5.

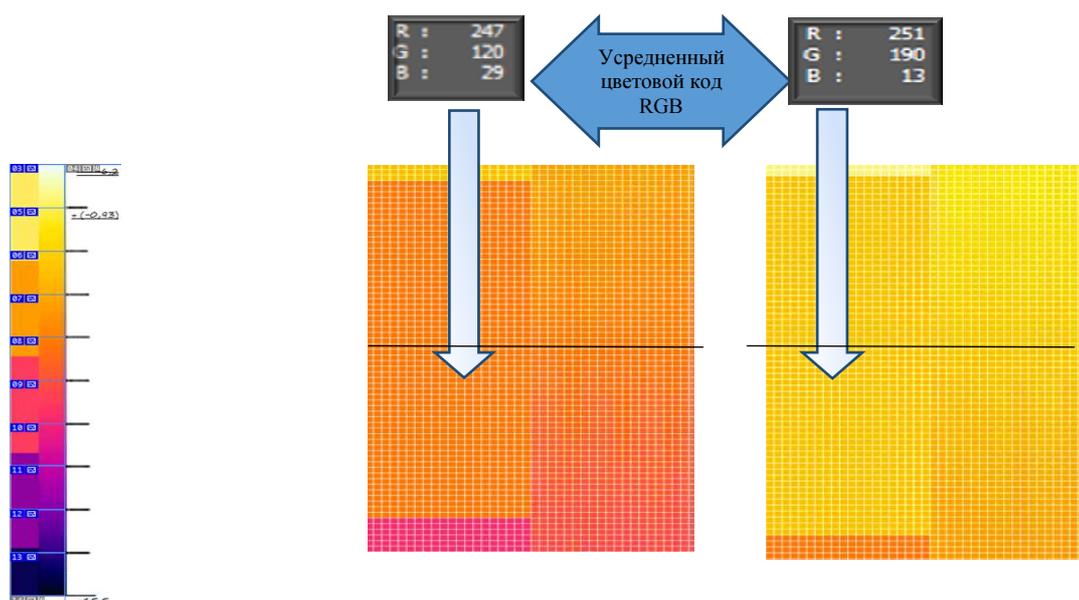


Рисунок 5

Температура  $t$ , °С, приходящаяся на область разбиения, находится путем умножения числа квадратов, имеющих близкое значение цвета (RGB) на значения температуры при соответствующем цвете на шкале с "усредненным" цветовым кодом. После чего находится  $t_{\text{сумм}}$ . (как сумма произведений одноцветных квадратов на их количество).

"Суммарное значение температуры" ( $t_{\text{сумм}}$ ) данных областей, исходя из таблицы:

$$-43,6 + (-30,36) + (-22,36) + (-50,2) + (-36,48) + (-23,56) + (-22,52) + (-26,38) + (-20,2) = -275,66 \text{ °С.}$$

Итоговую среднюю  $\bar{t}$  получаем взвешиванием, путём деления  $t_{\text{сумм}}$  на общее число квадратов (прямоугольников) разбиения (в данном случае (Рис. 4) их количество  $n = 36$ ):

$$\bar{t} = \frac{t_{\text{сумм}}}{n},$$
$$\bar{t} = \frac{t_{\text{сумм}}}{36} = \frac{-275,66}{36} = -7,657. \quad (2)$$

Разбиение	Количество квадратов (прямоугольников)	Количество одинаковых квадратов (прямоугольников)	$\bar{t}$ стены
80*80 пикс.	36	9	-7,657(2)

### Вывод

Использованный в данной работе термоколорометрический метод, реализованный посредством обработки термографического изображения в программном продукте "Photoshop", позволил определить среднюю температуру поверхности наружного ограждения здания.

Применение этого метода позволяет достоверно оценивать среднюю температуру поверхности исследуемого объекта по его тепловизионной съёмке. В дальнейшем планируется использовать результаты применения данной методики для определения тепловых потоков от поверхностей исследуемых объектов. Полученная "мозаичная" картина позволит обоснованно производить локализацию точек двухсторонних замеров температур для градиентного способа определения теплового потока, а также место установки датчиков тепловых потоков.

Средняя температура поверхности в применении к зданиям и сооружениям позволит определять теплопотери наружных ограждений этих объектов с учетом погодно-климатических данных.

К достоинствам применённого инструмента необходимо отнести простоту, дешевизну, доступность, наглядность и оперативность.

### **Библиографический список**

1. Геращенко, О. А. Тепловые и температурные измерения [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.teplota.org.ua/2008-04-26-geraschenko-o-a-teplovye-i-temperaturnye-izmereniya.html> Дата обращения: 18.12.2015.

2. Графический редактор Photoshop [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.adobe.com/ru/products/photoshop.html> Дата обращения: 18.12.2015.

*Научное издание*

**НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ**  
МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
(Мурманск, 4–8 апреля 2016 г.)  
Часть 2

Ответственный за выпуск *М. А. Волков*  
Компьютерная верстка *Г.М. Плишко*

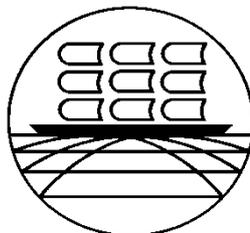
Налоговая льгота – Издания соответствуют коду 58.11.1 ОКПД 2 ОК 034-2014  
(КПЕС 2008)

---

Издательство МГТУ. 183010, Мурманск, Спортивная, 13.  
Сдано в набор 25.10.2016. Подписано в печать 25.11.2016. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бум. типографская. Усл. печ. л. 10,93. Уч.-изд. л. 8,5. Заказ 311. Тираж 100 экз.



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
"МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"  
ФАКУЛЬТЕТ АРКТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ**



**НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ  
В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ**

МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Мурманск, 4–8 апреля 2016 г.)

Часть 2

Мурманск  
Издательство МГТУ  
2016

