

# СТРОИТЕЛЬСТВО И РЕКОНСТРУКЦИЯ

ISSN 2073-7416

BUILDING AND RECONSTRUCTION

№5 (67) 2016

сентябрь-октябрь

III МЕЖДУНАРОДНАЯ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ

“БЕЗОПАСНОСТЬ СРЕДЫ  
ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ”



СИМФЕРОПОЛЬ, СУДАК,  
26-30 СЕНТЯБРЯ 2016 г.

Теория инженерных сооружений.  
Строительные конструкции

The theory of engineering  
constructions. Construction  
design

Безопасность зданий  
и сооружений

Building and structure  
safety

Архитектура  
и градостроительство

Architecture  
and urban development

Строительные материалы  
и технологии

Building materials  
and technology

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ  
SCIENTIFIC-TECHNICAL JOURNAL

*Редакционный совет:*

**Голенков В.А.** д.т.н., проф., председатель  
**Радченко С.Ю.** д.т.н., проф.,  
зам. председателя  
**Борзенков М.И.** к.т.н., доц., секретарь  
**Астафичев П.А.** д.ю.н., проф.  
**Иванова Т.Н.** д.т.н., проф.  
**Киричек А.В.** д.т.н., проф.  
**Колчунов В.И.** д.т.н., проф.  
**Константинов И.С.** д.т.н., проф.  
**Новиков А.Н.** д.т.н., проф.  
**Попова Л.В.** д.э.н., проф.  
**Степанов Ю.С.** д.т.н., проф.

*Главный редактор:*

**Колчунов В.И.** акад. РААСН, д.т.н., проф.

*Заместители главного редактора:*

**Данилевич Д.В.** к.т.н., доц.  
**Колесникова Т.Н.** д. арх., проф.  
**Коробко В.И.** д.т.н., проф.

*Редакция:*

**Бок Т.** д.т.н., проф. (Германия)  
**Бондаренко В.М.** акад. РААСН, д.т.н., проф.  
**Гордон В.А.** д.т.н., проф.  
**Емельянов С.Г.** советник РААСН, д.т.н., проф.  
**Карпенко Н.И.** акад. РААСН, д.т.н., проф.  
**Клюева Н.В.** советник РААСН, д.т.н., проф.  
**Коробко А.В.** д.т.н., проф.  
**Король Е.А.** чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф.  
**Римшин В.И.** чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф.  
**Сергейчук О.В.** д.т.н., проф. (Украина)  
**Серпик И.Н.** д.т.н., проф.  
**Тамразян А.Г.** д.т.н., проф.  
**Тур В.В.** д.т.н., проф. (Белоруссия)  
**Турков А.В.** д.т.н., проф.  
**Федоров В.С.** акад. РААСН, д.т.н., проф.  
**Чернышов Е.М.** акад. РААСН, д.т.н., проф.  
**Шах Р.** д.т.н., проф. (Германия)

*Ответственный за выпуск:*

**Савин С.Ю.** к.т.н.

*Адрес редакции:*

302006, Россия, г. Орел,  
ул. Московская, 77  
Тел.: +7 (4862) 73-43-49  
[www.gu-unpk.ru](http://www.gu-unpk.ru)  
E-mail: [str\\_and\\_rek@mail.ru](mailto:str_and_rek@mail.ru)

Зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.  
Свидетельство:  
ПИ № ФС77-47354 от 03 ноября 2011 г.

Подписной индекс **86294** по объединенному каталогу «Пресса России»

© ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2016

## Содержание

### Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

- Гбагуйди Ауссе Г., Ако Сар М., Сохоунло Д., Микозоунно Р., Фуджет А.Е.** Механические характеристики зоны стыка арматурных каркасов из древесины пальмы в бетоне ..... 3
- Калафатов Д.А.** Результаты экспериментальных исследований моделей двухслойных железобетонных плитных фундаментов каркасных зданий на грунтовой основе ..... 16
- Малинин В.Г., Муссауи Ю.Ю., Луферова А.В.** Построение расчетной модели пробного применения материалов с эффектом памяти формы (ЭПФ) в строительных конструкциях при двухзвенных траекториях их деформирования ..... 23
- Травуш В.И., Конин Д.В., Рожкова Л.С., Крылов А.С.** Отечественный и зарубежный опыт исследований работы сталежелезобетонных конструкций на внецентренное сжатие ..... 31
- Турков А.В., Карпова Е.В., Абашина Н.С.** Прогнбы и частоты собственных колебаний составных ромбических изотропных пластин, шарнирно опертых по контуру при изменении жесткости связей сдвига ..... 45

### Безопасность зданий и сооружений

- Бакаева Н.В., Калайдо А.В.** Механизмы поступления радона в здания и сооружения ..... 51
- Клюева Н.В., Кореньков П.А.** Статико-динамическое деформирование монолитных железобетонных каркасов зданий в предельных и запредельных состояниях ..... 60
- Тур В.В., Надольский В.В.** Калибровка значений частных коэффициентов для проверки предельных состояний несущей способности стальных конструкций для условий республики Беларусь. часть 2 ..... 71
- Федосов С.В., Румянцева В.Е., Хрунов В.А.** Повышение экологической и промышленной безопасности опасных производственных объектов ..... 78

### Архитектура и градостроительство

- Дворецкий А.Т., Клевец К.Н.** Избыток тепловой энергии в системах пассивного солнечного нагрева зданий ..... 86
- Михайлова Е.А.** Архитектурно-планировочные особенности проектирования в условиях затопляемых территорий в городах нидерландов ..... 94

### Строительные материалы и технологии

- Федюк Р.С.** Диффузионная проницаемость в зависимости от состава фибробетона ..... 101
- Шаленный В.Т., Мороз В.В.** Возможность сокращения сроков окупаемости инвестиций в энергосбережение путем учета и совершенствования и других мероприятий при реконструкции ..... 108
- Мамиева И.А.** О подготовке специалистов по архитектуре, геометрии и расчету большепролетных пространственных структур и оболочек ..... 116

*Editorial council:*

**Golenkov V.A.** *Doc. Sc. Tech., Prof., president*  
**Radchenko S.Y.** *Doc. Sc. Tech., Prof., vice-president*  
**Borzenkov M.I.** *Candidat Sc. Tech., Assistant Prof.*  
**Astafichev P.A.** *Doc. Sc. Law., Prof.*  
**Ivanova T.N.** *Doc. Sc. Tech., Prof.*  
**Kirichek A.V.** *Doc. Sc. Tech., Prof.*  
**Kolchunov V.I.** *Doc. Sc. Tech., Prof.*  
**Konstantinov I.S.** *Doc. Sc. Tech., Prof.*  
**Novikov A.N.** *Doc. Sc. Tech., Prof.*  
**Popova L.V.** *Doc. Ec. Tech., Prof.*  
**Stepanov Y.S.** *Doc. Sc. Tech., Prof.*

*Editor-in-chief*

**Kolchunov V.I.** *Doc. Sc. Tech., Prof.*

*Editor-in-chief assistants:*

**Danilevich D.V.** *Candidat Sc. Tech., Assistant Prof.*  
**Kolesnikova T.N.** *Doc. Arc., Prof.*  
**Korobko V.I.** *Doc. Sc. Tech., Prof.*

*Editorial committee*

**Bock T.** *Doc. Sc. Tech., Prof. (Germany)*  
**Bondarenko V.M.** *Doc. Sc. Tech., Prof.*  
**Gordon V.A.** *Doc. Sc. Tech., Prof.*  
**Emelyanov S.G.** *Doc. Sc. Tech., Prof.*  
**Karpenko N.I.** *Doc. Sc. Tech., Prof.*  
**Kljueva N.V.** *Doc. Sc. Tech., Prof.*  
**Korobko A.V.** *Doc. Sc. Tech., Prof.*  
**Korol E.A.** *Doc. Sc. Tech., Prof.*  
**Rimshin V.I.** *Doc. Sc. Tech., Prof.*  
**Sergeychuk O.V.** *Doc. Sc. Tech., Prof. (Ukraine)*  
**Serpik I.N.** *Doc. Sc. Tech., Prof.*  
**Tamrazyan A.G.** *Doc. Sc. Tech., Prof.*  
**Tur V.V.** *Doc. Sc. Tech., Prof. (Belorussia)*  
**Turkov A.V.** *Doc. Sc. Tech., Prof.*  
**Fyodorov V.S.** *Doc. Sc. Tech., Prof.*  
**Chernyshov E.M.** *Doc. Sc. Tech., Prof.*  
**Schach R.** *Doc. Sc. Tech., Prof. (Germany)*

*Responsible for edition:*

**Savin S.Yu.** *Candidat Sc. Tech*

*The edition address:* 302006, Orel,  
Street Moscow, 77  
+7 (4862) 73-43-49  
[www.gu-unpk.ru](http://www.gu-unpk.ru)  
E-mail: [qantc@ostu.ru](mailto:qantc@ostu.ru)

Journal is registered in Russian federal service  
for monitoring communications, information  
technology and mass communications  
The certificate of registration:  
III № ФС77-47354 from 03.04.11 г.

Index on the catalogue of the «Pressa Rossii»  
86294

© State University ESPC, 2016

## Contents

### *Theory of engineering structures.* *Building units*

<b>Gbaguidi - Aïsse G., Akowe Sare M., Sohounhloue J., Michozounnou R., Foudjet A.E.</b> Mechanical characterization of the lapping zone of palm wood trusses in the concrete.....	3
<b>Kalafatov D.</b> Results of experimental studies models of bilayer concrete slab foundation frame building on grade.....	16
<b>Malinin V., Moussaoui Yu., Luferova A.</b> The computational model of test application of materials with shape memory effect (sme) in building constructions with the two-tier trajectories of deformation.....	23
<b>Travush V., Konin D., Rozhkova L., Krylov A.</b> Domestic and foreign experience in research of composite structures for eccentric compression.....	31
<b>Turkov A., Karpova E., Abashina N.</b> Deflection and natural frequency compound orthorhombic isotropic plate simply supported along the contour changes in hardness relations with shear.....	45

### *Building and structure safety*

<b>Bakaeva N., Kalaydo A.</b> About the radon transport mechanisms into the buildings	51
<b>Klyuyeva N., Korenkov P.</b> Static and dynamic deformation of monolithic reinforced concrete frame building in ultimate limit and beyond limits states.....	60
<b>Tur V., Nadolski V.</b> The partial factor values calibration for the ultimate limit state checking of steel structures for the conditions republic of belarus. part 2.....	71
<b>Fedosov S., Rumyantseva V., Khrunov V.</b> Increasing of ecological and industrial safety of hazardous production facilities.....	78

### *Architecture and town-planning*

<b>Dvoretzky A., Klevets K.</b> Yield of heating in passive solar heating systems of buildings.....	86
<b>Mikhailova E.</b> Architectural planning design features in the flooded areas in the cities of Netherlands.....	94

### *Construction materials and technologies*

<b>Fediuk R.</b> Diffusion permeability depending on the composition of fiber concrete..	101
<b>Shalennyi V., Moroz V.</b> The possibilities of reducing the payback period of investments in energy efficiency by integrating and improvement of recourse-saving technologies in reconstruction.....	108

<b>Mamiyeva I.</b> On teaching of specialists in architecture, geometry, and strength analysis of large-span space structures and shells.....	116
---	-----

УДК 614.8.086.5

БАКАЕВА Н.В., КАЛАЙДО А.В.

## МЕХАНИЗМЫ ПОСТУПЛЕНИЯ РАДОНА В ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

*В настоящее время более 80% годовой индивидуальной дозы человек получает от естественных источников радиоактивного облучения: космического излучения, излучения почв и радиоактивного газа радона внутри зданий. При этом облучение радоном и его дочерними продуктами распада (ДПР) в зданиях и сооружениях является не только самым интенсивным, но и самым переменным из всех природных источников радиации. По современным представлениям, радон и его ДПР формируют от 50 до 90% годовой индивидуальной дозы человека, а вопросам радоновой безопасности сооружений посвящено значительное число работ. Однако единой точки зрения относительно механизмов поступления радона в здания нет, причина в большом количестве параметров и процессов, участвующих в выделении радона и его дальнейшем распространении. В данной статье представлен экспериментальный материал, посвященный проблеме определения доминирующего механизма поступления радона в здания.*

**Ключевые слова:** радон, дочерние продукты распада, эквивалентная равновесная объемная активность (ЭРОА), конвекция, диффузия, залповый механизм

Среда жизнедеятельности современного человека представляет собой совокупность внутриквартирной внутренней среды, а также внешней искусственной и естественной природной сред. Каждая из них может быть как безопасной и комфортной, так и неблагоприятной. Обеспечение экологической безопасности среды состоит в максимально возможном снижении рисков по максимально возможному перечню факторов потенциальной опасности [1]. Для человека, проводящего более 7000 часов в год в зданиях, главным из факторов потенциальной опасности во внутриквартирной среде является радиоактивное облучение радоном и его ДПР.

Облучение радоном при определенных условиях может активировать обменные процессы, улучшая деятельность желез и усиливая регенерацию клеток (радонотерапия). Но этот факт не относится к облучению в закрытых помещениях, где радон и его ДПР являются второй по частоте причиной возникновения рака легкого после курения. Практически в каждой стране существуют группы населения, получающие очень высокие дозы от естественных источников ионизирующего излучения в бытовых условиях [2].

Радон  $^{222}\text{Rn}$  – благородный радиоактивный газ с периодом полураспада 3,8 суток, не имеющий стабильных изотопов. В структуре облучения населения Российской Федерации его вклад составляет порядка 50 – 70% годовой эффективной дозы от всех источников ионизирующего излучения, а на радоноопасных территориях может превышать 90% [3].

Геологическое пространство под зданием и эманирование из строительных материалов являются основными источниками, обеспечивающими поступление радона внутрь помещений. На данный момент условие обеспечения защиты населения от облучения источниками ионизирующего излучения имеет вид

$$X_i \leq X_i^{\text{дон}}, \quad (1)$$

где  $X_i$  – величина  $i$ -го контролируемого радиационного параметра;  $X_i^{\text{дон}}$  – предельная допустимая величина данного параметра.

В настоящее время в РФ при обеспечении радиационной безопасности объектов строительства используются следующие контрольные параметры [4]:

- удельная активность строительных материалов  $A_{\text{эфф}}$ , Бк/м<sup>3</sup> – для зданий с постоянным пребыванием людей не должна превышать 370 Бк/кг;

- плотность потока радона (ППР) с поверхности грунта – для территории застройки не должна превышать 80 мБк/(м<sup>2</sup>·с) для жилых зданий и 250 мБк/(м<sup>2</sup>·с) для производственных, в противном случае территория классифицируется как потенциально радоноопасная;
- МЭД гамма-излучения стройматериалов – не должна превышать 0,6 мкЗв/час;
- ЭРОА радона в воздухе помещений – не должна превышать 100 Бк/м<sup>3</sup> для возводимых зданий и 200 Бк/м<sup>3</sup> для эксплуатируемых.

Обеспечение радиационной безопасности в форме (1) оправдано только для удельной активности стройматериалов и МЭД от излучения ограждающих конструкций (тем более, что они взаимосвязаны), в случае с ЭРОА наличие границы безопасного облучения противоречит принятой на данный момент линейной беспороговой концепции действия радиации. Величина ППР с поверхности почвы в качестве контрольного параметра вообще не используется более ни в одной стране мира, основные ее недостатки – непредставительность (определяется не на глубине закладки фундамента), неинформативность (не определяет характера необходимых противорадных мероприятий) и значительные пространственные и временные колебания [5-7].

Оптимизация радиационной защиты населения может быть реализована путем введения референтного уровня (РУ), который только определяет недопустимо высокий уровень риска, не устанавливая границы безопасного облучения [8]. А в качестве критерия радоноопасности территории при инженерно-экологических изысканиях может использоваться радоновый потенциал грунта, который не испытывающий указанных колебаний [9]

$$P_{Rn} = C_{Ra} \cdot \rho_{gp} \cdot k_{эм},$$

где  $C_{Ra}$  – удельная активность радия в почве, Бк/кг;

$\rho_{gp}$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>;

$k_{эм}$  – коэффициент эманирования радона.

Понимание механизмов переноса радона из почвы в здания и сооружения имеет первостепенное значение для правильной интерпретации результатов краткосрочных измерений радона в помещениях и эффективной разработки систем снижения уровней радона. На данный момент считается установленным, что поступление радона в здания и сооружения обусловлено комбинацией конвективного и диффузионного механизмов:

$$S_{Rn}(t) = S_D + S_A(t, \Delta P),$$

где  $S_D$  – диффузионное поступление радона;

$S_A(t, \Delta P)$  – конвективное поступление радона.

*Диффузионное поступление* обусловлено градиентом объемной активности (концентрации) радона по глубине коренных пород, которая изменяется от сотен кБк/м<sup>3</sup> на глубине нескольких метров до 10 – 20 Бк/м<sup>3</sup> в приземном слое атмосферы [10]

$$S_D = P_{ст} A_{нг} + P_{фунд} A_{внут},$$

где  $P_{ст}$  и  $P_{фунд}$  – площадь стен и основания фундамента соответственно, м<sup>2</sup>;

$A_{нг}$  и  $A_{внут}$  – объемная активность радона в почвенном воздухе и на внутренней стороне плиты основания фундамента, м<sup>2</sup>.

*Конвективное поступление* радона вызвано наличием разности давлений между внутренним объемом здания и внешней атмосферой. Если температура воздуха в помещении выше, чем снаружи, возникает подъемная сила, приводящая к движению воздуха в верхнюю часть здания. Направление и сила ветра, геометрия зданий и плотность застройки, создающие локальные потоки радона, играют второстепенную роль [11; 12]

$$S_A(t, \Delta P) = A_{нг} \cdot (Q_s(\Delta P) + q(t)),$$

где  $Q_s(\Delta P)$  – поток радона в здание, вызванный стационарной разностью давлений, Бк/(м<sup>3</sup>·ч);

$q(t)$  – поток радона в здание, вызванный перепадами атмосферного давления.

При конвективном механизме отмечается рост скорости поступления радона с увеличением разности температур  $\Delta T$  внутри и снаружи здания, а при диффузионном механизме данные величины не коррелируют между собой.

Учеными ИПЭ УрО РАН Жуковским М.В. и др. предложена методика определения доминирующего типа поступления радона в многоэтажные здания, основанная на изучении зависимости скорости поступления радона от разности температур воздуха внутри и снаружи здания [13; 14]:

$$A_r = \frac{A_\infty S_{нат} \left[ X_S \frac{\Delta T}{T_1} \right]^n + S_D}{S_{нат}^{эф} \left[ Y_S \frac{\Delta T}{T_1} \right]^n + Y_W} + A_{атм}, \quad (2)$$

где  $\Delta T$  – разность температур внутри и снаружи помещения, К;

$S_{нат}$  – площадь натекания, м<sup>2</sup>;

$A_\infty$  – объемная активность радона у основания здания, Бк/м<sup>3</sup>;

$A_{атм}$  – объемная активность радона в атмосферном воздухе, Бк/м<sup>3</sup>;

$n$  – кратность воздухообмена в помещении, ч<sup>-1</sup>;

$X_S$ ,  $Y_S$  и  $Y_W$  – коэффициенты, характеризующие конструктивные особенности здания.

При доминирующем конвективном механизме поступления радона в помещения первое слагаемое в числителе уравнения (2) намного больше  $S_D$ , тогда при увеличении  $\Delta T$  числитель растет быстрее, чем знаменатель, поэтому ЭРОА радона в здании для зимнего сезона должна быть выше, чем для летнего. Напротив, при доминировании диффузионного механизма числитель не имеет ярко выраженной температурной зависимости, сезонное увеличение  $\Delta T$  в зимний период приведет к заметному увеличению знаменателя дроби (т.е. к увеличению скорости воздухообмена в здании за счет стек-эффекта) и ЭРОА радона в здании для зимнего сезона будет меньше, чем для летнего.

Жуковским М.В. и др. экспериментально установлено преобладание диффузионного механизма поступления радона в современные многоэтажные здания, построенные по энергосберегающим технологиям [15]. Более высокие уровни радона в них по сравнению со зданиями, построенными ранее, являются следствием снижения кратности воздухообмена и лучшей герметизации помещений.

В работах Гулабянца Л.А. и др. [16-18] также показана доминирующая роль диффузионного механизма распространения радона в почве с формированием потока радона в «активном» слое глубиной до 3,5 м. В предположении, что поступление радона происходит через пол, граничащий с грунтом, а поступления от стен и потолка невелики и постоянны, авторы определяют предельную плотность потока радона от пола, при которой не будет превышен установленный уровень ЭРОА

$$Q_{n.дон} = \frac{ЭРОА \cdot V \cdot (\lambda_{Rn} + n) - Q_{ст} \cdot S_{ст} \cdot F}{S_{пол} \cdot F}.$$

где  $V$  – объем помещения, м<sup>3</sup>;

$F$  – коэффициент сдвига радиоактивного равновесия между радоном и его ДПР;

$Q_{ст}$  – поток радона с внутренних поверхностей помещения, Бк/м<sup>2</sup>;

$S_{ст}$  – площадь внутренних поверхностей, м<sup>2</sup>;

$\lambda_{Rn} = 0,00755$  ч<sup>-1</sup> – постоянная распада радона.

В работах Цапалова А.А. и др. [19; 20] для описания диффузионного механизма поступления радона в помещения используется нестационарное уравнение баланса объемной активности (ОА) радона в закрытом помещении

$$\frac{\partial A(t)}{\partial t} = j + n \cdot A_{атм} - n \cdot A(t) - \lambda_{Rn} \cdot A(t), \quad (3)$$

где  $A(t)$  – объемная активность радона в момент времени  $t$ , Бк/м<sup>3</sup>;

$j$  – суммарная скорость поступления радона от всех (кроме наружного воздуха) источников, Бк/(м<sup>3</sup>·ч).

Решение (3) авторы представляют в виде

$$A = \frac{j}{n} + A_{атм}.$$

Поскольку кратность воздухообмена является промежуточным фактором, то непосредственная связь между среднегодовой ОА и разностью температур внутреннего и наружного воздуха  $\Delta T$  авторы выражают соотношением

$$A_{ср} = \frac{A_{изм}}{f_{OA}(x) + 1},$$

в котором параметр  $x$  определяется по формуле

$$x = \frac{T_{внут} - T_{наруж}}{T_{ср\ внут} - T_{ср\ наруж}} - 1,$$

а сама функция  $f_{OA}(x)$  построена по результатам многолетних исследований.

При конвективном механизме переноса радон поступает в верхние этажи здания из подвальных помещений. Скорость конвективного поступления радона в помещения может быть найдена по формуле

$$S_C = \frac{A_C \cdot \Delta P}{R_C \cdot V},$$

где  $A_C$  – концентрация радона в конвективном потоке воздуха, Бк/м<sup>3</sup>;

$\Delta P$  – разность давлений, которой обусловлен конвективный поток, Па;

$R_C$  – общее сопротивление конструкции здания поступлению конвективного потока воздуха, Па·ч/м<sup>3</sup>.

Модель конвективного поступления радона [21], используемая в Финском Центре радиационной и ядерной безопасности для изучения сезонных вариаций уровней радона, связывает разность давлений и разность температур воздуха внутри и снаружи помещения

$$\Delta P = \rho_0 g H \frac{T_{внут} - T_{нар}}{T_{внут}},$$

где  $\rho_0$  – плотность воздуха при нормальном давлении, кг/м<sup>3</sup>;

$g = 9,82$  м/с<sup>2</sup> – ускорение свободного падения;

$H$  – высота нейтрального уровня, на которой достигается равенство давлений внутри и снаружи здания, м.

В работе [22] скорость конвективного поступления радона, вызванного стек-эффектом, описывается формулой

$$S_C = \frac{A_C S_{нат}^{Rn} v_0}{V} \cdot \left( \frac{T_{внут} - T_{нар}}{T_{внут}} \cdot \frac{gh}{P_0} \right)^{n_r},$$

где  $h$  – высота здания, м;

$v_0$  – скорость инфильтрации воздуха, м/с;

$S_{нат}^{Rn}$  – площадь натекания радона, м<sup>2</sup>;

$n_r$  – характеристика мест инфильтрации и эксфильтрации воздуха в здании.

Существенное влияние на интенсивность поступления радона в здания и сооружения оказывают климатические условия. В [23] экспериментально определено, что изменение влажности почвы влияет на сезонные колебания концентрации радона не только в почвенном воздухе, но и в воздухе внутри зданий и сооружений. Повышенная влажность почвы осенью и весной (после таяния снега) увеличивает концентрацию почвенного радона на 10 – 20%.

Промерзание почвы и снежный покров также препятствуют выходу радона из почвы в атмосферу, приводя к накоплению его в основании здания. В [24] увеличение ОА почвенного радона в зимнее время авторы объясняют установлением непроницаемого экрана на дневной поверх-

ности, а в [25] отмечено снижение в 1,5 – 2 раза значений ППР с поверхности почвы в зимний период по сравнению с летним.

В работе Климишина А.В. и др. предложена математическая модель для оценки влияния промерзания на значения ОА и ППР, использующая уравнение диффузии радона в пористой среде [26]

$$\eta \frac{\partial A(z,t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( D(z,t) \frac{\partial A(z,t)}{\partial z} \right) - \lambda_{Rn} \eta A(z,t) + Q,$$

В основе модели лежит предположение не о непроницаемом экране, а о частичном уменьшении коэффициента диффузии радона  $D(z, t)$  в промерзающем слое грунтов

$$D(z,t) = D_1 - (D_2 - D_1) \cdot \chi(z - h(t)),$$

где  $D_1$  и  $D_2$  – коэффициенты диффузии радона в грунте до и после промерзания,  $m^2/c$ ;

$\chi(z)$  – функция Хевисайда;

Глубина промерзания грунта  $h(t)$  при этом аппроксимируется соотношением

$$h(t) = \frac{h_{max} \cdot t}{T} (\chi(t) - \chi(t - T)) + h_{max} \chi(t - T),$$

где  $T$  – время установления максимальной глубины промерзания.

Залповый механизм поступления радона в искусственные сооружения, при котором в достаточно короткий промежуток времени происходит значительное увеличение активности внутреннего радона, отмечен в работе А.И. Андреева и др. [27, 28]. Причиной подобного поступления радона авторы посчитали сейсмическую активность Дальневосточного региона на момент проведения исследований.

В данной работе изучение динамики поступления радона проводилось в Луганском государственном университете имени Тараса Шевченко и включало 4 цикла ежедневных измерений ЭРОА на протяжении семи суток в период положительных (июль и октябрь) и отрицательных (ноябрь) температур, а также в период резкого похолодания (декабрь) с выпадением снежного покрова толщины 40 см. Измерения выполнялись в «закрытой» лаборатории цокольного этажа и в служебном помещении пятого этажа (переход из активного режима в стационарный) учебного корпуса радиометром ДПР радона «АТЛЕШ-1м», предназначенным для экспрессных, квазиинтегральных и интегральных измерений ЭРОА радона аспирационным методом.

Для нижнего этажа чаще всего наблюдался ярко выраженный максимум ЭРОА (один за сутки) и чередование выступов и провалов меньшей величины (рис. 1, а), что считаем возможным трактовать как залповый механизм поступления. Максимумы регистрировались в произвольное время суток, то есть изменения ЭРОА не повторяли циклических изменений разности температур внутри и снаружи здания. В то же время, на верхнем этаже отмечен процесс с выходом на насыщение (рис. 1, б), то есть диффузионный характер поступления радона.

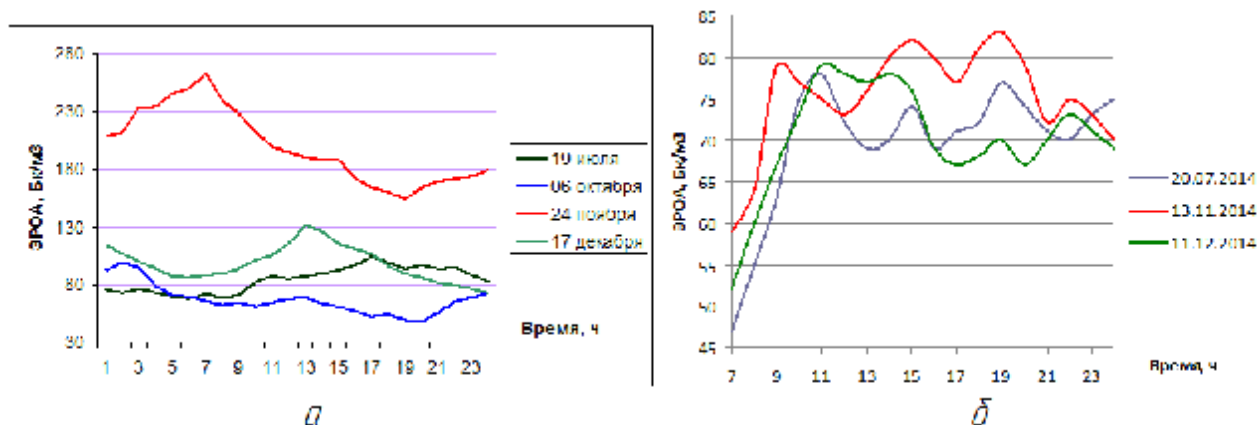


Рисунок 1 – Вариации уровней радона в помещениях: а – цокольный этаж; б – верхний этаж



В результате статистической обработки экспериментальных данных по всем циклам измерений коэффициент парной корреляции между ЭРОА радона и разностью температур воздуха внутри и снаружи здания составил

$$r_{ЭРОА-T} = -0,875.$$

Однако аналогичные коэффициенты, рассчитанные отдельно по каждому из четырех циклов измерений были существенно ниже (-0,15...-0,25), вследствие чего можно предположить, что более высокие концентрации радона в зданиях в зимнее время не обязательно обусловлены доминированием конвективного механизма поступления радона.

Резкое падение уровней радона было отмечено при исследованиях динамики поступления в учебном корпусе обособленного подразделения университета, расположенном в другом районе города (рис. 2, а). Измерения проводились в «закрытом» помещении цокольного этажа в с 10 по 17 марта 2015 г. с периодичностью в два часа. На рис. 2, б показано изменение среднесуточной температуры в Луганске, на протяжении более двух месяцев температура находилась в отрицательной области, а после 22.02.2015 г. в отрицательную область температура более не опускалась. Сопоставление рисунков 2, а и 2, б показывает, что промерзание грунта играет достаточно важную роль в формировании уровней радона в зданиях и сооружениях.

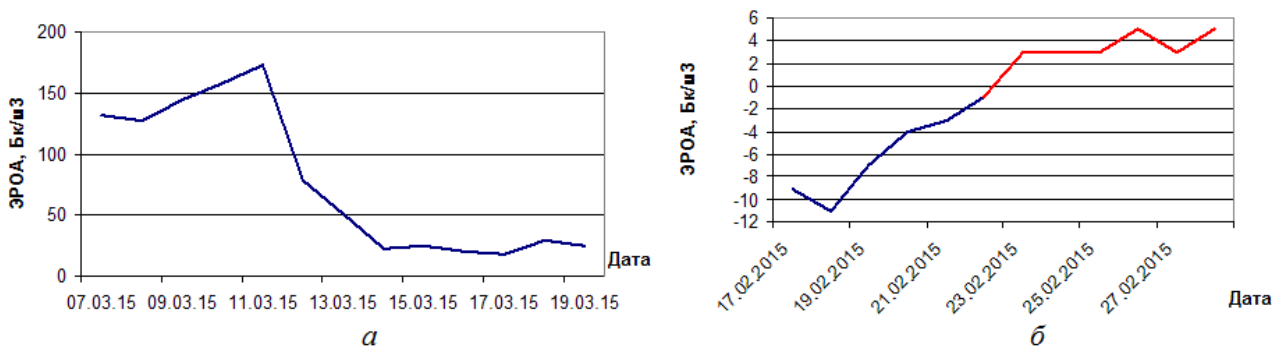


Рисунок 2 – Вариации уровней радона в помещениях: а – цокольный этаж; б – верхний этаж

Можно предположить, что при переходе в область отрицательных атмосферных температур и промерзании грунта частично перекрываются пути выхода радона из почвы в атмосферу, то есть существенно снижается ее радонопроницаемость. В то же время глубина промерзания грунта, непосредственно контактирующего с фундаментом здания, существенно меньше. Как следствие, увеличивается радоновая нагрузка на подземные ограждающие конструкции здания, а значит – интенсивность поступления радона внутрь сооружений. Сама интенсивность поступления может определяться конструкцией и состоянием фундамента здания, типом и влажностью почвы на момент наступления отрицательных климатических температур и т.д.

Проведенные исследования показали, что в формировании уровней радона в зданиях и сооружениях одновременно принимают участие все три механизма поступления:

- «залповый» механизм – характерен только для этажей, непосредственно контактирующих с грунтовым основанием зданий, в его основе процессы, протекающие в геологическом пространстве под зданием;
- диффузионный механизм – имеет место на всех этажах зданий и сооружений, также обеспечивает поступление радона из грунтового основания в помещения нижних этажей;
- конвективный механизм – обеспечивает распространение радона по всему зданию.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Теличенко, В.И. Управление экологической безопасностью строительства. Системный подход [Текст] // Управление и экспертирование недвижимости. Международный научно-технический журнал. – № 1. – 2011. – С. 23 – 27.
2. Гулабянц, Л.А. Роль радона в сфере жизнедеятельности человека [Текст] // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – № 4. – 2013. – С. 78 – 82.
3. Калайдо, А.В. Облучение радоном в эксплуатируемых многоэтажных зданиях [Текст] // Строительство и реконструкция. – № 5 (61). – 2015. – С. 56 – 62.
4. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99): Гигиенические нормативы СП 2.6.1.758-99. – М.: Центр санитарно-эпидемиологического нормирования гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России, 1999. – 116 с.
5. Заболотский, Б.Ю. Исследование радоноопасности грунтовых оснований зданий и территории застройки. Автореф. канд. дис. – М. НИИСФ, 2005. – 25 с.
6. Микляев, П.С. Проблемы определения радоноопасности территории Москвы [Текст] / П.С. Микляев, Ю.А. Баннов, Т.Б. Петрова, А.В. Томашев // Материалы конф. «Сергеевские чтения». – М.: ГЕОС. 2006. С. 187 – 190.
7. Дорожко, А.Л. Природный радон: проблемы и решения [Текст] // Разведка и охрана недр. – 2010. – № 8. С. 50 – 56.
8. Ярмошенко, И.В. Проблемы оптимизации защиты от радона и введения референтного уровня в Российской Федерации [Текст] / И.В. Ярмошенко, А.Д. Онищенко, М.В. Жуковский // Радиационная гигиена. 2014. – Т.7. № 4. С. 67 – 71.
9. Кулиева, Г.А. Некоторые сложности радиационного контроля в строительном деле [Текст] / Г.А. Кулиева, В.В. Глебов // Вестник МГСУ, 2013. - № 8. – С. 104-109.
10. Гулабянц, Л.А. Определение радоновой нагрузки на подземные ограждающие конструкции здания [Текст] / Л.А. Гулабянц, М.И. Лившиц, С.В. Медведев // Academia. Архитектура и строительство. – 2016. – № 1. С. 122 – 128.
11. Кургуз, С.А. Влияние физических свойств радона на его распределение внутри зданий и помещений [Текст] // Радиоэкология XXI века: материалы междунар. науч.-практ. Конф., Красноярск, 14 – 16 мая 2012. – Красноярск: СФУ, 2012. – С.145-150.
12. Sherman M.H. Single-Zone Stack Dominated Infiltration Modelling. Lawrence Berkeley National Laboratory, 1998. LBL-30147.
13. Жуковский, М.В., Васильев, А.В. Способ определения доминирующего механизма поступления радона в помещение [Текст] / Заявка: 2011142707/28, 21.10.2011. RU 2508526 С2.
14. Васильев, А.В. Проблема облучения радоном в современных многоэтажных зданиях [Текст] // Строительство и реконструкция, 2014. – № 4 (54). – С. 37-44.
15. Vasilyev A.V., Yarmoshenko I.V., Zhukovsky M.V. Low air exchange rate causes high indoor radon concentration in energy-efficient buildings. Radiat Prot Dosimetry, 2015. – № 164 (4). – Pp. 601-605.
16. Гулабянц, Л.А. Новый подход к решению проблемы защиты зданий от радона [Текст] // Вестник МГСУ, 2011. Т. 2, № 3. – С. 3-8.
17. Гулабянц, Л.А. Принцип построения новых норм проектирования противорадоновой защиты зданий [Текст] / Л.А. Гулабянц // Благоприятная среда жизнедеятельности человека. Строительные науки. – 2009. – № 5. С. 461 – 467.
18. Гулабянц, Л.А. Мощность «активного» слоя грунта при диффузионном переносе в грунтовом основании здания / Л.А. Гулабянц, Б.Ю. Заболотский // АНРИ. – 2001. – №4. – С. 38-40.
19. Цапалов, А.А. Зависимость объемной активности радона в помещениях от разности внутренней и наружной температур воздуха [Текст] / А.А. Цапалов, С.И. Кувшинников // АНРИ. – 2008. – № 2(53). – С. 37-43.
20. Цапалов, А.А. Оценка среднегодового уровня ЭРОА радона в помещениях на основе результатов краткосрочных измерений радиометром «АльфаАЭРО» [Текст] // АНРИ. – 2008. – № 3(54). С. 49 – 58.
21. Бондаренко, В.М. Перенос радона в горном массиве под воздействием временных вариаций температуры и давления приземного слоя атмосферы [Текст] / В.М. Бондаренко, Н.В. Демин // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка, 2014. – № 3. – С. 52-56.
22. Sherman M.H. Simplified Modeling for Infiltration and Radon Entry. Lawrence Berkeley National Laboratory, 1998 г. LBL-31305.
23. Arvela H., Holmgren O., Hänninen P. Effect of soil moisture on seasonal variation in indoor radon concentration: modelling and measurements in 326 Finnish houses. Radiat Prot Dosimetry, 2016. – № 168 (2). Pp. 277-290.
24. Микляев, П.С. Механизмы формирования потока радона с поверхности почв и подходы к оценке радоноопасности селитебных территорий / П.С. Микляев, Т.Б. Петрова // АНРИ. 2007. – № 2. С. 2-16.
25. Гулабянц, Л.А. Сезонная вариация потока радона из грунта и оценка радоноопасности площади застройки / Л.А. Гулабянц, Б.Ю. Заболотский // АНРИ, 2004. – № 4. – С. 46-50.
26. Климшин, А.В. Влияние промерзания поверхностного слоя грунтов на перенос радона / А.В. Климшин, И.А. Козлова, Е.Н. Рыбаков, М.Ю. Луковской // Вестник КРАУНЦ. Науки о земле. 2010. № 2. выпуск № 16. С. 146-151.
27. Андреев, А.И. Радон как индикатор сейсмогеодинамической активности [Текст] / А.И. Андреев, А.А. Коковкин, М.Б. Медведева // Безопасность в техносфере, 2011. – № 5. – С. 8-13.
28. Андреев, А.И. Экспериментальные исследования динамики поступления радона в служебные помещения [Текст] / А.И. Андреев, М.Б. Медведева // Вестник ТОГУ. Физико-математические науки. – 2011. – № 3 (22). С. 37-45.

**Бакаева Наталья Владимировна**

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск  
Доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой экспертизы и управления недвижимостью,  
горного дела  
E-mail: [natbak@mail.ru](mailto:natbak@mail.ru)

**Калайдо Александр Витальевич**

ГОУ ВПО «Луганский государственный университет имени Тараса Шевченко», г. Луганск  
Старший преподаватель кафедры БЖД, охраны труда и гражданской защиты  
E-mail: [kalaydo18@mail.ru](mailto:kalaydo18@mail.ru)

---

N. BAKAEVA, A. KALAYDO

## ABOUT THE RADON TRANSPORT MECHANISMS INTO THE BUILDINGS

*At the present time natural radiation sources represents about 80 % of the total annual dose from all sources. The three most important components of natural radiation exposure are cosmic radiation, terrestrial radioactivity and indoor radon. Indoor radon exposure being the most variable and also the largest contributor to dose for most people. Radon and its progeny create from 50 to 90% of the annual individual dose of an, and so many science works dedicated to radon safety. The great number of involved parameters and processes affecting the emanation of radon from the soil grains and its transport in buildings is the main problem. The experimental material about radon transport mechanisms presents in this article.*

**Keywords:** radon, progeny, equivalent equilibrium radon concentration (EERC), convection, diffusion, volley mechanism

### BIBLIOGRAPHY

1. Telichenko, V.I. Upravleniye ekologicheskoy bezopasnost'yu stroitel'stva. Sistemnyy podkhod [Tekst] // Upravleniye i ekspertirovaniye nedvizhimosti. Mezhdunarodnyy nauchno-tekhnicheskiy zhurnal. - № 1. - 2011. - S. 23 - 27.
2. Gulabyants, L.A. Rol' radona v sfere zhiznedeyatel'nosti cheloveka [Tekst] // Biosfernaya sovместimost': chelovek, region, tekhnologii. - № 4. - 2013. - S. 78 - 82.
3. Kalaydo, A.V. Oblucheniye radonom v ekspluatiruyemykh mnogoetazhnykh zdaniyakh [Tekst] //
4. Normy radiatsionnoy bezopasnosti (NRB-99): Gigiyenicheskiye normativy SP 2.6.1.758-99. - M.: Tsentr sanitarno-epidemiologicheskogo normirovaniya i gigiyenicheskoy sertifikatsii EKSPERTIZY minzdrava Rossii, 1999. - 116 s.
5. Zabolotskiy, B.YU. Issledovaniye radonopasnosti gruntovykh osnovaniy zdaniy i territorii zastroyki. Avtoref. kand. dis. - M. NIISF, 2005. - 25 s.
6. Miklyayev, P.S. Problemy opredeleniya radonopasnosti territorii Moskvy [Tekst] / P.S. Miklyayev, YU.A. Bannov, T.B. Petrova, A.V. Tomashev // Materialy konf. «Sergeyevskiyechteniya». - M.: GEOS. 2006. S. 187 - 190.
7. Dorozhko, A.L. Prirodnyy radon: problemy i resheniya [Tekst] // Razvedka i okhrana nedr. - 2010. - № 8. S. 50 - 56.
8. Yarmoshenko, I.V. Problemy optimizatsii zashchity ot radona i vvedeniya referentnogo urovnya v Rossiyskoy Federatsii [Tekst] / I.V. Yarmoshenko, A.D. Onishchenko, M.V. // Zhukovskiy Radiatsionnaya gigiyena. 2014 g. - T.7. № 4. S. 67 - 71.
9. Kuliyeva, G.A. Nekotoryye slozhnosti radiatsionnogo kontrolya v stroitel'nom dele [Tekst] / G.A. Kuliyeva, V.V. Glebov // Vestnik MGSU, 2013. - № 8. - S. 104-109.
10. Gulabyants, L.A. Opredeleniye radonovoy nagruzki na podzemnyye ograzhdayushchiye konstruksii zdaniya [Tekst] / L.A. Gulabyants, M.I. Livshits, S.V. // Academia Medvedev. Arkhitektura i stroitel'stvo. - 2016. - № 1. S. 122 - 128.
11. Kurguz, S.A. Vliyaniye fizicheskikh svoystv radona na yego raspredeleniye vntri zdaniy i pomeshcheniy [Tekst] // Radioekologiya XXI veka: materialy mezhdunar. nauch.-prakt. Konf, Krasnoyarsk, 14 - 16 maya 2012 goda - Krasnoyarsk.: SFU, 2012. - S.145-150.
12. Sherman M.H. Odnozonal'nykh Stek Dominiruyut infil'tratsii Modelirovaniye. Natsional'naya laboratoriya Lourensa v Berkli, 1998. LBL-30147.
13. Zhukovskiy, M.V., Vasil'yev, A.V. Sposob opredeleniya dominiruyushchego mekhanizma postupleniya radona v pomeshcheniye [Tekst] / Zayavka: 2011142707/28, 21.10.2011. RU 2508526 S2.

14. Vasil'yev, A.V. Problema oblucheniya radonom v sovremennykh mnogoetazhnykh zdaniyakh [Tekst] // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya 2014 g. - № 4 (54). - S. 37-44.
15. Vasil'yev A.V, Yarmoshenko KHV, Zhukovskiy M.V. Nizkaya skorost' obmena vozdukha v pomeshchenii privodit k vysokoy kontsentratsii radona v energoeffektivnykh zdaniyakh. Radiat Prot dozimetrii, 2015. - № 164 (4). - Rr. 601-605.
16. Gulabyants, L.A. Novyy podkhod k resheniyu problemy zashchity zdaniy ot radona [Tekst] // Vestnik MGSU, 2011. T. 2, № 3. - S. 3-8.
17. Gulabyants, L.A. Printsip postroyeniya novykh norm proyektirovaniya protivoradonovoy zashchity zdaniy [Tekst] / L.A. Gulabyants // Blagopriyatnaya sreda zhiznedeyatel'nosti cheloveka. Stroitel'nyye nauki. - 2009. - № 5. S. 461 - 467.
18. Gulabyants, L.A. Moshchnost' «aktivnogo» sloya grunta pri diffuzionnom perenose v gruntovom osnovanii zdaniya / L.A. Gulabyants, B.YU. Zabolotskiy // ANRI. - 2001. - №4. - S. 38-40.
19. Tsapalov, A.A. Zavisimost' ob'yemnoy aktivnosti radona v pomeshcheniyakh ot raznosti vnutrenney i naruzhnoy temperatur vozdukha [Tekst] / A.A. Tsapalov, S.I. Kuvshinnikov // ANRI. - 2008. - № 2 (53). - S. 37-43.
20. Tsapalov, A.A. Otsenka srednegodovogo urovnya EROA radona v pomeshcheniyakh na osnove rezul'tatov kratkosrochnykh izmereniy radiometrom «Al'faAERO» [Tekst] // ANRI. - 2008. - № 3 (54). S. 49 - 58.
21. Bondarenko, V.M. Perenos radona v gornom massive pod vozdeystviyem vremennykh variatsiy temperatury i davleniya prizemnogo sloya atmosfery [Tekst] / V.M. Bondarenko, N.V. Demin // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka, 2014 g. - № 3. - S. 52-56.
22. Sherman M.H. Uproshchennaya modelirovaniye dlya infil'tratsii i Radon zapis'. Natsional'noy laboratorii Lorensa Berkli, 1998 g. LBL-31305.
23. Arvela N., Gol'mgren O., Khanninen R. Vliyaniye vlazhnosti pochvy na sezonnyye kolebaniya kontsentratsii radona vnutri pomeshcheniy: modelirovaniya i izmereniy v 326 finskikh domov. Radiat Prot dozimetrii, 2016. - № 168 (2). Rr. 277-290.
24. Miklyayev, P.S. Mekhanizmy formirovaniya potoka radona s poverkhnosti pochv i podkhody k otsenke radonopasnosti selitebnykh territoriy / P.S. Miklyayev, T.B. Petrova // ANRI. 2007. - № 2. S. 2-16.
25. Gulabyants, L.A. Sezonnaya variatsiya potoka radona iz grunta i otsenka radonopasnosti ploshchadi zastroyki / L.A. Gulabyants, B.YU. Zabolotskiy // ANRI, 2004. - № 4. - S. 46-50.
26. Klimshin, A.V. Vliyaniye promerzaniya poverkhnostnogo sloya gruntov na perenos radona / A.V. Klimshin, I.A. Kozlova, Ye.N. Rybakov, M.YU. Lukovskoy // Vestnik KRAUNTS. Nauki o zemle. 2010. № 2. vypusk № 16. S. 146-151.
27. Andreyev, A.I. Radon kak indikator seysmogeodinamicheskoy aktivnosti [Tekst] / A.I. Andreyev, A.A. Korkovkin, M.B. // Medvedeva Bezopasnost' v tekhnosfere, 2011. - № 5. - S. 8-13.
28. Andreyev, A.I. Eksperimental'nyye issledovaniya dinamiki postupleniya radona v sluzhebnyye pomeshcheniya [Tekst] / A.I. Andreyev, M.B. // Medvedeva Vestnik TOGU. Fiziko-matematicheskkiye nauki. - 2011. - № 3 (22). S. 37-45.

**N. Bakaeva**

Southwest State University, Kursk

Doctor Tech. Sci., professor, head of the Department of examination and management of real estate, mining

E-mail: [natbak@mail.ru](mailto:natbak@mail.ru)

**A. Kalaydo**

Luhansk Taras Shevchenko State University, Luhansk

Senior lecturer of the department of BC, labour protection and civil defense

E-mail: [kalaydo18@mail.ru](mailto:kalaydo18@mail.ru)