



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Белорусский национальный  
технический университет

---

---

Кафедра «Технология бетона и строительные материалы»

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ  
ЭФФЕКТИВНОЙ АКТИВНОСТИ  
ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ  
В СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛАХ**

*Методические указания  
к лабораторной работе*

Минск  
БНТУ  
2014

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет

---

Кафедра «Технология бетона и строительные материалы»

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОЙ АКТИВНОСТИ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛАХ

Методические указания  
к лабораторной работе по дисциплине  
«Строительное материаловедение»  
для студентов строительных специальностей

Минск  
БНТУ  
2014

УДК 691:539.16(076.5) (075.8)

ББК 38.3я7

О-62

Составитель

*Л. В. Красулина*

Рецензенты:

*Ю. А. Рыхленок, А. Э. Змачинский*

В издании рассмотрено явление радиоактивности, указаны основные виды радиоактивных излучений, их воздействие на различные вещества и биологические ткани. Приводятся сведения о естественной радиоактивности горных пород.

Изложен метод определения удельной активности и удельной эффективной активности естественных радионуклидов.

© Белорусский национальный  
технический университет, 2014

**Цель работы:** ознакомиться со сведениями об основных естественных радиоактивных элементах, содержащихся в строительных материалах; изучить методику определения содержания радиоактивных изотопов в природных каменных материалах и материалах, полученных на основе горных пород; экспериментально определить удельную активность радионуклидов природного происхождения в природных и искусственных строительных материалах, а также удельную эффективную активность естественных радионуклидов в этих материалах, учитывая их биологическое воздействие на организм человека; определить класс и область применения строительных материалов в зависимости от полученных значений удельной эффективной активности естественных радионуклидов

**Средства измерений:**

- радиометр;
- весы;
- сушильный шкаф.

## Радиоактивные излучения

**Радиацией** называют всевозможные виды излучений, действующих на человека и среду его обитания. Все их принято делить на *ионизирующие* и *неионизирующие*. К ионизирующим относят те излучения, которые способны делить молекулы вещества на ионы.

Ионизирующие излучения, их еще называют радиоактивным излучением, имеют огромную энергию и малую длину волны, причем чем меньше длина волны, тем больше энергия порций излучения – квантов.

Установлено три основных типа ионизирующих излучений, каждому из которых соответствует свой тип распада:  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучение. Выделяют излучение *корпускулярное* (состоящее из частиц с массой покоя отличной от нуля альфа ( $\alpha$ )- и бета ( $\beta$ )-излучения и нейтронное излучение), и *электромагнитное* (гамма ( $\gamma$ )-излучение и рентгеновское излучение) с очень малой длиной волны.

Ионизирующие излучения являются обязательной частью среды обитания живых организмов. Общий радиационный фон на Земле создается рядом источников:

- космическим излучением;

– излучениями от естественных радиоактивных веществ, находящихся в почве, в воздухе, воде, а также попадающих внутрь организмов и накапливающихся в тканях;

– излучениями от искусственных источников.

## Основные законы радиоактивных превращений

**Радиоактивность** – самопроизвольное превращение одних атомных ядер в другие, сопровождаемое испусканием различных видов излучений ( $\alpha$ -;  $\beta$ -;  $\gamma$ -) и некоторых элементарных частиц. Самопроизвольное превращение ядер называют **радиоактивным распадом**. Ядро, претерпевающее распад, называют радионуклидом. Радиоактивный распад происходит так, что количество ядер радиоактивного элемента  $dN$ , распавшихся за бесконечно малый промежуток времени  $dt$ , пропорционально числу ядер  $N$ , не распавшихся к моменту времени  $t$ :

$$-dN = \lambda N dt, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – постоянная распада, характеризующая вероятность распада ядра в единицу времени.

Интегрируя уравнение (1) и полагая, что при  $t = 0$ ,  $N = N_0$  ( $N_0$  – число атомов радиоактивного вещества в начальный момент времени), получим

$$N = N_0 \exp(-\lambda t). \quad (2)$$

Из уравнения (2) следует, что радиоактивный распад подчиняется экспоненциальному закону.

При распаде радиоактивного атома выделяется огромное количество энергии, которое можно точно измерить. Распад ядер радиоактивных веществ происходит в случайные моменты времени, которые невозможно предугадать для каждого конкретного ядра. Но существует вполне определенное время, в течение которого распадается половина всех атомов вещества. Это время называется **периодом полураспада** для большого количества атомов ( $T_{1/2}$ ).

Периоды полураспада радиоактивных элементов – это числа, показывающие время, в течение которого распадаются половина имеющегося количества элемента:

$$T_{1/2} = \ln 2 / \lambda = 0,693 / \lambda. \quad (3)$$

Для каждого радиоактивного элемента постоянная распада и период полураспада  $T_{1/2}$  являются характерными величинами и имеют строго определенные значения. Для различных элементов эти параметры изменяются.

Количественной мерой радиоактивности источника является физическая величина, называемая **активностью**. Активность радионуклида в источнике – это среднее число распадов ядер за единицу времени:

$$A(t) = dN(t)/dt. \quad (4)$$

Благодаря распаду, количество радиоактивных ядер в первоначальной массе вещества с течением времени уменьшается, соответственно снижается активность радионуклида. Активность радионуклида  $A$ , как и число радионуклидов  $N(t)$ , с течением времени уменьшается по экспоненциальному закону:

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t}, \quad (5)$$

где  $A_0 = \lambda N_0$  – активность радионуклида в источнике в начальный момент времени  $t_0 = 0$ .

**Удельная активность радионуклида** – это отношение активности  $A$  радионуклида в веществе к массе вещества  $m$ :

$$A_m = A/m. \quad (6)$$

Удельная эффективная активность естественных радионуклидов в материале определяется с учетом биологического воздействия на организм человека основных радиоактивных нуклидов природного происхождения: радий ( $\text{Ra}^{226}$ ), торий ( $\text{Th}^{232}$ ), калий ( $\text{K}^{40}$ ).

Ионизирующее излучение, проходя через вещество, ионизирует и возбуждает атомы и молекулы среды. Ионизируя и возбуждая атомы и молекулы среды излучение теряет свою энергию, а облучаемое вещество поглощает ее. Степень воздействия ионизирующего излучения на вещество характеризуется количеством поглощенной энергии.

**Поглощенная доза ионизирующего излучения** равна отношению средней энергии  $dE$ , переданной ионизирующим излучением веществу в элементарном объеме, к массе  $dm$  вещества в этом объеме:

$$D = dE/dm \quad (7)$$

### Единицы измерения радиоактивности

Для сравнительной оценки радиоактивности веществ применяются два вида единиц: единицы активности, или содержания в материале радиоактивных элементов, и единицы дозы излучения, определяющие меру воздействия радиоактивных излучений на вещество.

Единицей активности в Международной системе единиц СИ является беккерель (Бк). Один беккерель равен активности радионуклида в источнике, в котором происходит один распад в секунду. Часто используется внесистемная единица измерения активности – кюри (Ки). Под *единицей кюри* понимается количество любого радиоактивного изотопа, в котором в 1 с происходит в среднем  $3,7 \cdot 10^{10}$  распадов, приблизительно столько, сколько и в 1 г радия.

Соотношения между беккерелем и кюри:

$$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}; \quad 1 \text{ Бк} = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ Ки}.$$

Масса радиоактивных элементов, соответствующая активности 1 Ки, возрастает с увеличением периода полураспада. Если для полония ( $T_{1/2} = 138$  дней) эта масса равна 0,22 мг, для радия ( $T_{1/2} = 1590$  лет) – 1 г, то для урана ( $T_{1/2} = 4,49 \cdot 10^9$  лет) она равна 3 т.

Единицей концентрации радиоактивного изотопа в веществе является Бк/кг, а также Ки/кг и ее производные (Ки/г и т. п.). Концентрация радона и других газообразных радиоэлементов выражается в единицах – Ки/л и в эманах (1 эман =  $1 \cdot 10^{-10}$  Ки/л).

Единицы дозы излучения позволяют проводить количественную оценку воздействия радиоактивных излучений на облучаемую среду. Поглощенная доза определяется как энергия излучения любого вида, поглощенная единицей массы любого вещества, измеряется в джоулях на килограмм (Дж/кг) и имеет специальное название – грей (Гр или Gy). Один грей равен одному джоулю поглощенному в ки-

лограмме вещества. Специальная внесистемная единица поглощения дозы – рад:  $1 \text{ рад} = 100 \text{ эрг/г} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ Дж/кг} = 0,01 \text{ Гр}$ .

Доза, образуемая излучением в единицу времени, называется **мощностью дозы** и определяется как приращение поглощенной дозы  $dD$  за малый промежуток времени  $dt$ , деленное на этот промежуток:

$$P = dD/dt. \quad (9)$$

Мощность поглощенной дозы измеряется в единицах грей в секунду (Гр/с). Единицей дозы излучения является рентген (Р). Один рентген соответствует поглощению такого количества рентгеновского или гамма излучения, которое в  $1 \text{ см}^3$  сухого воздуха при температуре  $0^\circ \text{C}$  и давлении 760 мм рт. ст. образует ионы, несущие одну электростатическую единицу количества электричества каждого знака ( $2,083 \cdot 10^9$  пар ионов). Энергетический эквивалент рентгена:  $1 \text{ Р} = 88 \text{ эрг}$  или  $5,5 \cdot 10^7 \text{ МэВ}$  поглощенной энергии в 1 г воздуха.

Доза, образуемая излучением в единицу времени, называется мощностью дозы и выражается в рентгенах в час (Р/ч).

### **Естественная радиоактивность горных пород**

В земной коре содержится большое количество естественных радиоактивных веществ, т. е. веществ способных самопроизвольно распадаться, излучая при этом энергию. Энергия распада отдается внешней среде посредством  $\alpha$ - и  $\beta$ -частиц, а также  $\gamma$ -квантов. Основные радиоактивные вещества, встречающиеся в окружающей среде, – это калий-40, рубидий-87 и члены двух радиоактивных семейств, берущих начало от урана-238 и тория-232. Уран и торий имеют возраст, равный возрасту Земли, и рассеяны в почве, содержатся в горных породах, морской воде и т. д.

Известно более 230 радиоактивных изотопов различных элементов, называемых радиоактивными нуклидами или радионуклидами. Радиоактивность тяжелых элементов с порядковым номером в таблице Менделеева, большим 82, сводится к последовательным превращениям одних элементов в другие и заканчивается образованием устойчивых нерадиоактивных изотопов. Конечным продуктом превращений урана является нерадиоактивный, так называемый радиогенный, свинец.



В настоящее время известно более 50 естественных радиоактивных элементов. К ним относятся тяжелые элементы, входящие в состав радиоактивных семейств, и более легкие радиоактивные элементы, распад которых ограничивается одним звеном превращений. Радиоактивный ряд (радиоактивное семейство) это последовательность радионуклидов, каждый из которых образуется посредством радиоактивного распада предыдущего. В число радиоактивных семейств входят элементы семейств урана  $U^{238}$ , актиноурана  $U^{236}$  и тория  $Th^{232}$ . Распад этих семейств имеет много общего. Представители ряда актиноурана  $U^{236}$  в природе встречаются в малых количествах и поэтому далее не рассматриваются. Схемы радиоактивных превращений семейств урана и тория представлены на рис. 1 и рис. 2.

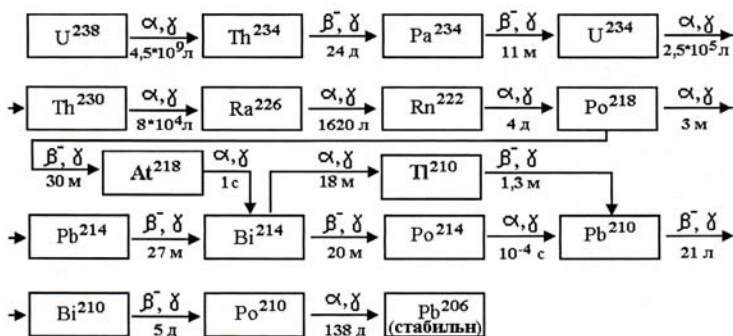


Рис. 1. Схема радиоактивных превращений семейства урана

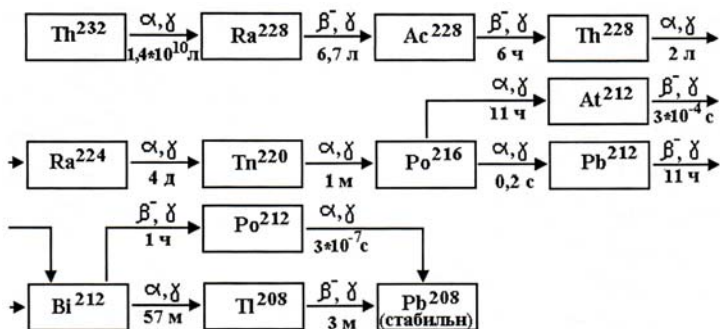


Рис. 2. Схема радиоактивных превращений семейства тория

На этих рисунках стрелками указана последовательность распада. Над стрелками приведены типы излучений, сопровождающие распад, под стрелками – периоды полураспада в следующих единицах: л – годы (лет), д – дни, ч – часы, м – минуты, с – секунды.

Родоначалники семейств характеризуются самыми большими массовыми числами и относятся к наиболее долгоживущим. Во всех случаях в результате распада образуются все более легкие элементы. В первой половине цепи превращений каждого семейства распад сопровождается преимущественно испусканием  $\alpha$ -частиц, во второй половине преобладает  $\beta$ -распад. В середине цепи превращений каждого семейства имеются радиоактивные газы эманации (в ряду урана это радон  $Rn^{220}$ , в ряду тория – торон  $Tn^{220}$ ), относящиеся к группе инертных. За эманациями следуют группы короткоживущих элементов, часть атомов которых распадается с испусканием  $\alpha$ -частиц, а другая часть –  $\beta$ -частиц. Эти элементы образуют разветвления рядов – «вилки». Необходимо отметить, что  $\alpha$ - и  $\beta$ -распады сопровождаются испусканием  $\gamma$ -квантов различных энергий. Конечным продуктом распада этих двух семейств являются стабильные изотопы свинца  $Pb^{206}$  и  $Pb^{208}$ .

По суммарной  $\alpha$ -активности семейства урана и тория примерно одинаковы, энергетические спектры  $\alpha$ -частиц, испускаемых каждым семейством в целом, друг от друга существенно не отличаются, энергия  $\alpha$ -частиц находится в интервале 2–8 МэВ. По суммарной интенсивности  $\beta$ -излучения семейства урана и тория также существенно не различаются.

Основными  $\gamma$ -излучателями в семействе урана являются продукты распада радия ( $Ra^{226}$ ) и радона ( $Rn^{222}$ ). Важной особенностью этого семейства является то, что на долю продуктов распада урана, расположенных в цепи превращения до радия, приходится всего лишь около 2 % от общего  $\gamma$ -излучения ряда. Вследствие этого при нарушении в горных породах радиоактивного равновесия между ураном и радием, приводящего к недостатку радия,  $\gamma$ -активность горных пород резко снижается, и, наоборот, породы, обогащенные солями радия или радоном, даже при отсутствии в них урана являются  $\gamma$ -активными. В семействе тория основные  $\gamma$ -излучатели распределены относительно равномерно.

Кроме радиоактивных семейств имеются одиночные радионуклиды, в которых радиоактивный распад ограничивается одним актом превращений. Среди них наиболее распространен калий-40. В целом в земной коре повышены концентрации следующих трех радиоактивных элементов: урана-238, тория-232 и калия-40. Поэтому в радиометрии изучают только эти элементы. Они находятся в горных породах в рассеянном состоянии в виде изоморфных примесей и самостоятельных минералов.

Изотоп калия-40 ( $K^{40}$ ) представляет большой интерес, так как распространенность  $Ca^{40}$  в природе огромно – этот элемент входит в состав породообразующих минералов (кальцит, доломит и др.). Физико-химические свойства калия резко отличны от свойств других радиоактивных элементов. Калий распространен в природе в больших количествах. Он относится к группе щелочных металлов. Химически калий более активен, чем натрий и образует соли со всеми известными кислотами. Из наиболее распространенных калийсодержащих минералов, обусловивших повышенную радиоактивность горных пород, следует отметить сильвин ( $KCl$ ), карналлит ( $KCl MgCl \cdot 6H_2O$ ), калиевую селитру ( $KNO_3$ ), микролин ( $KAlSiO_8$ ), ортоклаз ( $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$ ), биотит, мусковит, нефелин, глауконит и др.

В глинистых минералах значительная часть калия присутствует не в виде свободного иона, а заключена в решетку минералов. Остальная часть калия захвачена в ионной форме поглощающим комплексом глин и прочно связана в них адсорбционными силами. Наиболее сильно фиксация калия выражена у гидрослюд. Большое количество калия содержится в осадочных породах, в которых могут находиться и другие радиоактивные элементы. Среди осадочных пород имеются неактивные хемогенные отложения (ангидрит, гипс, галит) и слабоактивные неглинистые пески, песчаники, известняки, доломиты, но есть и высокоактивные глины, глинистые сланцы, битуминозные сланцы и фосфориты по концентрации радиоактивных элементов близкие к гранитам. Однако в среднем осадочные породы менее радиоактивны, чем кислые и средние магматические породы. В суммарной радиоактивности песчаников, глин и хемогенных пород большую роль играют торий и калий. Для известняков и доломитов характерно резкое повышение содержания урана по сравнению с содержанием тория и калия.

Радиоактивность почв определяется радиоактивностью горных пород и условиями почвообразования. Максимальной радиоактивностью характеризуются почвы, развитые на кислых магматических породах и глинах, но в среднем она ниже радиоактивности осадочных горных пород.

Первые урановые и урано-ториевые минералы образуются на этапе кристаллизации магмы, в которой в рассеянном состоянии первоначально представлены все природные элементы. Эти минералы находятся в земной коре в состоянии рассеяния, поэтому они считаются более редкими элементами, чем например свинец или олово, для которых более характерно состояние концентрации, чем рассеяния.

Особенностью распределения урана, радия, тория и других радиоактивных элементов является неравномерность их содержания в однотипных породах, особенно в магматогенных. Среди генетически различных типов пород наибольшей радиоактивностью характеризуются кислые магматические изверженные породы (граниты), представляющие собой продукт кристаллизации магмы. С уменьшением содержания оксида кремния в изверженных породах, т. е. с увеличением их основности, содержание радиоактивных элементов сокращается. Чаще всего изверженные породы розовых и красных тонов оказываются более радиоактивными, чем серые и темно-серые. При разрушении продуктов магматической кристаллизации (граниты, сиениты и др.), в которых уран связан с химически стойкими минералами (монацит, самарскит, циркон и др.) начинает протекать процесс растворения первичных урановых минералов, но значительная часть урана остается здесь нерастворенной и рассеивается в остаточных минералах коры выветривания, в россыпях. В процессах последующего переотложения этих пород содержание первичных минералов урана непрерывно уменьшается.

Весьма важную роль в выпадении из растворов и в концентрации урана играют процессы адсорбции и соосаждения, особенно интенсивно протекающие на глинистых и органических коллоидах, осадках гидрата железа, алюминия, марганца, кремния. Среди других веществ с повышенным содержанием урана обычно отмечают также фосфатные минералы, в которые он входит, изоморфно замещая кальций. Основными концентраторами тория являются остаточные минералы, сосредоточенные в зоне коры выветривания или

в обломочных породах. Для урана и радия такими концентраторами являются глинистые минералы, некоторые органические соединения и фосфатные минералы.

К породобразующим минералам с низкой радиоактивностью относятся такие минералы как кварц, доломит, кальцит, ангидрит, каменная соль и др. Средней радиоактивностью обладают некоторые полевые шпаты, а также железосодержащие минералы – лимонит, магнетит. В группу минералов с повышенной радиоактивностью входят глинистые минералы, слюды, большая часть полевошпатовых минералов, калийные соли, апатит и сфен.

Распределение радиоактивных элементов определяется физико-химическими условиями, существовавшими в период образования горных пород.

### **Действие радиации на вещество**

Радиоактивные излучения могут инициировать различные химические реакции; поглощение этого излучения живыми тканями может привести к необратимым изменениям.

Воздействие излучения на металлы изменяет многие физические свойства – ускоряет наступление фазовых переходов, увеличивает модуль упругости, предел текучести (нейтронное излучение). Вызванные облучением изменения механических свойств устойчивы и отжигаются лишь при температурах рекристаллизации.

Воздействие излучения на неметаллы (соли, кварц и т. п.) изменяет их кристаллическую структуру, приводит к уменьшению плотности (кварц – на 4 %), изменению модуля упругости, твердости и т. п.

При воздействии излучения на диэлектрики изменяется их электропроводность, величина и знак этого изменения зависит от дозы облучения. Сильно изменяются коэффициенты преломления, оптическая прозрачность, диэлектрическая проницаемость.

В полимерах облучение вызывает ряд радиационно-химических реакций – образование химических связей между молекулами (сшивание), деструкция молекул, образование или разрыв двойных связей, выделение газообразных продуктов. В результате изменяются электрические и механические свойства; направление этих изменений зависит как от строения полимера, так и от состава и дозы облучения.

При облучении биологической ткани в сложных молекулах, из которых состоят клетки биологических веществ, происходит разрыв химических связей. Масса биологической ткани на 60–70 % состоит из молекул воды, которые под действием радиации разлагаются на так называемые свободные радикалы водорода и гидроксильные группы, а также перекиси и гидроперекиси водорода. Получающиеся в процессе радиолитического разложения воды свободные радикалы, обладая высокой химической активностью, вступают в реакцию с молекулами белка, ферментов и других структурных элементов биологической ткани, что приводит к изменению биохимических процессов в организме. В результате нарушаются обменные процессы, подавляется активность ферментных систем, возникают новые химические соединения, не свойственные организму, – токсины. Это приводит к нарушению жизнедеятельности как отдельных систем, так и организма в целом. Образовавшиеся свободные радикалы вовлекают в химические реакции тысячи молекул не затронутых излучением. В результате производимый эффект облучения не зависит фактически от количества энергии, поглощенной в облучаемом объекте.

Из естественных радионуклидов, содержащихся в земной коре, наибольшей радиоактивностью обладает калий-40. Его активность в 1 т земной коры в 3,8 раза выше активности рут依дия и почти в 40 раз выше активности тория. В среднем человек получает около 10 % внутреннего облучения за счет калия-40, который усваивается вместе с нерадиоактивными изотопами калия, необходимыми для жизнедеятельности организма.

Большой вклад в дозу внутреннего облучения человека вносит продукт распада урана – газ радон.

В живом организме восстановление повреждений от радиации никогда не бывает полным, со временем происходит накопление необратимых повреждений. Они могут вызвать сокращение продолжительности жизни, возникновение злокачественных новообразований. Эксперименты позволяют предполагать, что 80 % повреждений от облучения являются обратимыми, а 20 % относятся к стойким дефектам, снижающим жизнеспособность организма.

Для обеспечения радиационной безопасности при воздействии радионуклидов необходимо проведение контроля строительных материалов на содержание в них радиоактивных изотопов.

В Республике Беларусь приняты законодательно-правовые и нормативные документы, обеспечивающие радиационную безопасность населения. Основным документом является Закон Республики Беларусь «О радиационной безопасности населения», утвержденный Указом Президента Республики Беларусь от 05.01.1998 г. № 122-3. Требования по радиационной безопасности населения от воздействия материалов и изделий, применяемых в строительстве, изложены в ГОСТ 30108–94.

В соответствии с требованиями нормативных документов разработаны классы строительных материалов и критерии их использования:

– материалы, которые относятся к I классу, – это материалы с удельной эффективной активностью естественных радионуклидов ( $A_{эфф}$ ) до 370 Бк/кг; можно использовать для всех видов строительства;

– материалы, которые относятся ко II классу это материалы с удельной эффективной активностью естественных радионуклидов ( $A_{эфф}$ ) от 370 Бк/кг до 740 Бк/кг; можно применять в дорожном строительстве в пределах населенных пунктов и зон перспективной застройки, строительства производственных сооружений;

– материалы, которые относятся к III классу, это материалы с удельной эффективной активностью естественных радионуклидов ( $A_{эфф}$ ) от 740 Бк/кг до 1350 Бк/кг; можно применять в дорожном строительстве вне населенных пунктов;

– материалы, которые относятся к IV классу, это материалы с удельной эффективной активностью естественных радионуклидов ( $A_{эфф}$ ) от 1350 Бк/кг до 4000 Бк/кг; можно применять по согласованию с республиканским органом санитарно-эпидемиологической службы Министерства здравоохранения Республики Беларусь;

– материалы с удельной эффективной активностью естественных радионуклидов ( $A_{эфф}$ ) свыше 4000 Бк/кг не должны использоваться в строительстве.

## Радиометры

Для обнаружения и измерения интенсивности ядерных излучений применяются приборы, называемые радиометрами.

**Радиометры** – это приборы, предназначенные для измерения удельной и объемной активности  $\gamma$ -излучающих радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  в воде, продуктах питания, кормах, почве,

строительных материалах, промышленном сырье и других объектах окружающей среды. Радиометры состоят: из индикаторов (детекторов) излучения, блока регистрации излучения, а также источников, фильтров и других специальных устройств. Детектор ионизирующих излучений – это устройство, преобразующее энергию излучения в другие виды энергии, удобные для регистрации, чаще всего в электрическую энергию. По принципу действия, т. е. по эффекту, используемому для преобразования энергии излучения детекторы подразделяются на *ионизационные* и *сцинтилляционные*. Работа ионизационных детекторов основана на ионизирующей способности излучения, сцинтилляционных – на преобразовании фотоэлектрическим множителем световых вспышек (сцинтилляций), возникающих в люминофорах от воздействия излучения, в электрические сигналы. По возможности регистрировать энергетическое распределение излучения детекторы подразделяются на интегральные и спектрометрические. Для спектрометрических детекторов характерна прямо пропорциональная зависимость выходного сигнала от энергии регистрируемого излучения. Спектрометрические детекторы подразделяются на сцинтилляционные, полупроводниковые, пропорциональные.

Регистрация  $\gamma$ -квантов в сцинтилляционном счетчике происходит благодаря вторичным электронам и позитронам, образующимся при поглощении  $\gamma$ -квантов люминофорами. *Люминофоры* это вещества обладающие хорошей оптической прозрачностью, что обеспечивает сбор света на фотокатод фотоэлектронного умножителя (ФЭУ). Конструктивно сцинтилляционный детектор состоит из двух частей: «кристалл» куда помещается люминофор и фотоэлектронный умножитель. Назначение люминофора – преобразование энергии частицы (кванта) в энергию фотона света. Назначение ФЭУ – преобразование энергии фотона в электрический импульс.

Радиометр РКГ-АТ1320 состоит из блока детектирования и блока обработки информации (рис. 3).

Блок детектирования содержит сцинтилляционный детектор NaI(Tl) и электронную часть, состоящую из светодиода, фотоумножителя (ФЭУ), усилителя, блока питания (БП) и аналого-цифрового преобразователя (АЦП).



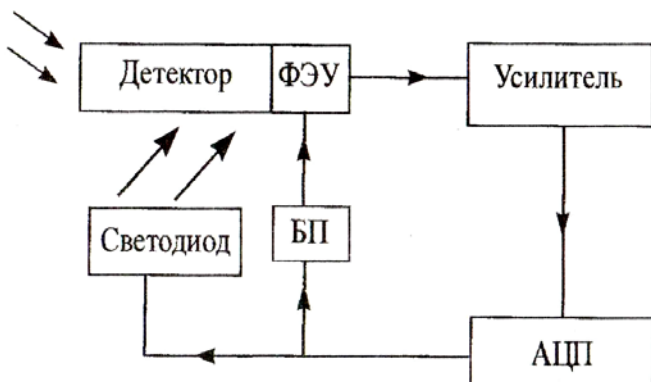


Рис. 3.Схема блока детектирования

Принцип действия радиометра основан на использовании сцинтилляционного эффекта, при котором световые вспышки, возникающие в кристалле-сцинтилляторе NaI(Tl), при попадании в него гамма квантов, регистрируются фотодетектором. Световые вспышки, возникающие в сцинтилляторе, через светодиод попадают на фотокатод фотоэлектронного умножителя и преобразуются в электрические импульсы, которые после усиления поступают в устройство селекции. Устройство селекции производит сортировку импульсов по их амплитудам (пропорционально энергии регистрируемых  $\gamma$ -квантов).

На рис. 4 представлен общий вид блока обработки информации радиометра РКГ-АТ1320.

Устройство обработки информации управляет работой устройства селекции и вычисляет количественные характеристики ионизирующего излучения. Устройство индикации и управления задает режим работы  $\gamma$ -радиометра и индуцирует на табло результат измерений. Режим работы задается с помощью кнопок, расположенных на лицевой панели прибора (рис. 4). Исследуемый образец (проба) размещается в кювете, в качестве которой используется сосуд Маринелли объемом 1,0 л. Кювета с пробой устанавливается вовнутрь свинцового защитного экрана, уменьшающего влияние внешнего фонового излучения. Сверху экран закрывается свинцовой защитной крышкой. Программно выбирается состав радионуклидов, эффективную активность которых необходимо измерять.

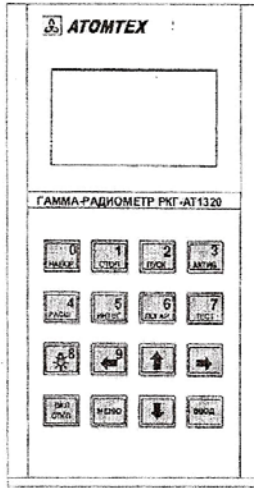


Рис. 4. Внешний вид блока обработки информации радиометра РКГ-АТ1320

### Порядок выполнения работы

1. Перед началом работы подключите сетевой кабель радиометра РКГ-АТ1320 к сети питания.
2. На экране блока обработки информации нажмите кнопку «ВКЛ». На экране на несколько секунд появится надпись «АТОМТЕХ», а затем сообщение:

<b>Прогрев прибора</b>	
<b>Установите контрольн. пробу</b>	
<b>Меню</b>	<b>Прервать</b>

3. Прогрев радиометра производится в течение 10 мин. В процессе прогрева установите контрольную пробу в радиометр и закройте блок защиты.
4. После того как на экране появится сообщение «Проверка завершена», извлеките контрольную пробу из радиометра.
5. Выполните измерения активности следующих проб строительных материалов: гранита, мрамора, известняка, гравия, щебня, цемента, кирпича, песка, сухих растворных смесей. Пробы каменных материалов получают путем измельчения этих материалов. До-

пускается использование материала, полученного при определении предела прочности при сжатии, растяжении или изгибе изделий. Пробы высушивают до постоянной массы, затем ими заполняют специальные контейнеры.

6. Поместите сосуд с пробой исследуемого материала в блок защиты радиометра и закройте блок. Нажмите кнопку «Меню», автоматически вы попадаете в режим «Отображение спектра». На экране вы будете видеть изображение спектра.

7. Нажмите клавишу «Набор» и введите значения параметров:

- продолжительность измерения – 900 с (15 мин);
- масса пробы в граммах – (указана на сосуде);
- геометрия измерения – сосуд Маринелли, 1 л.

После ввода параметров нажмите кнопку «Ввод».

8. По окончании процесса измерений, который длится 15 мин, определите удельную активность естественных радионуклидов в пробе исследуемого материала. Для этого на клавиатуре нажмите «Меню».

9. В режиме «Обр» при помощи клавиши «→» выберите функцию «Активн». Нажмите «Ввод». На экране появится сообщение:

<b>Выбор нуклидов</b>	
<b>Маринелли, 1 л</b>	
<b>Состав нуклидов</b>	
<b>Cs+K</b>	
<b>Ввод</b>	<b>Активность</b>

10. Для определения в пробе четырех нуклидов ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $\text{Ra}^{226}$ ,  $\text{Th}^{232}$ ,  $\text{K}^{40}$ ) нажимайте клавишу «→» и выберите опцию EPH + Cs. Затем нажмите «Ввод». На экране появятся результаты измерений удельной активности пробы исследуемого материала в виде:

Нуклид	Бк/кг	%
<b>Cs-137</b>		
<b>K-40</b>		
<b>Ra-226</b>		
<b>Th-239</b>		

11. Полученные данные занесите в рабочую тетрадь в таблицу и нажмите клавишу «Набор».

Наименование пробы	Удельная активность, Бк/кг	Погрешности измерений удельной активности, %	Удельная эффективная активность, Бк/кг
Гранит			
Мрамор			
Кирпич керамический			
Сухая растворная смесь			
Заполнитель			

Откройте блок защиты радиометра, достаньте пробу исследуемого материала и поместите туда следующую по таблице пробу. Закройте блок.

12. Введите значения параметров для следующей пробы. Для этого клавишей «→» очистите данные для предыдущей пробы.

13. Повторите пп. 7–12 для всех проб, указанных в таблицу.

14. Вычислите удельную эффективную активность  $A_{эфф}$  природных радионуклидов в строительных материалах по формуле

$$A_{эфф} = A_{Ra} + 1,31A_{Th} + 0,065A_K + 0,22A_{Cs},$$

где  $A_{Ra}$ ,  $A_{Th}$ ,  $A_K$ ,  $A_{Cs}$  – удельные активности  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$  соответственно.

15. Проведите сравнительный анализ полученных данных для  $A_{эфф}$  с нормами радиационной безопасности (НРБ–2000). Сделайте вывод о возможности использования строительных материалов.

16. Кнопка «ВКЛ» служит для включения и выключения радиометра. Для выключения радиометра **три раза нажмите** кнопку «ВКЛ». После появления на экране дисплея сообщения «Выключить прибор?» еще раз нажмите кнопку «ВКЛ». Достаньте вилку прибора из сети питания.

### Контрольные вопросы

1. Что такое ионизирующее излучение, основные типы этого излучения?
2. Сформулируйте закон радиоактивного распада.
3. Дайте определение постоянной радиоактивного распада, периода полураспада, активности радионуклида.
4. Что называется активностью радионуклида, удельной эффективной активностью радионуклида и в каких единицах они измеряются?
5. Расскажите о радиоактивных семействах урана-238 и тория-232, об особенностях их радиоактивных превращений. Назовите основные гамма-излучения в этих рядах.
6. В каких горных породах находится повышенное содержание изотопа калия-40?
7. Почему по гамма-активности 1 г  $\text{Ra}^{226}$  эквивалентны примерно 3 тоннам  $\text{U}^{238}$  ?  
Чему будет равна активность источника, содержащего 10 мг  $\text{Co}^{60}$  ( $T_{1/2} = 5,25$  лет)?
8. Перечислите основные характеристики детекторов излучения.
9. Перечислите типы детекторов.
10. Перечислите составные части радиометров и расскажите об их назначении.
11. Из каких компонент состоит сцинтилляционный детектор (СД)?
12. Какие природные радионуклиды присутствуют в строительных материалах?
13. Какие радионуклиды обычно измеряются в образцах строительного материала?
14. Критерии использования строительных материалов в зависимости от значения удельной эффективной активности естественных радионуклидов?

## Литература

1. Савельев, И. В. Курс общей физики : в 3 т. / И. В. Савельев. – М. : Наука, 1986. – Т. 3.
2. Кужир, П. Г. Прикладная ядерная физика / П. Г. Кужир. Минск : УП «Технопринт», 2003.
3. Нормы радиационной безопасности (НРБ–2000). – Минск, 2000.
4. Божин, Ю. М. Радиация вокруг нас / Ю. М. Божин. – Десногорск. 2011.
5. Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов : ГОСТ 30108–94.
6. Ибрагимов, Ш. З. Ядерная геофизика / Ш. З. Ибрагимов. – Казань : Казанский государственный университет, 2008.

Учебное издание

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ  
ЭФФЕКТИВНОЙ АКТИВНОСТИ  
ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ  
В СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛАХ**

Методические указания  
к лабораторной работе по дисциплине  
«Строительное материаловедение»  
для студентов строительных специальностей

Составитель  
**КРАСУЛИНА** Людмила Владимировна

Редактор *Т. А. Зезюльчик*  
Компьютерная верстка *А. Г. Занкевич*

Подписано в печать 18.06.2014. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 1,28. Уч.-изд. л. 1,00. Тираж 150. Заказ 1032.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя  
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.