

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЕФЕКТОСКОПА НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ ДЛЯ РЕШЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧ ПРИ КОНТРОЛЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В. И. ГОРБУНОВ, В. Б. ЕЛАГИН, Г. Ш. ПЕКАРСКИЙ

Широкое внедрение железобетона в строительной промышленности, изготовление сложных ответственных конструкций из железобетона требует внедрения контроля качества изделий и, в первую очередь, неразрушающих методов.

При контроле железобетонных конструкций в основном рассматривается две задачи:

1. Контроль арматуры и металлических закладных элементов (наличие, крепление в узлах, расположение, отсутствие разрывов и т. д.).

2. Контроль качества бетона (наличие пустот и трещин, обнаружение инородных включений, распределение плотности и т. д.).

Первая задача с успехом решается с применением гамма-излучения изотопных источников и тормозного излучения рентгеновских установок и ускорителей [1, 2, 3]. В зависимости от толщины и плотности бетона производится выбор энергии рентгеновского и гамма-излучения.

Так, при толщинах бетона до 15 см наиболее целесообразно применять рентгеновскую установку на 100 кв с током до 5 ма. С помощью рентгеновской установки на 300 кв (ток до 10 ма) контролируют изделия из бетона до 30 см. При контроле толщин бетона до 60 см применяются гамма-источники C_{3137} и $Co-60$ [1]. Дальнейшее увеличение толщины бетонных конструкций делает применение изотопных источников нецелесообразным вследствие резкого снижения производительности метода и увеличения необходимой для контроля активности гамма-источника.

Так, время экспозиций при просвечивании бетонной плиты толщиной 40 см источником $Co-60$ активностью 1 кюри составляет более 30 часов [1].

Применение для контроля тормозного излучения бетатрона позволило значительно увеличить контролируемые толщины и значительно увеличить производительность [4]. На просвечивание железобетонной конструкции толщиной 50 см с помощью бетатрона ПМБ-6 затрачивается 25—30 мин. Получено четкое изображение стержней арматуры диаметром 6—7 мм, расположенных на глубине до 20 см.

Высокая чувствительность к выявлению дефектов в металлических составляющих железобетонных конструкций достигается благодаря большому различию коэффициентов ослабления гамма-излучения в железе и бетоне. Различие в коэффициентах ослабления γ -излучения бетоном и железом будет определять разницу интенсивности излучения,

прошедшего через железобетонную конструкцию при просвечивании пучком участка конструкции с арматурой I_1 и без арматуры I_2

$$\frac{I_1}{I_2} = e^{(\mu_{\text{бет}} - \mu_{\text{ст}}) \cdot x},$$

где

$\mu_{\text{ст}}$, $\mu_{\text{бет}}$ — коэффициенты ослабления излучения в стали и бетоне соответственно,

x — толщина стали в железобетонной конструкции.

Линейные коэффициенты ослабления гамма-излучения в бетоне и железе представлены в табл. 1.

Таблица 1

Линейные коэффициенты ослабления гамма-излучения изотопных источников Co^{60} Cs^{137} в железе и бетоне [1, 5]

Источник излучения	Плотность бетона, кг/см ³	Коэффициент ослабления для бетона, см ⁻¹	Коэффициент ослабления для железа, см ⁻¹
Co - 60	1500	0,078	0,42
	2500	0,13	
	3500	0,18	
	4500	0,23	
Cs - 137	1300	0,11	0,59
	2500	0,19	
	3500	0,27	
	4500	0,34	

Обеспечивая высокую чувствительность при избирательном контроле арматуры в железобетоне, γ -метод вместе с тем не позволяет решить ряд задач контроля качества самого бетона в железобетонных конструкциях, как, например, определение воздушных полостей в процессе изготовления конструкций. Воздушные полости возникают в конструкциях в основном в узлах соединения арматуры и значительно уменьшают прочность конструкций. Ослабление гамма-излучения арматурой компенсирует увеличение потока прошедшего излучения за счет воздушной полости. Например, слой железа толщиной 2,15 см ослабит интенсивность излучения изотопа $\text{Co}^{60} = 60$ в 1,5 раза. Такой слой полностью компенсирует увеличение интенсивности излучения за счет полости в бетоне (полость 2300 кг/см³) с линейными размерами по лучу 8,6 см [6]. Для излучения с меньшей энергией различие становится еще больше. Кроме того, просвечивание приходится проводить через металлическую форму. Это приводит к тому, что нужно выбирать источник гамма-излучения большей энергии и тем самым уменьшать чувствительность метода при обнаружении дефектов в бетоне.

Из анализа микроскопических сечений взаимодействия нейтронов с железом и составляющими бетона [7, 8] можно сделать предположение, что при контроле железобетонных конструкций с помощью нейтронов можно использовать ту область энергий нейтронов, в которой коэффициенты ослабления нейтронов для стали и бетона будут равными или, по крайней мере, близкими друг к другу. При этом отрицательное влияние металлической арматуры будет ослаблено, а чувствительность к обнаружению воздушных полостей будет достаточно велика.

Для подтверждения этих положений была снята зависимость эффективных коэффициентов ослабления для железа и бетона. Изменяя порог дискриминации, подбираем тем самым эффективную энергию регистрируемых нейтронов. Геометрия эксперимента приведена на рис. 1. Здесь 1 — источник быстрых нейтронов Po—Be; 2 — поглотитель; 3 — парафиновый коллиматор; 4 — детектор быстрых нейтронов.

Стальной поглотитель представляет из себя пластины размерами 500×500 мм. Бетонные образцы изготовлялись в виде блоков с размерами 300×300 мм. Для уменьшения влияния границ поглотитель дополнялся с блоков защитными бетонными блоками того же состава. Эффективные коэффициенты ослабления вычислялись, исходя из экспоненциального характера ослабления потока быстрых нейтронов в поглотителе. Результаты иллюстрированы рис. 2 [9]. Суммарная толщина поглотителя была доведена до 350 мм. При этом зависимость эффективного коэффициента ослабления от толщины поглотителя была незначительной. Результаты определения коэффициентов ослабления хорошо согла-

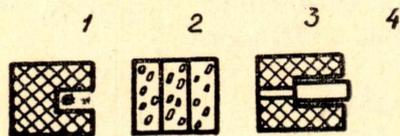


Рис. 1. Геометрия эксперимента

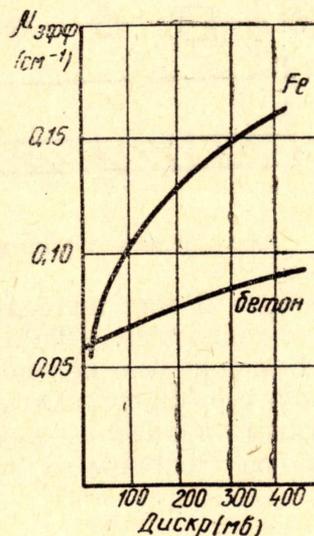


Рис. 2. Зависимость эффективных коэффициентов ослабления нейтронов в железе и бетоне

суются с данными работы [10], где исследовалось ослабление нейтронов в бетоне различных марок с помощью «всеговолнового» счетчика. Ошибка при измерении «всеговолновым» счетчиком оценивается в 2,5%. Из рис. 2 видно, что отношение эффективного коэффициента ослабления для стали $\mu_{эф.ст}$ к эффективному коэффициенту ослабления для бетона $\mu_{эф.бет}$ изменяется в широких пределах в зависимости от эффективной энергии регистрируемого излучения. При соотношении

$$\frac{\mu_{эф.ст}}{\mu_{эф.бет}} \approx 1$$

наличие арматуры в конструкции не влияет на выявляемость воздушных полостей. В результате проведения экспериментов были зарегистрированы дефекты в железобетонных плитах с размерами $15 \times 15 \times 15$ мм при суммарной толщине конструкции 300 мм. Отношение сигнал/шум при этом равнялось 3. Дефекты моделировались с помощью бетонной плиты, представленной на рис. 3.

Имитатор дефекта перемещался перпендикулярно оси источник-детектор со скоростью 0,5 м/мин. Ширина контролируемого участка составляла 30 мм. В эксперименте использовался Po—Be источник нейтронов с выходом 10^7 н/сек. При выборочном контроле конструкций в наиболее опасных точках можно уменьшить активность источника по крайней мере на порядок, увеличивая время измерения. Устанавли-

вая порог дискриминации, обеспечивающий большое отношение $\frac{\mu_{эф.ст}}{\mu_{эф.бет}}$, можно использовать дефектоскоп для инспекционного контроля закладных и арматуры в железобетонных конструкциях для поиска скрытых

металлических коммуникаций и т. д. Однако преимущество нейтронного дефектоскопа перед гамма будет проявляться, вероятно, только при больших толщинах, и целесообразность применения его для этих целей должна рассматриваться дополнительно.

Еще одна задача, где предпочтительно применение нейтронного дефектоскопа с непосредственной регистрацией прошедшего потока

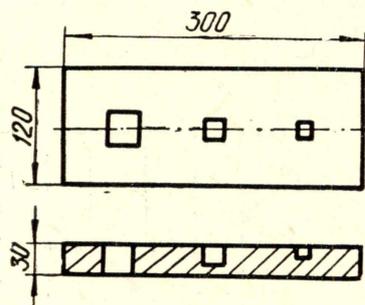


Рис. 3. Плита-дефектометр

быстрых нейтронов — определение влажности бетона и контроль влажности заполнителя в процессе изготовления бетона. Непрерывный контроль влажности заполнителя позволяет поддерживать необходимое отношение и правильно дозировать добавляемую воду. Метод определения влажности с помощью нейтронов оказался наиболее подходящим и точным для этих целей, позволяющим в короткий срок измерять влажность с точностью до 1%. Так, в лабораторных условиях с источником ^{60}Co активностью 100 мкюри

в течение 2 мин проводится измерение влажности в пределах от 3 до 22% с точностью $\pm 0,5\%$ [11].
Большинство бетонов, применяющихся для биологической защиты от ионизирующего излучения, содержат бор и другие элементы с резонансными захватами нейтронов, и использование быстрых нейтронов исключает влияние их при определении влажности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Э. Поль. Неразрушающие методы испытания бетона, Стройиздат, М., 1967.
2. В. А. Воробьев. Кандидатская диссертация. ТПИ, Томск, 1966.
3. Радиационная техника. Сб. трудов Всесоюзного научно-исследовательского института радиационной техники. Вып. 2, Атомиздат, М., 1968.
4. Л. М. Ананьев и др. «Промышленное строительство», № 11, стр. 44-45, 1957.
5. О. И. Лейпунский и др. Распространение гамма-квантов в веществе. ФМ, М., 1960.
6. Инструкция по работе с радиоактивными веществами и другими источниками излучения. Изд. АН СССР, М., 1969.
7. М. И. Шальнов. Тканевая доза нейтронов. Атомиздат, М., 1960.
8. И. В. Гордеев и др. Ядерно-физические константы. Справочник. Атомиздат, М., 1963.
9. В. И. Горбунов и др. Исследование ослабления быстрых нейтронов в железобетоне. Сб. трудов II конференции по радиационным методам контроля, Томск, (в печати).
10. В. И. Аваев и др. В сб.: Вопросы физики защиты реакторов. Атомиздат, М., 193, 1963.