

КРИТЕРИИ И МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТИПА И ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОННЫХ УСКОРИТЕЛЕЙ В ДЕФЕКТΟΣКОПИИ

П. С. МОРОЗ, А. В. ПОКРОВСКИЙ

(Представлена научным семинаром кафедры экономики)

В практике радиационной дефектоскопии в последнее время успешно применяют тормозное излучение таких электронных ускорителей, как бетатроны, микротроны, линейные ускорители с энергией до 42 Мэв. В результате стал доступен для контроля диапазон толщин до 500 мм по стали. Однако до настоящего времени не существует научно обоснованной методики определения областей их наиболее эффективного использования, а также экономической целесообразности применения.

Электронные ускорители, как правило, являются уникальными и дорогостоящими установками. Для каждого типа ускорителей их вес, габариты, стоимость значительно и по-разному меняются в зависимости от энергии и интенсивности пучка тормозного излучения. Например, стоимость бетатронов колеблется от нескольких десятков тысяч рублей (стоимость ПМБ-6, $E=6$ Мэв, $I=0,5$ р/мин на 1 м при мелкосерийном производстве в заводских условиях порядка 32 тыс. рублей) до нескольких сотен тысяч рублей (30—35 Мэв, 150 р/мин).

Несмотря на отличие для каждого типа ускорителей принципов, лежащих в основе ускорения электронов, характеристики пучка тормозного излучения вследствие одинакового способа его получения при одинаковых значениях энергии идентичны. Каждый тип ускорителя может быть спроектирован и создан в широком и перекрываемом диапазоне параметров пучка тормозного излучения — энергии и мощности экспозиционной дозы, следовательно, возникает задача выбора как параметров пучка излучения, так и типа ускорителей.

В работах [1, 2] рассмотрены вопросы эффективности, проведен анализ использования выпускаемых бетатронов с соответствующими параметрами пучка. В [3] проведена оценка заводской себестоимости одного снимка при использовании бетатрона с энергией 30 Мэв и мощности экспозиционной дозы 30 р/мин на 1 м на Уралмашзаводе. Однако анализ использования уже созданных источников тормозного излучения является задачей частной по сравнению с вопросом о выборе параметров пучка, типа ускорителей, метода неразрушающего контроля или совокупности методов. Основная трудность в этом вопросе состоит в разработке критериев объективной количественной оценки эффективности, которые могут быть установлены только при ясном понимании функций, выполняемых методами неразрушающего контроля в каждом конкретном случае, а также при системном подходе к решению вопроса, который

заключается в учете всех основных факторов, влияющих на эффективность.

Сведем многообразие целей и функций контроля к следующим основным видам:

1. Обнаружение дефектов на ранних стадиях технологической обработки и тем самым предотвращение непроизводительных затрат путем исправления брака или изъятия изделия из дальнейшей обработки.

2. Выявление дефектов в конце технологического процесса позволяет путем установления обратной связи совершенствовать технологический процесс, уменьшать брак, непроизводительные затраты, повышать качество выпускаемой продукции.

3. Выявление дефектов позволяет устранить их или отбраковать изделия, продукцию, что улучшает отдельные показатели качества продукции.

4. Сама возможность выявления дефектов, а следовательно, устранение их позволит еще на стадии проектирования и конструирования планировать методы контроля и этим экономить металл, создавать машины, изделия на более высоком техническом уровне.

Общим является то, что сами методы контроля не устраняют дефектность, а с их помощью только получают определенную информацию, использование которой и дает эффект. Следовательно, рекомендации по выбору параметров и типа электронных ускорителей не могут обосновываться без учета тех условий и целей, в которых и для которых они будут применяться.

Количественная оценка эффективности может быть получена посредством комплексного критерия, включающего как затраты на проведение контроля, так и целевую отдачу, получаемую при внедрении неразрушающего метода контроля [4]. Комплексный критерий запишется так:

$$K = \frac{Q}{Z} \rightarrow \max, \quad (1)$$

где

Q — целевая отдача мероприятий от внедрения неразрушающих методов контроля, руб;

Z — затраты, связанные с осуществлением контроля, руб.

Учитывая, что сами методы контроля не устраняют обнаруженные дефекты, а с их помощью только получают определенную информацию и поэтому необходимы дополнительные решения и затраты по использованию полученной информации, затраты Z складываются из затрат на контроль Z_k и затрат, связанных с использованием информации $Z_{\text{и}}$. Целевая отдача и затраты, не совпадающие во времени, должны приводиться к одному моменту времени.

Если и числитель, и знаменатель выражения (1) являются функцией одной или нескольких переменных, например, чувствительности, объема контроля и что, например, с повышением чувствительности затраты на контроль возрастают быстрее, чем целевая отдача, то существует оптимальный уровень чувствительности, при котором выражение (1) принимает максимальное значение.

Следовательно, выражение (1) позволяет определять оптимальный уровень чувствительности и находить тот метод или сочетание методов, которые обеспечивают этот оптимальный уровень, так и эффективность их (при $K < I + E_n$, где E_n — предельная норма эффективности, внедрение н. м. к. неэффективно).

Учитывая определенные трудности в определении целевой отдачи, а также то, что неразрушающие методы контроля во многих случаях ис-

пользуются из технических соображений, из-за обеспечения техники безопасности на данном этапе развития электронных ускорителей, представляется целесообразным исследовать затраты на контроль, что позволит выявить основные факторы и степень их влияния на уровень затрат. Это, во-первых, увеличит абсолютный эффект от внедрения методов контроля, во-вторых, расширит области их применения.

Согласно [5] критерием сравнительной эффективности является минимум приведенных затрат $Z = C + E_n K$, где C — себестоимость контроля, руб; K — единовременные капиталовложения, связанные с внедрением контроля, руб.

Исследование затрат целесообразно проводить методами математического моделирования, которые широко используются в подобных целях. Моделирование затрат в радиационной дефектоскопии при использовании ускорителей может быть разбито на несколько этапов.

Учитывая, что при радиографии определенная чувствительность может быть получена в широком диапазоне параметров пучка тормозного излучения при разном времени экспонирования, устанавливается связь производительности контроля с параметрами источника излучения, условиями контроля, видом продукции и т. п. С учетом многообразия видов продукции, встречающейся в промышленности, оценка производительности проводится для трех способов контроля: контроля протяженных участков типа сварных швов, контроля по площади, когда размеры снимков не ограничиваются, и контроля по снимкам или выборочному контролю.

Для каждого из способов контроля установлена функциональная зависимость производительности от параметров пучка тормозного излучения, толщины поглотителя, режима просвечивания — фокусного расстояния, вспомогательного времени и загрузки [6]. Проведенные расчеты на ЭВМ во всем диапазоне изменения параметров пучка позволяют давать рекомендации по выбору приемлемых сочетаний параметров пучка, фокусного расстояния в зависимости от условий контроля.

Следующим этапом является установление зависимости между первоначальной стоимостью ускорителя и параметрами пучка тормозного излучения. Для бетатронов эта зависимость установлена по весу основных материалов: меди, стали, мощности конденсаторных батарей [6].

Заканчивается моделирование установлением функции себестоимости контролируемой площади от производительности, стоимости источника, фотоматериалов, годовой программы контроля. В общем случае математическая модель представляет собой систему равенств.

$$\begin{aligned} Z &= f(C, K) \rightarrow \min \\ C &= f(W, K, C_{ф.м}, Z_{пл}), \\ W &= f(E, I_0, d, F, t, \text{тип изделий, тип пленки}), \\ K &= f(E, I_0, \text{тип ускорителя}) \\ 1 &\leq F \leq 4-5, \end{aligned} \quad (2)$$

где

$C_{ф.м}$ — стоимость фотоматериалов на единицу контролируемой площади, руб;

W — часовая производительность, $m^2/час$, $см/час$;

$Z_{пл}$ — часовая зарплата оператору, руб/час;

E, I_0 — соответственно, энергия и мощность экспозиционной дозы пучка тормозного излучения, $Мэв$, $p/час$ на $1 м$;

d — толщина поглотителя, $см$.

Все параметры, от которых зависят приведенные затраты, можно разделить на две основные группы. К первой группе относятся параметры, определяемые производственными условиями. Ко второй группе относятся искомые параметры, которые определяются в процессе исследования модели.

При полной реализации модели, т. е. при наличии стоимостных характеристик для каждого типа ускорителей, выбор типа ускорителя, его параметров, некоторых режимных факторов определяется в следующей последовательности.

Для конкретного предприятия, где ставится вопрос о внедрении радиационного метода контроля каких-то изделий, выявляются годовая программа, толщина, тип контролируемого изделия, геометрии просвечивания, требуемая чувствительность и др.

Разработанные алгоритмы и программы позволяют на ЭВМ типа М-20 для каждого типа ускорителей (микротронов, линейных ускорителей, бетатронов) для данных условий определять оптимальные параметры локальных оптимумов. Из сопоставления минимальных затрат локальных оптимумов определяется глобальный минимум затрат. Тип ускорителя, имеющий глобальный минимум, с соответствующими оптимальными параметрами будет наиболее эффективен в данных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Воробьев, В. И. Горбунов, В. А. Бердоносков, А. В. Покровский, Г. В. Титов. Дефектоскопия, 1969, 2, 137.
 2. И. А. Абрамович, В. А. Бердоносков, В. А. Воробьев, А. Н. Курочкин, А. В. Покровский, Б. В. Старостенко. Сварочное производство, 1970, 6, 33.
 3. Л. В. Князюк, А. Е. Бузынов, Г. К. Горпинченко. Дефектоскопия, 1968, 2, 75.
 4. А. В. Гличев. Стандарты и качество, 1966, 8.
 5. Типовая методика определения экономической эффективности капитальных вложений. «Экономия», 1969.
 6. В. И. Горбунов, А. В. Покровский, П. С. Мороз. Дефектоскопия, 1971, 3, 117.
-