

С. Н. ГЛОБА, канд. техн. наук, доцент, НТУ "ХПИ", Харьков;
Э. Б. ТИХОНА, магистр, НТУ "ХПИ", Харьков;
Н. Ф. ХОРЛО, директор АЦНК ЧАО ПТП "Укрэнергочермет", Харьков;
В. Ю. МЕЛАНЧУК, начальник лаборатории РНК АЦНК ЧАО ПТП
"Укрэнергочермет", Харьков

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ РАДИОГРАФИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

В работе описана технология проведения радиографического контроля. Приведены преимущества данного метода. Рассмотрены основные этапы по которым рекомендуется осуществлять контроль, чтобы сделать его наиболее эффективным. Проанализированы целесообразность выполнения стадий контроля.

У роботі описано технологію проведення радіографічного контролю. Наведено переваги даного методу. Розглянуто основні етапи за якими рекомендовано здійснювати контроль, щоб зробити його найбільш ефективним. Проаналізовано доцільність виконання стадій контролю.

The technique of radiographic control is described in the work. Advantages of this method are outlined. The main stages at which control is recommended to make it most effective. Feasibility of the implementation stages of control are analyzed.

Введение. Одним из наиболее объективных и информативных методов неразрушающего контроля является радиографический неразрушающий контроль (РНК), поэтому его роль в технической диагностике столь велика. На практике этот метод наиболее широко распространен в связи с его простотой и документным подтверждением получаемых результатов. Радиографию применяют для контроля сварных швов, стального проката, узлов и агрегатов повышенного риска: лопатки турбин и насосов, узлы деталей, трубопроводы АЭС, а так же для ответственных изделий в авиации, космической, оборонной промышленности [1].

Радиографический метод контроля качества материалов, деталей, узлов и изделий основан на преобразовании радиационного изображения объекта контроля (ОК) в радиографический снимок, представляющий собой распределение плотности почернения на рентгеновской пленке и фотопленке. Сущность радиографии заключается в просвечивании ОК ионизирующим излучением и последующим анализе формы, размеров и расположения внутренних дефектов (неоднородностей) по их теневому изображению, полученному в результате фотографического преобразования скрытого радиационного изображения в видимое [2]. На основании полученного результат можно принять решение о возможности

эксплуатации изделия. Правильно расшифрованные данные с радиограмм позволяют гарантировать надежность изделий; дают информацию для предотвращения несчастных случаев и сохранения жизни; приносят много пользы потребителям, не допуская попадания бракованных изделий в эксплуатацию.

Сфера применения радиографии очень широка, что делает её весьма универсальной. Радиографический контроль применим для органических и неорганических материалов, для твёрдых тел, жидкостей и даже газов. Контролируемые объекты могут иметь размеры от микроминиатюрных электронных деталей до гигантских частей космических кораблей; типы объектов чрезвычайно разнообразны: отливки, сварные соединения и конструкции, композиционные материалы и т.д.

Радиографический контроль применяют для выявления в материале изделий раковин, пор, шлаковых, окисных и других неметаллических включений, включений инородного металла, трещин, а также непроваров и несплавлений в сварных и паяных соединениях. Применяют для выявления в сварных швах прожогов, подрезов, оценки величины выпуклости и вогнутости корня шва, недоступных для внешнего осмотра.

Этот метод неразрушающего контроля является бесконтактным, что дает ему значительные преимущества. Исследуемые объекты должны иметь двусторонний доступ к контролируемому участку, обеспечивающий возможность установки кассеты с радиографической пленкой и источника излучения. Контролируемая толщина материала участка ОК должна быть не менее 1/5 от общей просвечиваемой толщины, иначе вся полезная информация об участке ОК поглощается толщиной ОК, которая не должна контролироваться.

Основная часть. Существуют правила, которые выполняются перед проведением рентгенографического контроля. В сложившихся экономических условиях, используя мировую практику работ по НК, до начала проведения рентгенографического контроля между исполнителем работ и заказчиком должны быть согласованы следующие пункты (не противоречащие требованиям нормативной документации):

- а) стадия производства, на которой производится контроль;
- б) объём контроля;
- в) участки ОК, которые необходимо проконтролировать;
- г) состояние поверхности ОК;
- д) класс контроля по ДСТУ EN 444 [3] или класс чувствительности по ГОСТ 7512-82 [4];
- е) маркировка участков ОК и маркировка снимков;
- ж) нормы оценки качества, если требуется – на каждый участок.

Перед проведением РНК необходимо провести тщательный визуальный осмотр контролируемого участка ОК и при наличии шлака, окалины, грязи и других загрязнений на поверхности его очищают. Также до проведения РНК при необходимости проводят НК поверхностными

методами (капиллярный, магнитопорошковый, вихретоковый контроль). Обнаруженные этими методами дефекты удаляют, так как их изображение на снимках может накладываться на изображение внутренних дефектов материала ОК.

ОК разбивают на участки контроля, которые маркируют для точной локализации каждого радиографического снимка, с тем чтобы после просвечивания можно было точно указать расположение выявленных внутренних дефектов. Эта маркировка должна сохраняться до принятия решения о пригодности или непригодности объекта к эксплуатации.

Если тип материала и (или) условия его эксплуатации не допускают нанесения устойчивой маркировки, то локализацию участков необходимо описывать при помощи точных эскизов.

Для максимальной эффективности процесса контроля и минимизации ошибок, до начала проведения работ необходимо составить технологическую карту на контроль ОК и/или на каждый участка ОК, если они отличаются по каким либо параметрам (геометрические размеры, требования качества, доступ к участку и т.д.).

Технологическая карта должна содержать следующие данные:

1. Параметры ОК (материал, геометрия, состояние поверхности, особенности изготовления и термообработки);
2. Условия контроля, нормы оценки качества;
3. Способ просвечивания, требования к качеству изображения (чувствительность или класс работ);
4. Схемы просвечивания, схема размещения пленок и зарядки кассет;
5. Система маркировки участков и снимков;
6. Параметры аппаратуры (тип, размер фокусного пятна, диаграмма направленности рабочего пучка ИИ);
7. Плёнка, экраны, фильтры и коллиматоры;
8. Параметры экспонирования (энергия ИИ, ток трубки, время, фокусное расстояние);
9. Тип (ручная/автоматическая) и параметры химико-фотографической обработки (тип реактивов, температура, время);
10. Любые отклонения от требований НД (по особому соглашению).

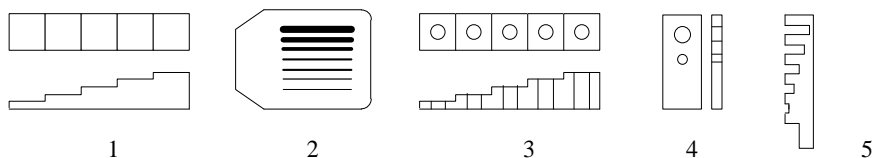
Маркировка радиографических снимков и выбор эталонов чувствительности

На каждый участок ОК, подвергаемый радиографическому контролю, необходимо прикрепить маркировочные знаки для однозначной идентификации участка. Изображение этих знаков должно просматриваться на снимках и, по возможности, быть за пределами зоны контроля.

Качество изображения каждого снимка необходимо подтвердить при помощи эталонов чувствительности. Эталоны чувствительности должны быть изготовлены из того же материала что и ОК или из материала близкого по поглощающей способности ионизирующего излучения к материалу ОК. Номер эталона (геометрические размеры) выбирают исходя из требуемой

чувствительности, тип – исходя из информативности его изображения на снимке, удобства использования.

Эталоны чувствительности следует устанавливать в центре контролируемого участка со стороны, обращенной к источнику излучения. При контроле сварных соединений, проволоочные эталоны (рис.1) следует устанавливать непосредственно на шов с направлением проволок поперек шва. Канавочные эталоны – на расстоянии не менее 5 мм от шва с направлением канавок поперек шва. Пластинчатые эталоны устанавливают вдоль шва на расстоянии не менее 5 мм от него или непосредственно на шов с направлением эталона поперек шва так, чтобы изображения маркировочных знаков эталона не накладывались на изображение шва на снимке. При контроле кольцевых швов трубопроводов с диаметром менее 100 мм допускается устанавливать канавочные эталоны на расстоянии не менее 5 мм от шва с направлением канавок вдоль шва. При невозможности установки эталонов со стороны источника излучения при контроле сварных соединений цилиндрических, сферических и других пустотелых изделий через две стенки с расшифровкой только прилегающего к пленке участка сварного соединения, а также при панорамном просвечивании допускается устанавливать эталоны чувствительности со стороны кассеты с пленкой. При контроле кольцевых сварных соединений цилиндрических, сферических пустотелых изделий большого диаметра изнутри за одну экспозицию допускается устанавливать один эталон чувствительности на каждую четверть окружности сварного шва.



1 – ступенчатого типа; 2 – проволоочного; 3 – ступенчато-дырчатого; 4 – пластинчатого; 5 – канавочного.

Рис. 1. Эталоны чувствительности для радиографического контроля

Выбор пленочной системы и усиливающих экранов

Выбор пленки в радиографии является очень важным, ведь от этого напрямую зависит качество полученной радиограммы. Для радиографического метода НК должны использоваться классы пленочных систем согласно ДСТУ EN 584-1-2001 [5].

Выбор пленочной системы, тип и толщина усиливающих экранов зависит от следующих факторов:

1. Типа используемого источника излучения (гамма или рентгеновского);

2. Энергии ионизирующего излучения в электрон-вольтах, генерируемой источником;
3. Материала ОК;
4. Требуемой чувствительности или класса работ.

Как рекомендацию к действию, можно использовать требования ДСТУ EN 444:2005 [3] или, для выбора толщин свинцовых усиливающих экранов, требования ГОСТ 7512-82 [4].

Таблица

Классы пленочных систем согласно ДСТУ EN 584-1-2001

Класс	Тип зернистости	Качество снимка	Тип чувствительности
C1; C2	Очень мелкозернистая	Очень высокая	Очень низкая
C3; C4	Мелкозернистая	Высокая	Низкая
C5	Средняя	Средняя	Средняя
C6	Крупнозернистая	Низкая	Высокая

Во время экспонирования необходимо обеспечить плотное прилегание усиливающих экранов к пленке, этого можно достичь используя пленки в вакуумной упаковке или их плотным прижатием.

Пленочные системы экранного типа класса С6 по классификации ДСТУ EN 584-1-2001 [5], используемые с флуоресцентными или металлофлуоресцентными экранами, рекомендуется использовать с целью уменьшения времени экспонирования, что приводит к снижению риска облучения персонала и уменьшению времени наработки оборудования, что особенно важно при использовании импульсных рентгеновских аппаратов. Следует иметь в виду, что использование пленочных систем класса С6 с соответствующими экранами приводит к довольно значительному ухудшению качества изображения.

Схемы просвечивания

Важнейшей составляющей проведения качественного радиографического контроля является правильный выбор схемы просвечивания. Схемы и направления излучения должны быть предусмотрены технической документацией на контроль. При выборе схемы и направления излучения необходимо придерживаться следующих правил:

1. Центральный луч пучка ИИ направлять в центр контролируемого участка ОК;
2. Угол между направлением излучения и нормалью к радиографической пленке в пределах контролируемого за одну экспозицию участка должен быть минимальным и в любом случае не превышать 45°;
3. Расстояние от контролируемого участка до радиографической пленки должно быть минимальным и в любом случае не превышать 150 мм.

4. Основные схемы просвечивания сварных соединений и основного металла приведены в ДСТУ EN 1435:2005 [6] и ДСТУ EN 12681:2005 [7], соответственно.

Выбор параметров РНК

В зависимости от геометрических размеров контролируемого изделия, его атомного номера и плотности производится выбор таких параметров как:

1. Энергия рентгеновского излучения (напряжение на трубке) или тип радиоактивного источника излучения;
2. Схема зарядки кассет (с усиливающими экранами или без них);
3. Толщина защитных свинцовых экранов (от рассеянного, обратного и/или бокового излучения);
4. Фокусное расстояние (расстояние от источника ИИ до обращенной к источнику поверхности ОК);
5. Материал и геометрические размеры диафрагм, коллиматоров, фильтров, компенсаторов при необходимости их использования.

Эти параметры должны быть подобраны таким образом, чтобы добиться требуемой чувствительности контроля, соответствующей оптической плотности и допустимого перепада оптических плотностей на одном радиографическом снимке, минимальной геометрической нерезкости изображения на снимке.

Энергетические параметры экспозиции (анодное напряжение, ток трубки, время просвечивания) выбирают по номограммам (рис. 2) для конкретного рентгеновского или гамма аппарата с учётом атомного номера, плотности материала ОК и просвечиваемой толщины. При этом для получения качественных снимков необходимо придерживаться требований по выбору максимально допустимой энергии ИИ, изложенных в таблицах ГОСТ 20426-82 [8] или графиках ДСТУ EN 444:2005 [3].

В случае если используемая номограмма рассчитана для материала, который не соответствует материалу ОК, можно использовать коэффициенты радиографической эквивалентности, приведенные в справочной литературе.

При отличии расстояния источник-пленка от приведенного на номограмме, для получения необходимой оптической плотности параметры экспозиции (ток трубки, время просвечивания) можно рассчитать по закону «обратных квадратов»:

$$\Phi_1 = \Phi_2 \frac{F_1^2}{F_2^2}, \quad (1)$$

где F_1 – расстояние источник-пленка, для которого построена номограмма;

F_2 – расстояние источник-пленка, необходимое при работе;

Φ_1 и Φ_2 – параметры экспозиции для фокусных расстояниях F_1, F_2 соответственно.

Экспозиция D

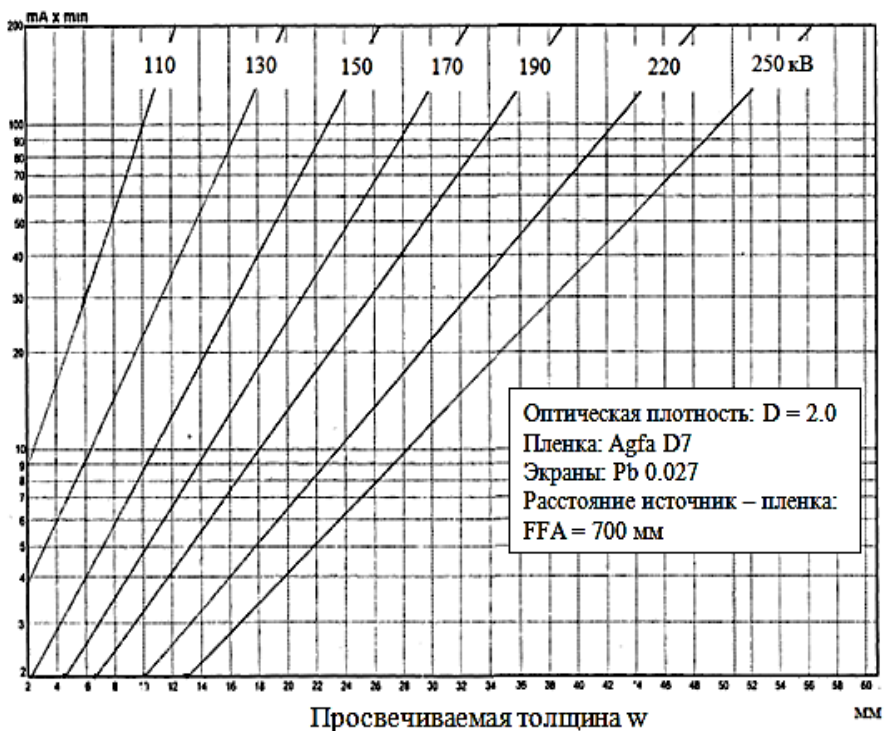


Рис. 2. Номограмма экспозиций по стали для РАП 150/300

Установка кассет с пленкой

Кассеты для зарядки пленки должны быть светонепроницаемыми и обеспечивать плотный прижим усиливающих экранов к пленке. Выбранную пленку заряжают в кассету, после чего кассету крепят на контролируемом участке изделия, а со стороны источника излучения устанавливают эталон чувствительности и маркировочные знаки. В тех случаях, когда невозможно так установить эталоны и маркировку, например при просвечивании труб через две стенки, разрешается располагать их со стороны детектора (кассеты с пленкой).

Если для контроля участка используется две или более кассеты с пленкой, их необходимо накладывать с перекрытием как минимум 20 мм. Длина каждого снимка должна обеспечивать перекрытие изображений смежных участков контролируемого объекта.

После завершения всех описанных пунктов проводится просвечивание ОК и далее – химико-фотографическую обработку пленки для получения рентгенограмм.

Химико-фотографическая обработка пленки

Химико-фотографическую обработку пленок нужно проводить в специально оборудованном помещении – фотолаборатории, при этом строго соблюдать рекомендации по обработке производителя плёнки и химреактивов, а в случае автоматической обработки – соблюдать требования инструкции по эксплуатации на процессор для обработки пленки. Необходимо помнить, что ошибки, допущенные при фотообработке, могут сделать непригодной для дальнейшей расшифровки хорошо проэкспонированную пленку.

Расшифровка снимков

Просмотр и дешифровку снимков следует производить после их полного высыхания в затемненном помещении с применением специальных осветителей – негатоскопов.

Условно процесс дешифровки можно разделить на три этапа:

1. Общая оценка качества радиографического изображения, включающая в себя определение следующих параметров снимка: оптической плотности, чувствительности, содержит ли снимок изображение маркировочных знаков, нет ли на снимке артефактов – пятен, полос, повреждений эмульсионного слоя и т.д.;

2. Обнаружение и распознавание дефектов материала ОК для чего рекомендуется использовать просмотровые лупы;

3. Измерение и оценка обнаруженных дефектов для чего рекомендуется использовать измерительные лупы, трафареты, шаблоны, линейки, комплекты таблиц допустимости дефектов, а также денситометр для измерения размеров дефектов в направлении просвечивания (глубины).

Следует отметить, что процесс расшифровки в некоторой степени является субъективным, т.е. зависит от психо-физических качеств оператора: опыт, острота зрения, тренированность, мотивировка действий, возраст, интеллект и т.д. Даже при самых лучших условиях расшифровки опытными квалифицированными расшифровщиками, сходимость результатов достигает не более 90%. Поэтому, когда качество изготовления изделий является важным фактором безопасности, расшифровку одного и того же снимка и оценку качества должны проводить как минимум два специалиста, особенно если это касается очень ответственных работ.

На рис. 3 представлены радиографические снимки образца № 2 – труба с внешним диаметром 25 мм и толщиной стенки 3,5 мм, имеет стыковое кольцевое сварное соединение.

Оформление результатов контроля

Результаты радиографического контроля должны оформляться документально, при этом возможно использование как стандартной формы записи результатов, так и специально разработанной формы для данного

объекта контроля. В любом случае, документальное оформление должно давать полную и точную картину об объекте – его качестве, применяемой аппаратуре, схеме и параметрах контроля, характеристиках и месторасположение обнаруженных в ОК дефектах.

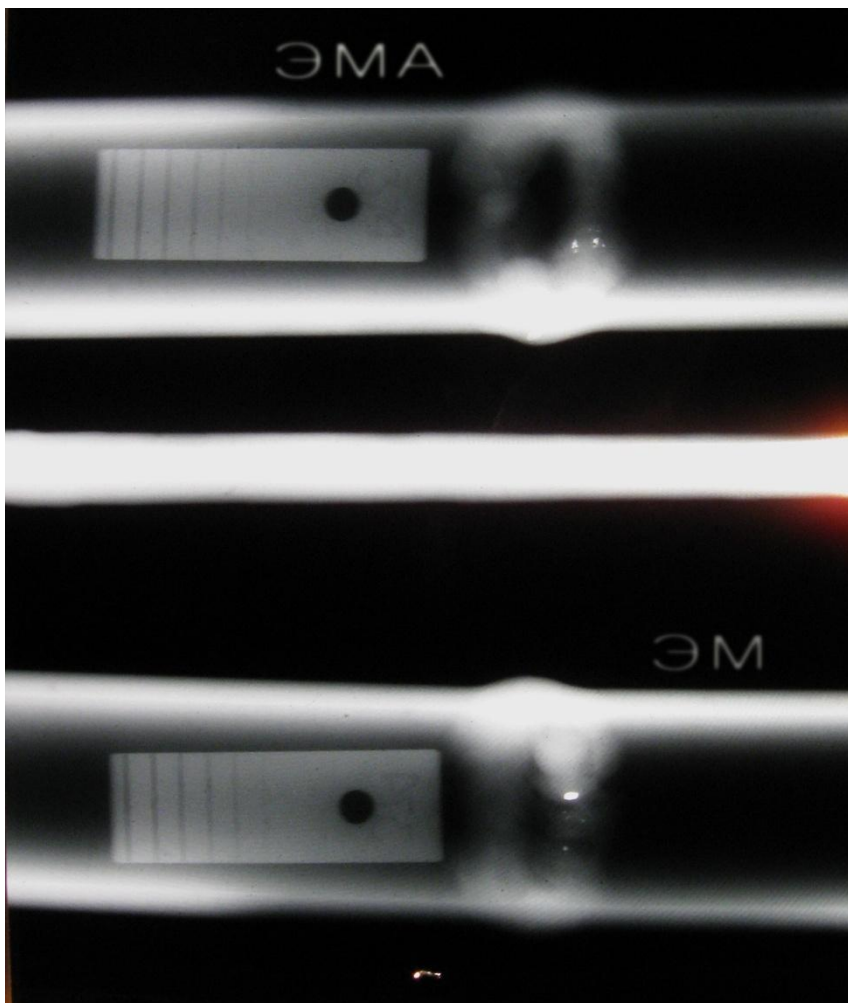


Рис. 3. Радиографические снимки образца №2: ЭМА и ЭМ

Документ (протокол или заключение) по результатам РНК должен содержать как минимум следующие данные:

1. Название организации и подразделений, выполнявших контроль;

2. Объект контроля и его параметры (материал, геометрия, состояние поверхности, особенности изготовления и термообработки);
3. Условия контроля, нормы оценки качества;
4. Способ просвечивания, требования к качеству изображения (чувствительность или класс работ);
5. Схемы просвечивания, схема размещения пленок, схема зарядки кассет;
6. Система маркировки участков и снимков;
7. Параметры аппаратуры (тип, размер фокусного пятна, диаграмма направленности рабочего пучка ИИ);
8. Плёнка, экраны, фильтры и коллиматоры;
9. Параметры экспонирования (энергия ИИ, ток трубки, время, фокусное расстояние);
10. Тип (ручная/автоматическая) и параметры химико-фотографической обработки (тип реактивов, температура, время);
11. Результаты контроля, включающие информацию об оптической плотности и чувствительности каждого снимка;
12. Любые отклонения от требований НД (по особому соглашению);
13. Ф.И.О., номер сертификата и подпись ответственного лица/лиц;
14. Дата проведения работ и выдачи документа по результатам контроля.

Вывод. Подробно описаны операции технологии проведения контроля рентгенографическим методом, что позволяет повысить его чувствительность, а также сделать наиболее экономически выгодным. Для удовлетворения растущих и изменяющихся запросов промышленности, радиография постоянно развивается. В результате исследований и разработок появляются новые источники излучения, легкое и более мощное портативное рентгеновское оборудование, новые рентгеновские пленки и автоматические процессоры для их разработки и расшифровки, а также появляются улучшенные или специализированные методы радиографии, благодаря чему расширяется сфера применения радиографии в современной промышленности.

Список литературы: 1. Неразрушающий контроль. В 5 кн. Кн. 4. Контроль излучениями: Практик. пособие / Под ред. В.В. Сухорукова. – М.: Высш. шк., 1992. – 321 с. 2. Рентгенотехника: Справочник. В 2-х кн. Кн. 2 / Под общ. Ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 1992. – 368 с. 3. ДСТУ EN 444:2005 Неразрушающий контроль. Основные принципы радиографического метода контроля металлов рентгеновских и гамма-излучения (EN 444:1994, IDT). 4. ГОСТ 7512-82. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод. 5. ДСТУ EN 584-1-2001 Неразрушающий контроль. Промышленная радиографическая пленка. Часть 1. Классификация пленочных систем для промышленной радиографии (EN 584-1:1994, IDT). 6. ДСТУ EN 1435:2005 Неразрушающий контроль сварных соединений. Контроль сварных соединений, выполненных плавлением, радиографический (EN 1435:1997, IDT). 7. ДСТУ EN 12681:2005 Литье. Контроль радиографический (EN 12681:2003, IDT). 8. ГОСТ 20426-82 Контроль неразрушающий. Методы дефектоскопии радиационные. Область применения.

Надійшла до редакції 15.04.12