

Рис. 3. Значения каналов цвета

С помощью методики «свободный вектор» [2] установлена качественная взаимосвязь между базовыми каналами цвета и построены соответствующие доверительные интервалы (рис. 3).

Таким образом, для распознавания поверхности подверженной коррозии на цифровой фотографии достаточно определить нахождение координаты цвета в пространстве RGB. Если интенсивность каналов зеленого и синего цвета находится внутри доверительной области (рис. 3), то, соответственно, цвет пикселя соответствует цвету продуктов коррозии, если интенсивность одного из каналов находится за пределами доверительной области, то, соответственно, исследуемая поверхность не подвержена коррозии. Исключением является случай, когда цвет крас-

ки кузова автомобиля идентичен цветовому диапазону коррозии.

Проведенные исследования легли в основу методики диагностики технического состояния элементов кузова автомобиля для ретроспективной оценки образования механических повреждений по фотографиям поврежденных поверхностей.

Библиографические ссылки

1. Тарасова М. А. Идентификация зон коррозионного повреждения на поверхности оптическим методом // Вестник ИжГТУ. – 2014. – № 2. – С. 39–40.
2. Черепов В. И., Кузнецов Н. П., Гребенкин В. И. Идентификация силовых характеристик объектов машиностроения. – М. ; Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2002. – 200 с.

M. A. Tarasova, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

R. A. Yurtikov, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Validation of the Method of Revealing the Area of Corrosion Damage on the Car Body According to Digital Photo When Performing Car Technical Expertise

Validation of the method of identifying the corrosion spots according to digital photo is proposed.

Keywords: corrosion of car body, color model RGB, corrosion damage, digital photo.

Получено 18.09.2014

УДК 623.45

В. В. Козлов, доктор технических наук, профессор, Пермский военный институт внутренних войск МВД России

А. Л. Погудин, кандидат технических наук, Пермский военный институт внутренних войск МВД России

В. Г. Шереметьев, Пермский военный институт внутренних войск МВД России

А. Ю. Козлов, Пермский военный институт внутренних войск МВД России

ОЦЕНКА ПРОГНОЗИРУЕМОГО УЩЕРБА ПРИ АВАРИЯХ НА ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ

Рассматривается типовая авария на химически опасных объектах при воздействии поражающих факторов взрыва и возможные сценарии ее развития.

Ключевые слова: авария, прогнозируемый ущерб, взрыв.

При прогнозировании ущерба и оценке последствий аварий на химических объектах и при транспортировке химических жидких

веществ масштабы опасности определяются токсичностью (горючестью) вещества и размерами зоны его распространения.

Размеры зоны распространения зависят от физико-химических свойств жидкости, тоннажа (массы) разлитого вещества, степени разрушения емкости (резервуара, цистерны и т. д.), метеорологических условий и характера местности. В ходе несанкционированных воздействий на химически опасные объекты возможны чрезвычайные ситуации разного происхождения – от преднамеренного злоумышленного вывода из строя технологического оборудования с выходом в атмосферу аварийно-химических опасных веществ (АХОВ) до землетрясений, наводнений и т. п.

Характерной особенностью последствий террористической актов с использованием обычных средств поражения на химически опасном объекте является то, что возникающая в результате ее локальная или местная чрезвычайная ситуация может затем трансформироваться в региональную или трансграничную. Для ликвидации таких последствий террористических акций потребуется привлечение значительных людских ресурсов, специалистов медицинского профиля, а также колоссальных материальных затрат. В настоящее время наиболее полно отработаны методики объектового уровня для химически опасных, пожаровзрывоопасных объектов, напорного фронта гидротехнических сооружений и т. д. [1].

В альтернативу приведенному примеру авария, связанная со взрывами различных типов, и авария, определяющаяся выбросом АХОВ без каких-либо существенных взрывных явлений принципиально отличны между собой по существу происходящих разрушительных процессов и образующихся поражающих факторов. Поэтому сценарии данных аварий будут различны.

В качестве типовой аварии на ХОО выбрана авария, при которой происходит разрушение технологического оборудования при совершении террористического акта с применением обычных средств поражения, содержащего АХОВ, выброс АХОВ в приземный слой атмосферы и на подстилающую поверхность и формирование поражающих факторов в виде первичного и или вторичного облаков зараженного воздуха.

Рассмотрим случай баллистических воздействий на объекты хранения АХОВ. За типовой объект принимаем резервуары и цистерны с горючим. Под баллистическим воздействием будем понимать действие поражающих факторов взрыва (продукты взрыва, ударная волна, осколочные и высокотемпературные поражающие элементы) и действие вторичных осколков.

Вскрытие резервуаров и цистерн с горючими жидкостями и сжиженными газами осуществляется под воздействием поражающих факторов взрыва.

При этом основными параметрами поля растекания жидкости являются площадь растекания $S_{\text{раст}}$ и скорость перемещения горючего по подстилающей поверхности с различными характеристиками фильтрации грунта в различные моменты времени.

Предварительный анализ физических явлений, связанных с истечением жидкости из отверстий,

с фильтрацией подстилающей поверхности различных жидкостей показал, что в общем случае площадь растекания жидкости можно представить в виде [2]

$$\begin{aligned} S_{\text{раст}} &= f(Q_p, Q_\phi, k, \tau), \\ Q_p &= f(n, S_0, v_{\text{и}}), \end{aligned} \quad (1)$$

где Q_ϕ – секундный расход жидкости, связанный с фильтрацией, $\text{м}^3/\text{с}$; k – безразмерный коэффициент, полученный опытным путем; τ – время формирования растекающегося пятна, с.

Секундный расход жидкости Q_p зависит от числа отверстий (пробоин) n , площади пробоины S_0 и скорости истечения горючего из пробоины $v_{\text{и}}$.

При определении $Q_p(\tau)$ для различных жидкостей необходимо учитывать такие их свойства, как коэффициент динамической вязкости η и массовую плотность ρ . Эти свойства можно выразить через один параметр – коэффициент кинематической вязкости ν , равный отношению $\frac{\eta}{\rho}$. Величина расхода

Q_p , в свою очередь, зависит от скорости истечения $v_{\text{и}}$. Следовательно, для определения скорости истечения жидкости $v_{\text{и}}$ необходимо, помимо напора H и ускорения силы тяжести g , учитывать параметр ν . В этом случае $v_{\text{и}}$ будет функцией вида $v_{\text{и}} = f(H, g, \nu)$. Используя методы физического моделирования, получим аналитическую зависимость $v_{\text{и}}$:

$$v_{\text{и}} = I\sqrt{2gH} \left(\frac{\nu_{\text{в}}}{\nu_{\text{г}}} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad (2)$$

где $\nu_{\text{в}}$, $\nu_{\text{г}}$ – соответственно, коэффициенты кинематической вязкости воды и горючего, $\text{м}^2/\text{с}$.

С учетом различных свойств реальных и искусственных покрытий, на которых размещаются типовые емкости, было выбрано два типа поверхности: искусственная подстилающая поверхность с коэффициентом фильтрации $k_\phi = 0$ (железобетон, асфальт, сталь) и естественная подстилающая поверхность с $k_\phi > 0$ (твердый грунт, песчаный грунт). С использованием методов теории подобия была получена формула по определению площади растекания жидкости $S_{\text{раст}}$ по подстилающей поверхности с $k_\phi = 0$ при $H_{\text{оср}} = \text{const}$ [3]:

$$S_{\text{раст}} = \nu \tau d_{\text{пр}} f \left(\frac{\nu \tau}{d_{\text{пр}}} \right), \quad (3)$$

где $d_{\text{пр}}$ – диаметр пробоины, м.

С учетом приведенных формул площадь растекания жидкости по подстилающей поверхности с $k_\phi = 0$ имеет следующий вид:

$$S_{\text{раст}} = 2 \frac{k}{\sqrt{\pi}} \mu \sqrt{2gH_{0\text{cp}}} \left(\frac{v_b}{v_r} \right)^{\frac{1}{3}} S_{\text{пр}} \frac{1}{\sqrt{S_{\text{пр}}}} \tau, \quad (4)$$

где $H_{0\text{cp}}$ – средний напор, м; $S_{\text{пр}}$ – суммарная площадь всех пробоев на боковой грани, м; τ – время истечения горючего, с.

Площадь растекания $S_{\text{раст}}$ с учетом снижения уровня жидкости по участкам ΔH и уменьшение $H_{0\text{cp}}$ в конце каждого участка можно определить τ по формуле [3]

$$S_{\text{раст}} = \int_0^\tau K_1 K_2 \times \left[S_{\text{пр}} - S_0 \frac{H_{0\text{cp}} - \left(\sqrt{H_{0\text{cp}}} - \frac{K_2 S_{\text{пр}} \tau}{4S_c} + \frac{K_2 S_0 \tau}{2S_c} \right)^2}{\Delta H} \right] \times \left[\sqrt{H_{0\text{cp}}} - \frac{K_2 S_{\text{пр}} \tau}{4S_c} + \frac{K_2 S_0 \tau}{2S_c} \right] d\tau, \quad (5)$$

где $K_1 = 2 \frac{K}{\sqrt{\pi}}$; $K_2 = \mu \left(\frac{v_b}{v_r} \right)^{\frac{1}{3}} \sqrt{2g}$; $S_{\text{пр}} = nS_0$; S_0 – площадь поперечного сечения резервуара, м²; ΔH – интервал между отверстиями (расстояние от верхнего уровня жидкости в агрегате до верхней пробойны), м.

После интегрирования получим аналитическую зависимость для определения площади растекания [3]:

$$S_{\text{раст}} = \frac{gKS_c \Delta H}{3\sqrt{\pi} \sqrt{S_c} (n-2)} \times \left[n^{\frac{3}{2}} \left(n - \frac{H_{0\text{cp}} - \left(\sqrt{H_{0\text{cp}}} - K_3 \tau \right)^2}{\Delta H} \right)^{\frac{3}{2}} \right], \quad (6)$$

где $K_3 = \mu \frac{S_0}{4S_c}$.

Для определения площади растекания на фильтрующей поверхности необходимо привести аргументированные рассуждения.

В общем случае объем жидкости, проходящий через элементарную площадку в единицу времени, определяется как $dQ = v dS$, где v – средняя фиктив-

ная скорость жидкости на нормаль, которая определяется по формуле Дарси [2]:

$$v = k_\phi I, \quad (7)$$

где k_ϕ – коэффициент фильтрации, м/с; I – гидравлический уклон.

Зная скорость фильтрации v , площадь фильтрации S^ϕ , а также время фильтрации τ_ϕ можно определить суммарный расход жидкости на фильтрацию.

Для условия $H_{0\text{cp}} = \text{const}$ площадь растекания жидкости на фильтрующей поверхности определяется как [3]

$$S_{\text{раст}}^{\phi, \Pi} = K_0 K_2 \left[K_1 K_3 \sqrt{H_{0\text{cp}}} \tau - V_\phi S_0^\phi \frac{\tau(l-1)}{2} \right], \quad (8)$$

где V_ϕ – действительная скорость фильтрации, м/с; S_0^ϕ – начальная площадь фильтрации, м².

Далее рассмотрим наиболее сложный случай, когда растекание жидкости осуществляется на фильтрующей поверхности $k_\phi > 0$ с учетом снижения уровня жидкости в емкости. В этом случае приращение площади растекания ΔS за равные промежутки времени Δt будет уменьшаться. С использованием уравнений (6), (8) получаем формулу для определения $S_{\text{раст}}$:

$$S_{\text{раст}} = \frac{8KS_c \Delta H}{3\sqrt{\pi} \sqrt{S_c} (n-2)} \times \left[n^{\frac{3}{2}} \left(n - \frac{H_{0\text{cp}} - \left(\sqrt{H_{0\text{cp}}} - K_5 \tau \right)^2}{\Delta H} \right)^{\frac{3}{2}} \right] - K_1 K_6 \frac{cV}{g} \left(\frac{\rho_3}{\rho_r} - 1 \right) (1-m) \sum_{j=1}^{l-1} \Delta S_j \frac{\tau(l-j)}{l}. \quad (9)$$

Приведенные формулы, полученные экспериментально-аналитическим путем, позволяют определять площади растекания, объем испаряющейся жидкости, глубину фильтрации жидкости в грунт, а следовательно, и объем грунта, впитывающего жидкость в различные моменты времени. При этом учитывается тип жидкости, размещаемой в любой по величине емкости.

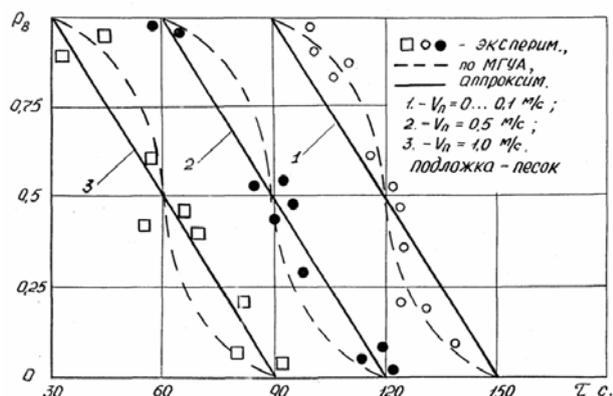
Если жидкости горючие, то при контакте с зажигательными фрагментами возможно воспламенение, переходящее в устойчивый очаг пожара [4]. На рисунке представлены экспериментальные зависимости вероятности воспламенения топлива зажигательным элементом (ЗЭ) типа желудь с составом Ti + C от времени τ с момента взведения ЗЭ до контакта.

В диапазоне скоростей перемещения $v_{\text{П}} = 0 \dots 1,0$ м/с, при $T_{\text{мин}}^{v=0} = 500$ °С и при $T_{\text{макс}}^{v=0} = 800$ °С вероятность зажжения P_3 топлива

определяется по формуле, полученной методом группового учета аргументов [4]:

$$P_3 = \frac{K_0 T_{ад} e^{-(K_1 \tau + K_2 \sqrt{\tau})} - 500 v_{II}}{300}, \quad (10)$$

где $T_{ад}$ – адиабатическая температура химической реакции, °С; $K_0 = \frac{e^{a_0}}{T_{ад}}$ – коэффициент начального прогрева; $K_1 = a_1$, $K_2 = a_2$ – коэффициент теплообмена; τ – время, с.



Вероятность воспламенения топлива ЗЭ типа желудь с составом Ti + C от времени τ с момента взведения ЗЭ до контакта

В формуле (10) при $K_0 T_{ад} e^{-(K_1 \tau + K_2 \sqrt{\tau})} - 500 v \geq 300$ вероятность зажжения топлива $P_3 = 1$. Формула (10) является универсальной для зажигательных элементов с различными зажигательными составами [4].

Кроме того, возможен также взрыв облака топливно-воздушной смеси (ТВС), образованного при разливе горючего. При этом облако имеет форму полусферы объемом $V_{ТВС}$ и радиусом r_0 [5]:

$$V_{ТВС} = \frac{2240 \chi M_T T}{\mu C_{СТХ} T_0}; \quad r_0 = 0,78 \sqrt[3]{V_{ТВС}}, \quad (11)$$

где M_T – масса исходного топлива, кг; χ – доля массы исходного топлива, переходящего в облако ТВС; T – температура окружающей среды, К; $T_0 = 273$ К; μ – молекулярная масса горючего.

В пределах облака ТВС давление на фронте детонационной волны

$$P_{ДЕТ} = 2,586(\eta - 1) q_m,$$

где η – показатель адиабаты исходной смеси; q_m – удельная массовая энергия взрыва, кДж/кг.

Избыточное давление на фронте детонационной волны

$$\Delta P_{ДЕТ} = P_{ДЕТ} - P_0,$$

где P_0 – атмосферное давление.

В результате детонации ТВС за пределами облака распространяется воздушная ударная волна (ВУВ). При этом энергия взрыва, перешедшая в ВУВ, $E_{УВ}$, определяется [5] как

$$E_{УВ} = 2 \left[1 - \left(\frac{2P_0}{P_{ДЕТ}} \right)^{\frac{\gamma_1 - 1}{\gamma_1}} \right] q_v V_{ТВС}, \quad (12)$$

где γ_1 – показатель адиабаты газа; q_v – удельная объемная энергия взрыва стехиометрической смеси, кДж/м³.

В зависимости от интервала значений приведенных расстояний

$$\bar{R} = R(E_{УВ})^{\frac{-1}{3}},$$

где \bar{R} – приведенное расстояние, м/кДж^{1/3}; R – расстояние, м; величина избыточного давления определяется по формулам [5]:

$$\Delta P_{Ф} = 1,227 \cdot 10^{-6} / \bar{R}^{4,68} + 0,49 \quad \text{при } 0,05 < \bar{R} \leq 0,068;$$

$$\Delta P_{Ф} = 4,156 / \bar{R}^{1,7} \quad \text{при } 0,068 < \bar{R} \leq 0,31;$$

$$\Delta P_{Ф} = 4,96 / \bar{R} + 0,974 / \bar{R}^2 + 0,146 / \bar{R}^3 \quad \text{при } \bar{R} > 0,31,$$

где $\Delta P_{Ф}$ – избыточное давление на фронте воздушной ударной волны, кПа.

Инициирование ТВС может быть вызвано высокотемпературными горящими фрагментами (зажигательные элементы, поток вторичных осколков, искры).

Предложенная математическая модель позволяет оценить возможный ущерб на химически-опасных объектах при различных сценариях баллистических воздействий.

Библиографические ссылки

1. Севрюков И. Т., Степичев М. М. Методология исследования взрывобезопасности военно-технических систем в концепции обеспечения национальной безопасности // Вооружение. Политика. Конверсия. – 2007. – № 4.
2. Курганов А. М., Фёдоров Н. Ф. Справочник по гидравлическим расчетам систем водоснабжения и канализации. – Л. : Стройиздат, 1978. – 424 с.
3. Козлов В. В. Современное состояние исследований комбинированного внешнего воздействия на объекты технических систем : монография. – Пермь : ПВИ ВВ МВД, 2007. – 139 с.
4. Козлов В. В. Экспериментально-аналитический метод определения частоты зажжения горючего зажигательными элементами // Вестник ИжГТУ. – 2009. – № 3.
5. РБГ – 05-039-96. Руководство по анализу опасности аварийных взрывов и определению параметров их механического действия. – М. : Федеральный надзор России по ядерной и радиационной безопасности, 2000.

V. V. Kozlov, DSc in Engineering, Professor, Perm Military Institute of Internal Armies of Russian Federation

A. L. Pogudin, PhD in Engineering, Perm Military Institute of Internal Armies of Russian Federation

V. G. Sheremetyev, Perm Military Institute of Internal Armies of Russian Federation

A. Yu. Kozlov, Perm Military Institute of Internal Armies of Russian Federation

Assessment of Predicted Damage at Accidents at Chemically-Dangerous Objects

A standard accident at chemically dangerous objects with influence of striking factors of explosion and possible scenarios of its development are considered.

Keywords: accident, predicted damage, explosion.

Получено 25.09.2014

УДК 621.833.1

В. В. Беспалов, кандидат технических наук, доцент, Нижегородский государственный технический университет имени Р. Е. Алексеева

В. И. Хазова, кандидат технических наук, Нижегородский государственный технический университет имени Р. Е. Алексеева

ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ЗАЦЕПЛЕНИЯ, ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ ПО СИНУСОИДАЛЬНОМУ ЗАКОНУ ПО УГЛУ 2φ , НА СПЕКТР ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ ЗУБЦОВОЙ ЧАСТОТЫ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

Проведена экспериментальная проверка влияния перекоса шевера при обработке зубчатых колес на спектр гармонических составляющих циклической погрешности зубцовой частоты. Исследование показало, что изменение погрешности зацепления, вызванное перекосом шевера, приводит к изменению амплитуд нечетных гармонических составляющих циклической погрешности зубцовой частоты, а приращение амплитуд четных гармонических составляющих незначительно.

Ключевые слова: погрешность зацепления, циклическая погрешность зубцовой частоты, однопрофильный контроль, перекося шевера, дисковый шевер, цилиндрические зубчатые колеса.

Зубчатые передачи используются во многих отраслях машиностроения, причем области их применения непрерывно расширяются и повышаются требования к качеству их работы.

Быстро увеличивающийся объем зуборезных работ, являющихся одной из наиболее трудоемких и малопроизводительных операций в составе технологического процесса изготовления зубчатых колес, ставит проблему зубообработки в ряд наиболее актуальных.

Большинство зубчатых колес, применяемых в автомобиле-, тракторо-, станкостроении и других отраслях машиностроения, изготавливаются по седьмой и восьмой степеням точности.

К концу 30-х годов XX века следует отнести возникновение науки «теория реальных механизмов», основоположником которой является Н. А. Калашников [1]. Методология ее заключается в том, что действительная ошибка любого элемента механизма рассматривается лишь как промежуточное звено между технологией его изготовления и ее действием в работе данного механизма. Таким образом, основной задачей теории реальных механизмов применительно к зубчатым передачам является установление связи между неточностями производства и погрешностями зубчатых колес с одной стороны и между

погрешностями зубчатых колес и их проявлением в работающей передаче – с другой.

В процессе механической обработки звено-изделие включается в некоторую механическую цепь, отличную от той, в которой ему предстоит работать. Но так как выведенные законы действительны для любой цепи, то здесь задача сводится к нахождению приведенной ошибки всего обрабатываемого агрегата, которая и является результирующей ошибкой, получаемой на изделии.

Ключом к обнаружению закономерности происхождения дефектов зубчатого колеса и их проявлению в работе механизма явилось введение понятия о функционально действующих ошибках. В пределах непрерывного цикла действия звена его отдельные последовательно вступающие в работу ошибки могут быть приведены к одной обобщенной. Ошибка звена, отсчитанная таким образом, называется приведенной ошибкой. Только приведенная действующая ошибка определяет геометро-кинематическое качество звена.

Изучение точности обработки деталей состоит в обнаружении изменения приведенной ошибки за рабочий цикл, то есть выражении ее как функции перемещений, совершаемых зубчатым колесом относительно обрабатываемого его инструмента. Таким