УДК 623.455.4:358.31(3)

В.Ю. Дубницкий

Харьковский институт банковского дела Университета банковского дела Национального банка Украины

ПОСТАНОВКА И РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ О ДЕЙСТВИИ ПУЛИ ПО ЦЕЛИ

Сформулирована и решена обратная задача о действии пули по цели. В результате её решения предложена методика, позволяющая по результатам обработки данных баллистических экспериментов определить численные значения величин, характеризующих взаимодействие пули и цели. Результаты решения поставленной задачи могут быть использованы при конструировании пуль с заранее заданными свойствами. Решение поставленной задачи получено с использованием методов нелинейного регрессионного анализа и метода деформируемого многогранника.

Ключевые слова: *пуля, свойства пули, обратная задача проектирования, нелинейный регрессионный анализ, деформируемый многогранник.*

Введение

Задача проектирования свойств пули – одна из важнейших задач, возникающих при проектировании стрелкового оружия. Перефразируя известное высказывание В.Г. Грабина, можно сказать, что любое стрелковое оружие – это всего лишь средство доставки пули к цели. При проектировании свойств пули внешние, по отношению к ней характеристики, предполагают известными, определению подлежат такие характеристики, как: потери энергии пули в преграде, убойное действие пули , пробивное действие пули и убойное действие пули с учётом её пробивного действия. Последнее свойство особенно важно при оценивании действия пули по защищённым целям. Подобную последовательность действий назовём прямой задачей проектирования пули. Обратной назовём такую задачу, в которой требуется, по результатам испытаний, определить численные значения необходимых параметров внешней среды и параметров, определяющих свойства пули.

Анализ литературы. В работе [1, С. 18 – 24], заслуженно считающейся классической, взаимодействию пули и цели уделено весьма малое внимание, всего 6 страниц из 485. Этой работе более семидесяти лет и она, безусловно, уже не отвечает современным требованиям в полном объёме. В работе [2] приведены сведения, необходимые для решения прямой задачи проектирования пули на современном уровне. Работа [3] рассматривает решение прямой задачи более подробно, чем работа [2] и поэтому в рамках данного сообщения принята в качестве основной. Так как при решении обратной задачи использована методика решения прямой задачи, приведенная в работе [2], то рассмотрим её подробнее.

При решении прямой задачи о взаимодействии пули и цели в работе [2] выделены такие частные подзадачи: 1) расчёт потери энергии пули в преграде; 2) определение влияние параметров пули на её убойное действие; 3) определение убойного действия пули; 4) определение пробивного действие пули; 5) определение убойного действия пули с учётом её пробивного действия.

Следуя работе [2] введём следующие условные обозначения: q – масса пули; ΔE – потеря кинетической энергии; v_c – скорость пули при встрече с преградой; v_s – скорость пули непосредственно за преградой; $v_{ср}$ – средняя скорость пули в преграде; s – толщина преграды; S – максимальная глубина проникновения пули в преграду; d – калибр пули; λ – коэффициент формы пули; a – коэффициент, учитывающий свойства среды; b – коэффициент, учитывающий плотность и вязкость простреливаемой среды; g – ускорение свободного падения. В дальнейшем изложении будем использовать следующие расчётные формулы, приведенные в работе [2].

Расчёт потерь энергии пули в преграде выполняют по формуле:

$$\Delta E = Dq(1+Bv_c^2)\left[1-\exp(-\lambda C\frac{d^2}{q}s\right]. \quad (1)$$

Приняв, что

$$A=\frac{a\pi}{4};\ B=\frac{b}{a};\ C=2gAB=\frac{g\pi b}{2};\ D=\frac{1}{2gB}=\frac{a}{2gb}, \quad (2)$$

получим:

$$\Delta E=\frac{q}{g}\left(\frac{v_c^2}{2}+\frac{a}{2b}\right)\left(1-\exp\left(-\frac{g\pi\cdot d^2 s}{2q}\cdot\lambda b\right)\right). \quad (3)$$

Отметим, что, в отличие от работы [2], во всех последующих формулах, приведенных в данной статье, замена вида (2) будет выполнена. Необходимость этого станет ясной при изложении полученных результатов.

Для определения влияния параметров пули на её убойное действие будем использовать формулы вида:

$$\Delta E = K(1+\frac{b}{a}v_c^2); \quad (4)$$

$$\Delta E = M\left(1-\exp\left(-md^2\right)\right); \quad (5)$$

$$\Delta E = Nd^2; \quad (6)$$

$$\Delta E = Rq\left(1-\exp\left(r/q\right)\right). \qquad (7)$$

В уравнениях (4) – (7) постоянные величины K, M, m, N, R, r определяют в результате обработки результатов испытаний.Оценку убойного действия пули определяют по формуле:

$$v_c = \sqrt{\frac{2\Delta Egb^2}{a^2\left(1-\exp\left(-\frac{g\pi\cdot d^2 s}{2q}\lambda b\right)-\frac{b}{a}\right)}}. \qquad (8)$$

Эта формула при заданных параметрах пули определяет скорость встречи с целью, необходимую для выполнения поставленной задачи.

Величину пробивного действия пули определяют по таким формулам:

$$s = \frac{2q}{\lambda gbd^2}\ln\frac{1+\frac{b}{a}v_c^2}{1+\frac{b}{a}v_s^2}; \qquad (9)$$

$$S = \frac{2q}{\lambda gbd^2}\ln\left(1+\frac{b}{a}v_c^2\right); \qquad (10)$$

$$v_c = \sqrt{\frac{a}{b}\left[\left(1+\frac{b}{a}v_s^2\right)\exp\left(\frac{\lambda g\pi bd^2 s}{2q}\right)-1\right]}; \qquad (11)$$

$$v_c = \sqrt{\frac{a}{b}\left[\exp\left(\frac{\lambda g\pi bd^2 s}{2q}\right)-1\right]}. \qquad (12)$$

Формула (9) позволяет определить глубину сквозного проникновения пули в преграду. Формулу (10) используют при определении глубины максимального проникновения пули в преграду. Формулу (11) применяют для определения необходимой скорости пули при сквозном проникновении в преграду толщиной s. Формулу (12) применяют при определении скорости пули при проникновении в преграду на глубину s. Оценку убойного действия пули с учётом её пробивного действия проводят, используя формулы:

$$v_S^2 = \frac{a}{b\left[\left(1+\frac{b}{a}v_c^2\right)\left(\exp\left(-\frac{\lambda gb\pi sd^2}{2}\right)\right)-1\right]}; \qquad (13)$$

$$\Delta E = \frac{aq}{2gb}\left(1+\frac{b}{a}v_s^2\right)\left(1-\exp\left(-\frac{g\pi\cdot d^2 s}{2q}\cdot\lambda b\right)\right); \qquad (14)$$

$$v_s^2 = \frac{a}{b}\left[\Delta E\cdot 2gb\Big/\left(aq\left(1-\exp\left(-\frac{g\pi\cdot d^2 s\lambda b}{2q}\right)\right)\right)-1\right]. \qquad (15)$$

Формула (13) позволяет определить остаточную скорость пули, которая обеспечивает её убойное действие после преодоления преграды толщиной s. Формула (14) позволяет определить потери энергии пулей после преодоления преграды, то есть оценить её убойное действие. Формула (14) позволяет определить необходимую остаточную скорость пули, при которой она сохраняет своё убойное действие. Анализ формул (3) – (15) позволил выделить такие особенности их структуры. В них входят физические величины, в рамках данной задачи, принимаемые постоянными; величины, значения которых измеряют во время проведения эксперимента и эмпирические коэффициенты (ЭК), значения которых предполагают известными. В сгруппированном виде эти сведения приведены в табл. 1.

Таблица 1

Группировка величин, входящих в формулы, определяющие действие пули по цели

Номер формулы	Постоянные величины	Измеряемые величины	Эмпирические коэффициенты (ЭК)
Ф(3)	q, g, π, d, s,	ΔE, v_s	a, b, λ
Ф(4)	–	ΔE, v_s	a,b,K
Ф(5)	d	ΔE	K,M,m
Ф(6)	d	ΔE	N
Ф(7)	q	ΔE	R,r
Ф(8)	q, g, π, d, s,	ΔE, v_c	a, b, λ
Ф(9)	q, g, π, d, s,	v_c, v_s,	a, b, λ
Ф(10)	q, g, d,	S, v_s	a, b, λ
Ф(11)	q, g, π, d, s,	v_c, v_s,	a, b, λ
Ф(12)	q, g, π, d, s,	v_s,	a, b, λ
Ф(13)	g, π, d, s,	v_S^2, v_c^2	a, b, λ
Ф(14)	q, g, π, d, s,	ΔE, v_s	a, b, λ
Ф(15)	q, g, π, d, s,	ΔE, v_s	a, b, λ

В работах [1 – 3] раскрыт содержательный смысл эмпирических коэффициентов a, b, λ, K, M, m, N, R, r, но не описаны способы их определения. В работах [4, 5], хотя и есть главы, в которых рассмотрены методы обработки баллистических экспериментов, методика определения интересующих нас величин не изложена.

Постановка задачи. Разработка методики обработки результатов экспериментов, позволяющей получить численные значения ЭК, перечень которых указан в табл. 1.

Изложение полученных результатов

В основу принятой в работе методики положен принцип наименьших квадратов. Таким образом, решение поставленной задачи сведено к задаче оценивания параметров регрессионной модели стандартного вида:

$$y_i = f(z_{i1,}...z_p; x_1,...x_n)+\varepsilon_i; \quad i = 1,2,...w. \qquad (16)$$

В этой модели, как обычно, принято, что y_i – результат i-го опыта, проводимого при известных значениях переменных $z_{i1,}...z_p$; $x_1,...x_n$ – параметры, определение численного значения которых и есть основная цель исследования; ε_i – вычислительная ошибка i-го эксперимента. Модель вида (16) – наиболее общая из возможных регрессионных моделей. Для организации вычислительного процесса необходимо различать линейную и нелинейную регрессию. В работе [6, С. 7] предложен простой критерий отличия одного типа задач от другого. Для линейной регрессионной модели вторая производная функционала метода наименьших квадратов:

$$L(X)=\sum_{i=1}^{w}\left(y_i-f(z_{i1,}...z_p;x_1,...x_n)\right)^2\to\min$$

по оцениваемому параметру тождественно равна нулю, для нелинейной модели это утверждение неверно.

В цитированной работе [6] и в работе [7] отмечена большая вычислительная сложность решаемых задач, связанная с необходимостью многократно получать численное значение гессиана. В работе [8] была получена и проверена численным экспериментом процедура, в основе которой лежит метод деформируемого многогранника [9], суть которой состоит в следующем. В общем n-мерном случае для смещенного (относительно регулярного гипермногогранника, первая вершина которого совпадает с началом координат и центром тяжести x(C)) в пространстве гипермногогранника с центром в исходной точке x(0) матрица D' имеет вид

$$D'=\begin{bmatrix} x_1^{(0)}-x_1^{(c)} & x_1^{(0)}-x_1^{(c)}+d_1 & x_1^{(0)}-x_1^{(c)}+d_2 & ... & x_1^{(0)}-x_1^{(c)}+d_2 \\ x_2^{(0)}-x_2^{(c)} & x_2^{(0)}-x_2^{(c)}+d_2 & x_2^{(0)}-x_2^{(c)}+d_1 & ... & x_2^{(0)}-x_2^{(c)}+d_2 \\ x_3^{(0)}-x_3^{(c)} & x_3^{(0)}-x_3^{(c)}+d_2 & x_3^{(0)}-x_3^{(c)}+d_2 & ... & x_3^{(0)}-x_3^{(c)}+d_2 \\ ... & ... & ... & ... & ... \\ x_n^{(0)}-x_n^{(c)} & x_n^{(0)}-x_n^{(c)}+d_2 & x_n^{(0)}-x_n^{(c)}+d_2 & ... & x_n^{(0)}-x_n^{(c)}+d_1 \end{bmatrix}, \qquad (17)$$

где

$$d_1=\frac{t}{n\sqrt{2}}\left(\sqrt{n+1}+n-1\right); \qquad (18)$$

$$d_2=\frac{t}{n\sqrt{2}}\left(\sqrt{n+1}-1\right). \qquad (19)$$

Здесь t – расстояние между двумя вершинами.

В нашем случае координаты исходной точки x(0) задают в начале вычислительного процесса. В нашем случае они приведены в работах [2, 3]. Размерность многогранника и физический смысл рёбер соответствует данным столбца ЭК, приведенному в табл. 1.

Координаты центра тяжести регулярного (правильного) гипермногогранника, первая вершина которой совпадает с началом координат, имеют вид:

$$x^{(c)}=\left(\frac{d_1+d_2(n-1)}{n+1};\ \frac{d_1+d_2(n-1)}{n+1};\ ...\ ;\frac{d_1+d_2(n-1)}{n+1}\right)=$$

$$=\frac{d_1+d_2(n-1)}{n+1}\left(1;\ 1;\ ...\ ;1\right).$$

С учетом соотношений (18) и (19) координаты центра тяжести x(C) можно выразить через величину t ребра гипермногогранника:

$$x_1^{(c)}=x_2^{(c)}=...=x_n^{(c)}=$$

$$=\frac{d_1+d_2(n-1)}{n+1}=\frac{t}{\sqrt{2}\cdot\sqrt{n+1}}=\Delta.. \qquad (20)$$

Тогда матрица (17) принимает вид:

$$D'=\begin{bmatrix} x_1^{(0)}-\Delta & x_1^{(0)}-\Delta+d_1 & x_1^{(0)}-\Delta+d_2 & ... & x_1^{(0)}-\Delta+d_2 \\ x_2^{(0)}-\Delta & x_2^{(0)}-\Delta+d_2 & x_2^{(0)}-\Delta+d_1 & ... & x_2^{(0)}-\Delta+d_2 \\ x_3^{(0)}-\Delta & x_3^{(0)}-\Delta+d_2 & x_3^{(0)}-\Delta+d_2 & ... & x_3^{(0)}-\Delta+d_2 \\ ... & ... & ... & ... & ... \\ x_n^{(0)}-\Delta & x_n^{(0)}-\Delta+d_2 & x_n^{(0)}-\Delta+d_2 & ... & x_n^{(0)}-\Delta+d_1 \end{bmatrix}. \qquad (21)$$

При такой гомотетии точка нулевого приближения x(0) – центр гиперсферы совпадает с центром тяжести x(C*) регулярного гипермногогранника.

Радиус a* гиперсферы, которая описана вокруг регулярного гипермногогранника, определим по условию:

$$a^*=\left|x^{(c)}-x^{(0)}\right|=\frac{d_1+d_2(n-1)}{n+1}\sqrt{n}=$$

$$=\frac{t}{\sqrt{2}\cdot\sqrt{n+1}}\sqrt{n}=\Delta\sqrt{n}\,. \qquad (22)$$

Размер t ребра гипермногогранника связан с радиусом a* гиперсферы и равен:

$$t=\frac{a^*}{\sqrt{n}}\cdot\sqrt{2}\cdot\sqrt{n+1}\,. \qquad (23)$$

Все (n+1) вершины гипермногогранника лежат на поверхности гиперсферы с радиусом a* и имеют координаты согласно матрице (19).

Таким образом, имеем n+1 направление поиска x(i) – x(0) - минимума функции L(X), который определяется вершинами с координатами x(i) и центром гиперсферы x(0) – точкой нулевого приближения.

С целью увеличения количества направлений поиска минимума функции к числу 2(n+1) предлагается дополнительно использовать n+1 направления, противоположные направлениям x(i) -x(0), которые проходят через центры тяжести граней, противоположных соответствующим вершинам гипермногогранника. Пересечение прямых в пространстве $E^{(n)}$, которые проходят от точки x(i) через x(0) и дают n+1 дополнительную точку для пробных вычислений функции f(x) и выявления наиболее удачного направления поиска минимума теперь уже на множественном числе 2(n+1) равноправных (равнозначных) направлений.

Для n-мерного случая дополнительные n+1 точки, которые лежат на поверхности гиперсферы в направлениях от вершин гипермногогранника через x(0) (исходную точку – центр тяжести гипермногогранника), идентифицируются так

$$\begin{aligned} x^{(k)} &= x^{(k-(n+1))} + 2\cdot\left(x^{(0)} - x^{(k-(n+1))}\right) = \\ &= x^{(k-(n+1))} + 2x^{(0)} - 2x^{(k-(n+1))} = \\ &= 2x^{(0)} - x^{(k-(n+1))}. \end{aligned} \qquad (24)$$

В итоге для оценки функции имеем (n+1) вершину с координатами согласно матрицы D' (14) плюс (n+1) точку x(k), лежащую на поверхности гиперсферы и определяются координатами, согласно условию (17). Другими словами, построен гипермногогранник с 2(n+1) вершинами, который вписан в гиперсферу заданного радиуса a* (24), в котором все направления от центра тяжести ко всем вершинам равноправны в $E^{(n)}$. Далее, по алгоритму, определяют значения функции во всех 2(n+1) точках, которые лежат на гиперсфере и идентифицируется точка x(min), в которой значение функции минимально. Определяется приоритетний направление (x(min) -x(C*)), вдоль которого для x=x(C*)+((x(min) -x(C*) осуществляется одномерный поиск, пока f(x) уменьшается. На этом направлении в некоторой точке x(() функция f(x(()) > f_{min} при f(x)=(f_{min}), тогда в точке x(n – 1), как в центре с координатами x(C*), опять строится гиперсфера с вписанным в неё гипермногогранником с 2(n+1) вершинами и алгоритм повторяется аналогично описанному выше. Условие выхода из алгоритма, исходя з условий требуемой точности определяют условием:

$$\sqrt{\frac{1}{2(n+1)}\sum_{i=1}^{2(n+1)}\left[f\left(x^{(i)}\right)-f\left(x^{(C^*)}\right)\right]^2} \le \varepsilon . \quad (25)$$

Другими словами идею предложенной модификации можно описать так: вокруг точки x(0) нулевого приближения как в центре тяжести в $E^{(n)}$ строится правильный гипермногогранник, который вписан в гиперсферу благодаря гомотетии регулярного симплекса с (n+1) вершинами и для поиска наиболее удачного направления движения к минимуму используются 2(n+1) равноправных направлений, которые определяются (n+1) вершинами гипермногогранника, (n+1) геометрическими центрами его граней и его центром тяжести x(0). В удачном направлении проводится одномерный поиск минимума, точка x(C*) которого принимается как центр тяжести нового гипермногогранника, который вписан в гиперсферу уменьшенного радиуса. Процедура повторяется, пока гипермногогранник, который уменьшается, не "накроет" минимум функцию с заданной точностью (25).

Преобразуем условие (3) в соответствии с требованиями метода наименьших квадратов к виду:

$$L = \sum_{i=1}^{w}\left(\Delta E_i - \frac{q}{g}\left(\frac{v_{ci}^2}{2}+\frac{a}{2b}\right)\left(1-\exp\left(-\frac{g\pi\cdot d^2 s}{2q}\cdot\lambda b\right)\right)\right)^2 . \quad (26)$$

В процессе проведения эксперимента измеряют величин ΔE и v_c, определяют численные значения параметров a, b, λ. Необходимые для организации поиска начальные значения этих величин приведены в работах [2, 3]. В условии (26) входной величиной служит v_c, выходной- ΔE. Для остальных формул (4) – (15) условия минимизации принимают вид, аналогичный (26).

Анализ данных, приведенных в табл. 1 показывает, что в формулы (3), (8) – (15) входит один и тот же набор параметров, подлежащих определению: a, b, λ. В работах по эконометрии, в частности в работе [10], показано, что рассматривать полученные регрессионные уравнения как алгебраические некорректно. Например, прямая подстановка численных значений коэффициентов a, b, λ, полученных из условия (26) в уравнения (8) – (15) может приводить к существенным вычислительным погрешностям. Поэтому, используя описанную процедуру, следует решить данную задачу для каждого из указанных выше условий. В общем виде это и последующие действия можно описать следующим образом. Пусть требуется оценить численное значение $\hat{x}_p^t$ параметра x_p, $p = 1, 2, ...n$ используя процедуру метода наименьших квадратов и $t = 1, 2, ...T$ независимых уравнений связи. Применительно к нашим условиям оцениваемыми параметрами будут величины a, b, λ, независимыми уравнениями связи-уравнения (3), (8) – (15). Пусть

$$\alpha = \min_t \hat{x}_p^t, \quad \beta = \max_t \hat{x}_p^t, \quad (27)$$

Тогда для выполнения конструкторских расчётов, в которых необходимо знание численного значения параметра x_p примем величину

$$x_{pcp} = \tfrac{1}{2}(\alpha + \beta), \quad (28)$$

абсолютную ошибку Δx_{cp} определения x_{cp} определим по формуле:

$$\Delta x_{pcp} = \beta - \alpha . \quad (29)$$

Рассмотрим особенности применения описанной методики для оценки численных значений параметров, используемых в формулах (4) – (7).

Определение коэффициентов K, a, b, входящих в формулу (4) можно выполнить, применяя описанные выше процедуры.

Особенность формул (5) – (7) в том, что в их состав входит экспериментально определяемая величина только в левую часть, в правую часть этих формул входят только постоянные величины, определение значения которых и является целью исследования.

Сравнивая условия (1) и (5) и, принимая во внимание замены переменных, показанные в (2), получим, что при:

$$M = Dq(1 + Bv_c^2)\,; \qquad m = -\lambda C \frac{s}{q} \tag{30}$$

они совпадают. Сравнивая таким же образом выражения (1) и (7), получим, что при:

$$R = D\left(1 + Bv_c^2\right)q\,; \qquad r = -\lambda C d^2 s \tag{31}$$

они также совпадают.

Для определения численного значения величины N, входящей в условие (6) используем приведенное в работе [3] условие:

$$\Delta E = \lambda As\left(1 + Bv_{cp}^n\right)d^2. \tag{32}$$

Следовательно:

$$N = \lambda As\left(1 + Bv_{cp}^n\right)$$

В соответствии с работой [3] примем, что:

$$v_{cp} = \frac{v_c + v_s}{2}. \tag{33}$$

Тогда функционал метода наименьших квадратов, с учётом (2) примет вид:

$$L = \sum_{i=1}^{w}\left(\frac{\Delta E}{d^2} - \frac{\lambda a\pi}{4}s\left[1 + \frac{b}{a}\left(\frac{v_{ci} + v_{si}}{2}\right)^n\right]\right)^2 \to \min_{\lambda,a,b,n}. \tag{34}$$

Таким образом, описан способ определения все постоянных величин, используемых при исследовании свойств пуль и их проектировании с заранее заданными свойствами.

Выводы

1. Сформулирована обратная задача о действии пули по цели/ Результаты её решения могут быть использованы при конструировании пуль с заранее заданными свойствами.
2. Решение поставленной задачи получено с использованием методов нелинейного регрессионного анализа.
3. Поиск минимума функционала метода наименьших квадратов выполнен вариантом метода деформируемого многогранника.

Список литературы

1. Благонравов В.А. Основания проектирования стрелкового оружия / В.А. Благонравов. – М.: Госуд. Изд-во оборонной промышленности, 1940. – 485 с.

2. Данилин Г.Ф. Основы проектирования патронов к стрелковому оружию / Г.Ф. Данилин, В.П. Огородников, А.Б. Заволокин. – Спб., Изд. Балт. Гос. ун-т, 2005. – 374 с.

3. Кириллов В.М. Основания устройства и проектирования стрелкового оружия. Свойства, баллистическое решение, патроны, стволы / В.М. Кириллов. – Пенза: Пензенское высшее артиллерийское училище, 1963. – 342 с.

4. Горохов М.С. Внутренняя баллистика ствольных систем / М.С. Горохов. – М.: ЦНИИ информации, 1985. – 160 с. / [Электрон. ресурс]. – Режим доступа к источнику: http: //w.w.w. twirpx. com /files/ 568791-30.12.2012; загл. с экрана.

5. Коновалов А.А. Внешняя баллистика /А.А. Коновалов, Ю.В. Николаев. – М.: ЦНИИ информации, 1979. – 228 с. / [Электрон. ресурс]. – Режим доступа к источнику: http: //w.w.w. padabum.com / d.php?id=1424; загл.с экрана.

6. Померанцев А.Л. Методы нелинейного регрессионного анализа для моделирования кинетики химических и физических процессов: дисс. ... д-ра физ.-мат. наук: 01.04.17 / Померанцев Алексей Леонидович. – М.: Институт химической физики Российской Академии Наук, 2007. – 304 с.

7. Демиденко Е.З. Линейная и нелинейная регрессии / Е.З. Демиденко. – Изд. «Финансы и статистика», 1981. – 302 с.

8. Дубницкий В.Ю. Визначення параметрів виробничої функції із сталою еластичністю / В.Ю. Дубницький, Б.В. Самородов // Системи обробки інформації. – 2008. – Вип. 7 (74). – С. 169-172.

9. Химмельблау Д. Прикладное математическое программирование / Д. Химмельблау. – М.: МИР, 1975. – 533 с.

10. Лук'яненко І.Г. Економетрика: підруч. / І.Г. Лук'яненко, Л.І. Краснікова. – К.: Тов-во «Знання», КОО, 1998. – 494 с.

Поступила в редколлегию 28.09.2012

Рецензент: д-р физ.-мат. наук, проф. М.В. Новожилова, Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, Харьков.

ПОСТАНОВКА ТА РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗВОРОТНЬОЇ ЗАДАЧІ ПРО ДІЮ КУЛІ ПО ЦІЛІ

В.Ю. Дубницький

Сформульована та розв'язана зворотня задача про дію кулі по цілі. В результаті її розв'язку запропонована методика, яка дає можливість за результатами обробки даних балістичних експериментів визначити чисельні значення величин, які характеризують взаємодію кулі і цілі. Результати розв'язку задачі можна використати при конструюванні куль із заздалегідь заданими властивостями. Розв'язок поставленої задачі отримано з використанням методів нелінійного регресійного аналізу і методу многогранника, що деформується.

Ключові слова: *куля, властивості кулі, убійна дія кулі, пробивна дія кулі, пряме завдання проектування, зворотне завдання проектування, нелінійний регресійний аналіз.*

RAISING AND DECISION OF INVERSE OF TASK ABOUT KILLING POWER ACTION OF BULLET FOR AIMS

V.Yu. Dubnickiy

It is defined the problem and it is solved an inverse task of the bullet action on the target. As a result of its solving it is offer the methods, which allows due to the results of data processing of ballistic experiments to determine the numerical values of quantities characterizing the interaction of bullets and targets. The solution results of the given task can be used in the construction of bullets with preset properties. The solution of the given task is received using the method of nonlinear regression analysis and the downhill simplex method.

Keywords: *bullet, properties of bullet, inverse design, nonlinear regression analysis, the downhill simplex method.*