

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ БЕЗОПАСНОСТИ, НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА

УДК 621.8.019

О ФОРМАЛИЗАЦИИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ КОМПЛЕКСНЫХ ПРОГРАММ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ И РИСКА

В. А. Грущанский, Н. К. Юрков

Современный этап развития человеческого общества характеризуется разработкой и реализацией сложнейших комплексных программ в различных областях целенаправленной деятельности. При этом комплексные программы должны быть взаимоувязаны и направлены на достижение основной цели деятельности – удовлетворение важнейших потребностей человека.

Разработка и реализация таких программ немыслима без всестороннего исследования их эффективности. В недалеком прошлом этим исследованиям придавалось первостепенное значение практически без глубокого анализа других возможных последствий. В то же время любой вид целенаправленной деятельности, кроме очевидной полезности, может сопровождаться целым рядом негативных факторов, представляющих значительную опасность для человека, окружающей среды и особенно для будущих поколений. Исследованиям этой стороны деятельности в прошлом не придавалось должного значения, и в лучшем случае опасные факторы рассматривались на качественном уровне без детальных количественных оценок. В последние годы ситуация резко изменилась. Это связано с лавинообразным ростом числа и последствий техногенных и природных аварий и катастроф, хищническим расходом и распродажей природных ресурсов, с конфликтами различного уровня и т.д.

К проблемам обеспечения безопасности в настоящее время привлечено внимание ученых и специалистов в самых различных областях деятельности, общественных объединений, многих стран мира и всего мирового сообщества [1, 2]. В последние годы под эгидой Вычислительного центра им. Дородницына РАН проведены три Международные научные конференции по направлению «Фундаментальные проблемы системной безопасности» [3].

Особенно остро эти проблемы стоят в России. Это связано с резкими изменениями условий, касающихся взаимоотношений внутри страны и между странами, бесконтрольным рынком, конверсией оборонного комплекса, распадом ряда структур государственного аппарата и др.

Комплексное решение проблем обеспечения безопасности и устойчивого развития требует взаимоувязанного сбалансированного исследования как полезности (эффективности) различных видов целенаправленной деятельности, так и негативных ее последствий, связанных с полным спектром возможных опасностей природного, техногенного и конфликтного характера.

Научное направление исследований в такой постановке получило краткое обозначение – «системная безопасность», отражающее [1]:

- обеспечение баланса эффективности и безопасности деятельности;
- учет полного спектра опасных факторов;
- разработку исчерпывающей системы мер безопасности;

- учет взаимоувязанной совокупности аспектов деятельности (политического, социального, экономического, оборонного, научно-технического);
- учет всех этапов жизненного цикла программ и систем (разработка, создание, эксплуатация, модернизация, утилизация).

Заметим, что научные разработки для количественного анализа эффективности деятельности в настоящее время достаточно развиты и широко опубликованы, например [4–6]. Научные работы в области безопасности исследованы в меньшей степени. Для принятия взвешенных решений при разработке и реализации комплексных программ необходимо проведение взаимоувязанных исследований как эффективности, так и безопасности с количественным сопоставлением результатов и последствий реализации программ по этим показателям.

Эффективность комплексных программ и систем может быть оценена на основе моделирования соответствующих операций деятельности, учитывающих взаимодействие систем (которые в общем случае могут иметь противоположные интересы), условия операций, реакции со стороны систем более высокого уровня иерархии и другие факторы [4, 6].

В качестве показателей эффективности W могут рассматриваться:

- непосредственно эффективность достижения цели P (например, вероятность решения задач, обеспечивающих достижение цели);
- стоимость или другие затраты ресурсов C , обеспечивающих достижение цели;
- сроки реализации программ T при заданных затратах;
- степень реализуемости программ ρ при заданных располагаемых ресурсах и сроках.

Количественные оценки безопасности B программ могут базироваться на основе определения вероятностей снижения опасных факторов до уровней, которые рассматриваются как безопасные для объекта защиты в течение заданного интервала времени.

В качестве показателей безопасности могут рассматриваться:

- степень снижения риска возникновения опасности $\Delta_r = 1 - r$;
- степень риска r ;
- вероятность предотвращения риска, превышающего допустимый уровень $P(r > r_{\text{доп}})$;
- математическое ожидание предотвращенного ущерба M_y и др.

Пусть все показатели W и B приведены к такому виду, что увеличение их значений выгодно лицу, принимающему решение (ЛПР). Этого можно добиться, например, сменой знака или рассмотрением обратной величины. В основу оценок безопасности также может быть положено моделирование соответствующей операции взаимодействия опасных факторов и мер их парирования в определенных условиях. Не привязываясь к конкретным комплексным программам, рассмотрим в общем виде вопросы формализации оценок эффективности и безопасности. Для краткости обозначим векторные показатели эффективности и безопасности $\{W, B\} \leftrightarrow F$, так как принципы сопоставления вариантов программ и систем и выбора рациональных могут быть идентичны. При этом предполагаем, что векторные показатели W и B определяются по известным методикам и моделям, учитывающим специфику конкретных программ и систем.

Пусть V – множество вариантов рассматриваемых программ (для общности рассуждений в качестве программы можно рассматривать отдельные разработки систем, образцов сложных технических систем и т.д.). Тогда для некоторого варианта $v \in V$ векторный показатель последствий рассматриваемой операции представится в виде

$$F(v) = \{F_1(v), F_2(v), \dots, F_s(v), \dots, F_n(v)\}, \quad (1)$$

где $F_s(v), s = \overline{1, k}$ – составляющая векторного показателя (эффективности или безопасности) при реализации варианта программы в заданных условиях.

Зависимость (1) может быть конкретизирована для показателей эффективности и безопасности с учетом выделенных выше примеров показателей рассматриваемых последствий деятельности:

$$\begin{aligned} W(v) &= \{P(v), C(v), T(v), \rho(v), \dots\}, \\ B(v) &= \{\Delta_r(v), r(v), P(r > r_{\text{доп}}, v), M_y(v), \dots\}. \end{aligned} \quad (2)$$

Если зависимости типа (2) и обобщенного типа (1) могут быть определены для каждого варианта программы $v \in V$, то задача состоит в формировании множества допустимых стратегий $v \in V$ с учетом заданных ограничений и в выборе одной из них $v^* \in V$, обеспечивающей рациональное сбалансированное соотношение «эффективность – безопасность». Выбор v^* может производиться на основе некоторого критерия выбора R (или формализованного решающего правила, позволяющего сопоставлять варианты стратегий и осуществлять направленный выбор рационального v^* из допустимого множества $v \in V$).

Наиболее общим случаем выработки взвешенных решений является наличие векторного показателя $F(v)$ и высокая степень неопределенности условий операции $u \in U$. Неопределенность может быть связана с нечеткой или неоднозначной формулировкой задачи операции, с условиями проведения операции, которые заранее неизвестны, с активным противодействием достижению цели и другими факторами. Пусть варианты условий операции могут быть заданы конечным множеством вида

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_j, \dots, u_m\},$$

где $u_j, (j = \overline{1, m})$ – j -я группа некоторых однородных условий, позволяющая определить обобщенный показатель $F(v_i, u_j)$ для стратегии (варианта программы v_i и условий u_j).

Здесь для наглядности рассматривается случай, когда программа (система) ориентирована на решение одной обобщенной задачи.

Тогда матрица возможных решений и соответствующих им обобщенных показателей $F(v_i, u_j)$ может быть представлена в виде

| v | u_1 | u_2 | ... | u_j | ... | u_m | $F_o(v)$ |
|-------|---------------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|------------|
| v_1 | $F(v_1, u_1)$ | $F(v_1, u_2)$ | ... | $F(v_1, u_j)$ | ... | $F(v_1, u_m)$ | $F_o(v_1)$ |
| v_2 | $F(v_2, u_1)$ | $F(v_2, u_2)$ | ... | $F(v_2, u_j)$ | ... | $F(v_2, u_m)$ | $F_o(v_2)$ |
| ... | | | | | | | ... |
| v_i | $F(v_i, u_1)$ | $F(v_i, u_2)$ | ... | $F(v_i, u_j)$ | ... | $F(v_i, u_m)$ | $F_o(v_i)$ |
| ... | | | | | | | ... |
| v_n | $F(v_n, u_1)$ | $F(v_n, u_2)$ | ... | $F(v_n, u_j)$ | ... | $F(v_n, u_m)$ | $F_o(v_n)$ |

В общем случае показатели в каждой строке матрицы (3) могут быть как одинаковы по смыслу, так и различными в зависимости от условий u_j , например, вида (2). Последний столбец матрицы $F_o(v)$ представляет некоторую свертку значений, учитывающую значения всех показателей каждой строки $v_i, i = \overline{1, n}$. Такое обобщение значений показателей каждой строки определяет решающее правило выбора рациональной стратегии $v^* \in V$. Выбор рациональной стратегии v^* предполагает решение следующих основных задач:

- определение обоснованного выбора свертки $F_o(v), v \in V$;
- выбор такой стратегии $v^* \in V$, при которой $F_o(v)$ принимает максимальное значение, т.е. реализовать формализованное правило выбора:

$$v^* = \{v^* : v^* \in V \wedge [F_o(v^*) = \max_i F_o(v_i)]\}. \tag{4}$$

Интерес представляет подход, который обобщает ряд известных принципов свертки частных показателей. Этот подход основан на аддитивном объединении трех составляющих для каждой рассматриваемой стратегии $v \in V$ [6]:

- среднее взвешенное по вероятности значение показателей $F(v_i, u_j), (j = \overline{1, m})$;
- максимальное значение показателя $\max_j F(v_i, u_j), (j = \overline{1, m})$;
- минимальное значение показателя $\min_j F(v_i, u_j), (j = \overline{1, m})$.

В общем виде такая свертка показателей может быть представлена в следующем виде:

$$F_o(v_i) = \alpha_1 \sum_{j=1}^m P_j F(v_i, u_j) + \alpha_2 \min_j F(v_i, u_j) + \alpha_3 \max_j F(v_i, u_j), \quad (5)$$

причем $\sum_{j=1}^m P_j = 1$; $(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3) \geq 0$; $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1$, где $(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$ – весовые коэффициенты соответствующих составляющих; P_j – вероятности появления условий u_j (объективные или субъективно предполагаемые).

Задавая различные сочетания значений $P_j, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$, можно получить различные критерии выбора решений в условиях неопределенности и при наличии как скалярного, так и векторного показателя эффективности и безопасности. Приведем отдельные случаи свертки и принципы выбора для них рациональных стратегий v^* [5].

Пусть $\alpha_1 = 1$, тогда

$$F_o(v^*) = \max_i \sum_{j=1}^m P_j F(v_i, u_j). \quad (6)$$

Критерий выбора (6) называют принципом наибольшего среднего результата. Эта свертка дает либо средние взвешенные по вероятности, либо средние арифметические значения показателей, из которых выбирается максимальный, определяющий $v^* \in V$. Случай $\{P_j = \text{const}_j, \sum_j P_j = 1\}$

может рассматриваться в тех ситуациях, когда варианты условий равновероятны или неизвестны, но субъективно предполагаются равновероятными (принцип нейтралитета) [6]. Формализованное правило выбора рациональной стратегии $v^* \in V$ здесь и в дальнейшем будет соответствовать логическому соотношению типа (4).

При $\alpha_2 = 1$

$$F_o(v^*) = \max_i \min_j F(v_i, u_j).$$

Этот критерий называется критерием Вальда (гарантированного результата, пессимизма или максимина).

При $\alpha_3 = 1$

$$F_o(v^*) = \max_i \max_j F(v_i, u_j),$$

что соответствует принципу оптимизма.

При $\alpha_1 = 0$

$$F_o(v^*) = \max_i [\alpha_2 \min_j F(v_i, u_j) + \alpha_3 \max_j F(v_i, u_j)],$$

что соответствует критерию Гурвица или принципу пессимизма-оптимизма; $\alpha_2 + \alpha_3 = 1$, а их соотношение может определяться экспертным путем. Чем опаснее ситуация, тем ближе α_3 к нулю.

При $\alpha_2 = 0$

$$F_o(v^*) = \max_i [\alpha_1 \sum_{j=1}^m P_j F(v_i, u_j) + \alpha_3 \max_j F(v_i, u_j)];$$

этот критерий называют принципом сдержанного оптимизма.

При $\alpha_3 = 0$

$$F_o(v^*) = \max_i [\alpha_1 \sum_{j=1}^m P_j F(v_i, u_j) + \alpha_2 \min_j F(v_i, u_j)];$$

это критерий сдержанного пессимизма.

Выбором соотношений вероятностей P_j , кроме рассмотренных случаев, могут изучаться и другие. Например, заданием для части вероятностей нулевых значений можно исключить из рассмотрения маловероятные варианты условий при оценке средневзвешенного значения показателей. Варьируя коэффициентами α , можно учесть специфические особенности ЛППР, такие как:

- человек, склонный к риску, может ориентироваться на большие значения коэффициентов α_3 и принимать их близкими к единице;
- если ЛППР – человек осторожный и ориентируется на минимальные значения показателей $F(v_i, u_j)$, то коэффициент α_2 принимается близким к единице;
- человек, склонный к осторожному риску, ориентируется на средневзвешенные результаты и может принимать наибольшие значения коэффициентов α_1 и перераспределять по своему усмотрению и интуиции с учетом статистических данных вероятности P_j .

При затруднениях в выборе коэффициентов α и распределения P_j может использоваться принцип «относительного пессимизма» или минимального «сожаления», который принято называть принципом Сэвиджа. Для этого строится матрица сожалений вида

$$\bar{F}(v_i, u_j) = \max_i F(v_i, u_j) - F(v_i, u_j). \quad (7)$$

Эта матрица будет иметь вид типа (3), но для «сожалений», т.е. потерь показателя эффективности или безопасности при выборе того или иного варианта по сравнению с вариантом, обеспечивающим максимум показателя для каждого варианта условий. Построив такую матрицу, можно получить свертку сожалений:

$$\bar{F}_o(v_i) = \max_j [\max_i F(v_i, u_j) - F(v_i, u_j)]. \quad (8)$$

Решающее правило по принципу Сэвиджа может выглядеть так:

$$v^* = \{v^* : v^* \in V \wedge [\bar{F}_o(v^*) = \min_i \bar{F}_o(v_i)]\}. \quad (9)$$

Имея матрицу «сожалений» типа (7), свертка показателей может быть получена в виде трех составляющих, аналогично зависимости (5), однако следует иметь в виду, что составляющие матрицы – это потери эффективности или безопасности, поэтому символы \max и \min необходимо поменять местами и в дальнейшем получить аналогичные зависимости, задавая значения коэффициентам $(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$ 0 и 1.

Для выбора рационального варианта v^* целесообразно рассматривать все принципы выбора. Пусть на основе тех или иных принципов выделен один или несколько рациональных вариантов из множества возможных решений (программ, систем, образцов и т.д.). Обозначим v_w^* и v_B^* –

множество рациональных вариантов, выбранных по показателям эффективности и безопасности соответственно. Представив эти множества в некотором пространстве возможных решений, можно выделить следующие соответствия рациональных множеств v_w^* и v_B^* :

– указанные множества имеют один общий вариант, обеспечивающий максимальную эффективность и безопасность;

– указанные множества имеют несколько общих вариантов, тогда выбор одного варианта может быть прерогативой ЛПР или потребуются дополнительный анализ других, не рассматривавшихся в моделях факторов;

– указанные множества не имеют общих вариантов.

Последний из указанных случаев является наиболее типичным и требует дополнительного анализа для принятия взвешенного решения. Этот случай объясняется в принципе противоречивым характером требований по эффективности и безопасности. Для пояснения этого тезиса укажем на тот факт (хотя и дискуссионный), что в ряде случаев наивысшая безопасность, например, с позиции экологической обстановки и техногенных факторов, соответствует отсутствию какой-либо деятельности (т.е. минимальной эффективности). Дискуссионность этого утверждения состоит в том, что отсутствие деятельности сопряжено с тем, что основные потребности человека не удовлетворяются.

Выбор рационального варианта, когда нет общих точек указанных множеств, может осуществляться следующим образом:

– принятие взвешенного решения осуществляет ЛПР, отдавая приоритет эффективности либо безопасности;

– расширяются области рациональных вариантов v_w^* и v_B^* путем последовательных уступок – ΔW и ΔB до тех пор, пока множества не обеспечат взаимное перекрытие, включающее не менее одного общего варианта.

Следует отметить, что получение области пересечения множеств, содержащей несколько вариантов (на основе принципов выбора или путем уступок), – это один из способов обеспечения для ЛПР некоторой свободы принятия решений с учетом его индивидуальных особенностей (опыта, интуиции, других психофизиологических факторов).

Рассмотренные в настоящей статье методические подходы и формализованные принципы сбалансированного анализа как эффективности, так и безопасности разработки программ, систем, образцов, других видов деятельности в различных областях даны в плане обсуждения для дальнейшего развития затронутой проблемы.

Список литературы

1. Основы системной безопасности : учеб. пособие / под ред. А. В. Ильичева, Е. В. Тарасова. – М. : МАИ, 1995. – 110 с.
2. Моисеев, Н. Н. Человек и биосфера. Опыт системного анализа и эксперименты с моделями / Н. Н. Моисеев, В. В. Александров, А. М. Тарко. – М. : Наука, 1985. – 272 с.
3. Фундаментальные проблемы системной безопасности. – М. : Вузовская книга, 2008. – Вып. 1. – 568 с. ; 2010. – Вып. 2. – 448 с. ; 2012. – Вып. 3. – 664 с.
4. Ильичев, А. В. Эффективность проектируемой техники. Основы анализа / А. В. Ильичев. – М. : Машиностроение, 1991. – 336 с.
5. Северцев, Н. А. Принципы оценки текущего состояния безопасности динамических систем / Н. А. Северцев // Вопросы теории безопасности и устойчивости систем. – 2012. – Вып. 14. – С. 3–10.
6. Надежность и эффективность в технике : справочник : в 10 т. / ред. совет: В. С. Авдуевский (пред.) [и др.]. – М. : Машиностроение, 1988. – Т. 3. Эффективность технических систем / под общ. ред. В. Ф. Уткина, Ю. В. Крючкова. – 328 с.

УДК 621.8.019

Грущанский, В. А.

О формализации показателей эффективности и безопасности комплексных программ в условиях неопределенности и риска / В. А. Грущанский, Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 2. – С. 3–9.

Грущанский Василий Аркадьевич

доктор технических наук,
профессор, ведущий научный сотрудник,
Учреждение Российской академии наук
Вычислительный центр им. А. А. Дородницына РАН
119333, г. Москва, ул. Вавилова, 40.
E-mail: zemni@yamdex.ru

Юрков Николай Кондратьевич

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой,
кафедра конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный университет
440026, г. Пенза, ул. Красная, 40.
(841-2) 56-43-46
E-mail: yurkov_NK@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены вопросы сбалансированной увязки эффективности и безопасности комплексных программ для формирования взвешенных решений по их разработке и реализации. Приведены принципы выбора решений в условиях неопределенности и риска при формализованном сопоставлении векторных критериев эффективности и безопасности.

Ключевые слова: эффективность, безопасность, программа, критерий, сложная техническая система, условия.

V. Grushchanskij

doctor of technical science, professor, the scientific worker of the division of safety and nonlinear analysis the establishment of the Russian academy of sciences computer center A. A. Dorodnitsyn Russian academy of sciences 119333, Moscow, Vavilova street, 40.
E-mail: zemni@yamdex.ru

N. Yurkov

Doctor of Technical Science, professor, the managing of department construction and the production of radio equipment
Penza state university
440026, Penza, Red street, 40.
(841-2) 56-43-46
E-mail: yurkov_NK@mail.ru

Abstract. Reviewed questions balance the efficacy and safety of integrated programmes for sound decisions on their development and implementation. Are the principles of selection decisions under conditions of uncertainty and risk when formalized compared vector criteria of effectiveness and safety.

Key words: efficiency, security, program, test, complex technical system, conditions.