

В. Е. Гвоздев, В. Н. Мукасева, Н.И. Ровнейко

## ВЕРОЯТНОСТНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ РЕАЛИЗУЕМОСТИ ТРЕБОВАНИЙ К ПРОГРАММНОЙ СИСТЕМЕ

В статье рассматривается решение вопроса оценивания реализуемости требований к программной системе. Результаты исследования позволяют получить количественную оценку реализуемости требований в любой момент времени. Практическая ценность исследования заключается в возможности использования разработанного подхода для построения оценки косвенной характеристики реализуемости требований – времени реализации требований. Также предлагаемый подход позволяет разработать полностью формализованную процедуру оценки реализуемости требований, в том числе по их совокупности. *Время реализации требований; реализуемость требований; экспертные оценки; вероятностное моделирование*

### ВВЕДЕНИЕ

Одним из базовых признаков «хороших» требований к программной системе является их реализуемость [9, 10]. В связи с этим можно утверждать, что реализуемость требования относится к критическим параметрам программного проекта. Переход от качественных оценок значений этого параметра к количественным оценкам свидетельствует о росте зрелости организации [8].

Основу оценки реализуемости требований составляет, во-первых, персональный опыт правообладателей, накопленный ими в ходе предыдущей деятельности. Во-вторых, субъективная оценка ценности требования с точки зрения информационной логистики [7]. Следует подчеркнуть, что субъективное восприятие ценности требования со стороны правообладателя может изменяться в результате дискуссий. Такое явление в [2], со ссылкой на первоисточники, именуется интерсубъективностью. Отмеченные обстоятельства приводят к заключению о том, что оценка реализуемости носит экспертный, субъективный характер.

Оценка реализуемости требования отдельным правообладателем определяется сложностью его практической реализации. Сложность является латентной системной характеристикой, которую невозможно измерить, хотя бы по причине ее субъективного восприятия каждым правообладателем. Однако можно предложить измеримую косвенную характеристику сложности правообладателем – оценку времени ее реализации. При таком порядке время реализации требования следует рассматривать как случайную величину, для исследования которой можно применять аппарат математической статистики.

Основанием для такого утверждения является то, что время реализации требования определяется квалификацией разработчика. Этим обеспечивается воспроизводимость сроков реализации требования тем же разработчиком. С другой стороны, нерасчетные воздействия внешней, по отношению к разработчику, среды и случайное изменение его внутреннего состояния являются причиной случайного характера фактического времени реализации требования. Использование такой характеристики делает возможным, с одной стороны, сопоставлять реализуемость различных требований с точки зрения отдельного правообладателя. С другой стороны, получать сопоставимые оценки от разных правообладателей как для отдельных требований, так и для совокупности требований. Ограничением предлагаемого подхода является предположение о том, что правообладатели сознательно не искажают даваемых ими оценок.

### ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕАЛИЗУЕМОСТИ ОТДЕЛЬНЫХ ТРЕБОВАНИЙ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК

Временные оценки времени реализации могут даваться одним из следующих способов.

А) Задается ожидаемое время реализации требования, т. е. эксперт дает оценку вида «Для реализации требования в виде программного продукта потребуется две недели, ну а там как дела пойдут».

С формальной точки зрения ожидаемое время может рассматриваться как наиболее вероятная, с точки зрения отдельного правообладателя, оценка временных затрат на реализацию требования. Другими словами – как математическое ожидание непрерывной случайной вели-

чины – времени реализации требования. При этом учитываем, что непрерывная случайная величина имеет левостороннее ограничение (время реализации требования не может быть меньше нуля).

Известно, что исчерпывающей характеристикой непрерывной случайной величины является ее закон распределения [1].

Таким образом, приходим к следующей формальной постановке задачи:

**Дано:** математическое ожидание случайной величины  $M(t)$  с левосторонним ограничением, т. е.  $t \in [0, \infty]$ .

**Требуется:** осуществить преобразования

$$A: M(t), t \in [0, \infty] \rightarrow F(t).$$

**Решение задачи.** В [4, 5, 6] показано, что если в основу оценивания положить принцип максимизации неопределенности (энтропии), то в указанном случае оптимальной оценкой закона распределения непрерывной случайной величины будет показательный закон распределения, т. е. дифференциальная функция представляется в виде  $f(t) = \lambda \cdot \exp(-\lambda \cdot t)$ , причем параметр закона распределения определяется из соотношения  $\lambda = 1/M(t)$ . Вероятностная оценка реализуемости требования приобретает вид

$$F(t) = 1 - \exp(-\lambda \cdot t). \quad (1)$$

Б) Задается временной интервал, в течение которого ожидается реализация требования, т. е. эксперт дает оценку вида «Для реализации требования в виде программного продукта может потребоваться не более двух недель». Учитывая, что требование не может быть реализовано за время, меньшее нуля, и любой момент времени завершения реализации требования внутри заданного интервала является равновероятным, приходим к тому, что исходным данным для задачи является условие:  $t \in [0, b]$ , где  $b$  – верхняя граница временного интервала, в течение которого может быть реализовано требование.

Приходим к следующей формальной постановке задачи:

**Дано:**  $t \in [0, b]$ .

**Требуется:** осуществить преобразования

$$A: t \in [0, b] \rightarrow F(t).$$

**Решение задачи.** В упоминавшихся ранее работах показано, что в указанном случае оптимальной оценкой закона распределения непрерывной случайной величины будет равномерный закон распределения непрерывной случайной величины, т. е. дифференциальная функция представляется в виде  $f(t) = 1/b$ . Вероятностная

оценка реализуемости требования приобретает вид

$$F(t) = \frac{t}{b}. \quad (2)$$

В) Задается временной интервал, в течение которого ожидается реализация требования, а также ожидаемое время реализации требования в виде программного продукта. Другими словами, эксперт дает оценку вида «Для реализации требования в виде программного продукта, скорее всего, потребуется одна неделя. Крайний срок – две недели, причем этот срок является страховкой на случай каких-либо непредвиденных обстоятельств. Раньше же одной недели реализовать требование маловероятно».

В этом случае задается наиболее вероятное время реализации требования (математическое ожидание) – одна неделя. Кроме того, задаются границы диапазона изменения непрерывной случайной величины – от нуля до двух недель. Из оценки, даваемой экспертом, можно заключить, что по мере удаления от математического ожидания вероятность реализации случайной величины уменьшается. В силу того, что мы не можем из каких-либо объективных соображений обосновать разную скорость изменения вероятности появления случайной величины по мере удаления влево (вправо) от математического ожидания, разумно считать эти скорости постоянными.

Приходим к следующей формальной постановке задачи:

**Дано:**  $M(t), t \in [0, b]$ .

$$f(0) = f(b) = 0,$$

$$\frac{df(t)}{dt} = v_1 \text{ при } t \in [0, M(t)],$$

$$\frac{df(t)}{dt} = v_2 \text{ при } t \in [M(t), b].$$

Здесь  $v_j, j = 1, 2$  – скорости изменения плотности распределения случайной величины при движении влево и вправо от математического ожидания соответственно.

**Требуется:** осуществить преобразования

$$A: M(t), t \in [0, b] \rightarrow F(t)$$

при следующих ограничениях

$$f(0) = f(b) = 0,$$

$$\frac{df(t)}{dt} = v_1 \text{ при } t \in [0, M(t)],$$

$$\frac{df(t)}{dt} = v_2 \text{ при } t \in [M(t), b].$$

**Решением** поставленной задачи будет треугольное распределение, т. е. дифференциальная функция представляется в виде [3]:

$$f(t) = \begin{cases} \frac{2(t-t_n)}{(t_k-t_n)(t_m-t_n)} & \text{при } t_n \leq t \leq t_m; \\ \frac{2(t_k-t)}{(t_k-t_n)(t_k-t_m)} & \text{при } t_m \leq t \leq t_k, \end{cases}$$

где  $t_n, t_k$  – границы области возможных значений;  $t_m$  – мода.

Вероятностная оценка реализуемости требования приобретает вид:

$$F(t) = \begin{cases} \frac{t^2}{bM(t)} & \text{при } 0 \leq t \leq M(t); \\ 1 - \frac{(b-t)^2}{b(b-M(t))} & \text{при } M(t) \leq t \leq b. \end{cases} \quad (3)$$

Г) Задается временной интервал, в течение которого ожидается реализация требования, а также ожидаемое время реализации требования в виде программного продукта. Эксперт дает оценку вида: «Думаю, что для реализации требования в виде программного продукта потребуется, скорее всего, одна, в крайнем случае, две недели. Но если все пойдет хорошо, реализуем программный продукт и за меньший срок».

В этом случае задается наиболее вероятное время реализации требования (математическое ожидание) – одна неделя. Кроме того, задаются границы диапазона изменения непрерывной случайной величины – от нуля до двух недель. Из оценки, даваемой экспертом, невозможно заключить, как ведет себя плотность распределения по мере удаления от математического ожидания.

Приходим к следующей формальной постановке задачи:

**Дано:**  $M(t), t \in [0, b]$ .

**Требуется** осуществить преобразования:

$$A: M(t), t \in [0, b] \rightarrow F(t).$$

**Решение задачи.** В [6] показано, что если в основу оценивания положить принцип максимизации неопределенности (энтропии), то в указанном случае оптимальной оценкой дифференциальной функции распределения непрерывной случайной величины будет  $f(t) = \exp(\lambda_0 + \lambda_1 t)$ , причем параметры распределения определяются в результате решения системы уравнений вида

$$\int_0^b t^k \exp(\lambda_0 + \lambda_1 t) dt = v_k,$$

где  $k = 0, 1; v_0 = 1; v_1 = M(t)$ .

Вероятностная оценка реализуемости требования приобретает вид

$$F(t) = \int_0^t \exp(\lambda_0 + \lambda_1 \tau) d\tau. \quad (4)$$

Имея оценки законов распределения случайных величин – времени реализации требования – оценить вероятность реализации требования  $P_{\text{реализации}}$  за требуемое время  $T_{\text{зад}}$  не составляет труда:

$$P_{\text{реализации}} = \int_0^{T_{\text{зад}}} f(t) dt. \quad (5)$$

**Пример 1.** Допустим, относительно четырех разных требований эксперты дали оценки времени их реализации. Полученные оценки были преобразованы к сопоставимому виду – 40-часовым рабочим неделям (табл. 1).

Таблица 1

Номер требования	Оценка экспертом времени реализации требования
1	Для реализации требования в виде программного продукта потребуется две недели, ну а там как дела пойдут
2	Для реализации требования в виде программного продукта может потребоваться не более двух недель
3	Для реализации требования в виде программного продукта, скорее всего, потребуется одна неделя. Крайний срок – две недели, причем этот срок является страховкой на случай каких-либо непредвиденных обстоятельств. Раньше же одной недели реализовать требование маловероятно
4	Думаю, что для реализации требования в виде программного продукта потребуется, скорее всего, полторы, в крайнем случае, две недели. Но если все пойдет хорошо, реализуем программный продукт и за меньший срок

Предположим, что время, выделяемое для реализации требований в виде программных продуктов, составляет полторы недели. С использованием моделей (1–4) получаем количественные оценки реализуемости требований, представленные в виде графиков функции  $F(t)$  на рис. 1 и в численной форме в табл. 2.

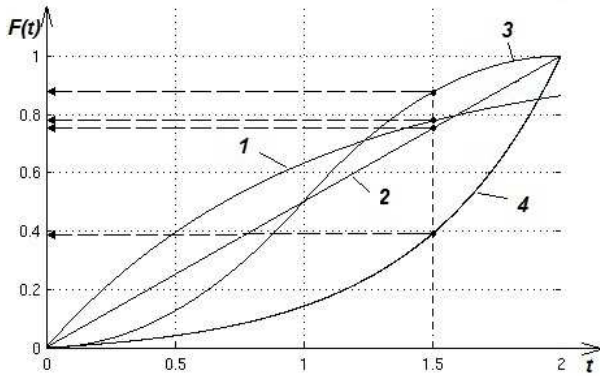


Рис. 1. Графическое представление функции  $F(t)$  для требований 1, 2, 3 и 4

Таблица 2

Номер требования	Оценка реализуемости требования
1	0,782
2	0,759
3	0,881
4	0,389

Полученные результаты могут служить информационной основой, например, для закрепления за реализацией требований определенных сотрудников.

Таким образом, приведены схемы преобразования оценок экспертов относительно времени реализации требований в оценки законов распределения случайных величин. Это создает основу для количественного оценивания вероятности реализуемости отдельных требований, и, соответственно, принятия решений, связанных с управлением реализацией требований. Подчеркнем, что оценка реализуемости, в силу своей субъективности, может быть изменена, если привлечь к разработке программного продукта другого исполнителя. Другими словами, по-разному распределяя требования между исполнителями, можно получить разные оценки реализуемости требований. Отмеченное обстоятельство является подтверждением адекватности подхода, основанного на оценке реализуемости посредством использования косвенной характеристики — ожидаемого времени реализации требования: реалистичность получения качественного программного продукта зависит от опыта привлекаемых разработчиков.

### ВЕРОЯТНОСТНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ РЕАЛИЗУЕМОСТИ СОВОКУПНОСТИ ТРЕБОВАНИЙ ОДНОГО РАНГА НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК

В любой момент времени  $t_i$  вероятность реализации  $j$ -го требования составляет  $P_j(t_i)$ . Полагая, что вероятность реализации  $k$ -го требования никак не влияет на вероятность реализации  $j$ -го требования, вероятностную оценку реализации совокупности требований с учетом (5) можно представить сверткой вида

$$F(t_i) = \frac{\sum_{j=1}^N \alpha_j \int_0^{t_i} f_j(\tau) d\tau}{\sum_{j=1}^N \alpha_j}, \quad (6)$$

где  $\alpha_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, N$  — весовой коэффициент, подчеркивающий ранг  $j$ -го требования.

В силу одинаковой значимости (одного ранга) требований, значения  $\alpha_j$ , где  $j = 1, 2, \dots, N$  одинаковы и (6) преобразуется к виду

$$F(t_i) = \frac{\sum_{j=1}^N \int_0^{t_i} f_j(t) dt}{N}. \quad (7)$$

Отметим, что (7) представляет выражение закона распределения непрерывной случайной величины посредством законов распределения порядковых статистик.

**Пример 2.** Допустим, относительно четырех разных требований эксперты дали оценки времени их реализации (табл. 1). Предположим, что время, выделяемое для реализации требований в виде программных продуктов, составляет полторы недели. Необходимо определить вероятность реализации всех четырех требований. На рис. 2 проиллюстрирован график функции (7).

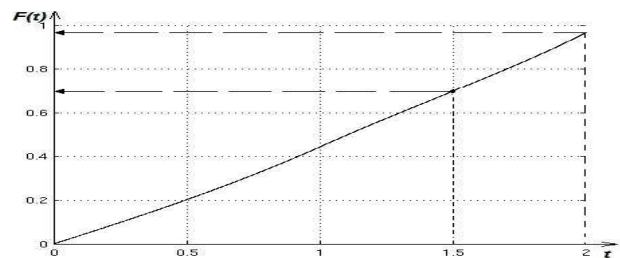


Рис. 2. Графическое представление функции  $F(t_i)$  для требований 1, 2, 3 и 4

Оценка реализуемости всех четырех требований в оговоренный срок будет составлять 0,703.

Таким образом, использование экспертных оценок времени реализации требований делает возможным осуществить вероятностное оценивание реализуемости совокупности требований одного ранга. При этом совокупная вероятностная характеристика (оценка закона распределения времени реализации совокупности требований) строится на основе оценок законов распределения времени реализации отдельных требований.

### АНАЛИЗ ИЗМЕНЧИВОСТИ ОЦЕНОК РЕАЛИЗУЕМОСТИ ТРЕБОВАНИЙ ВО ВРЕМЕНИ

Оценки реализуемости требований могут изменяться во времени. Формально это выражается в изменении оценок экспертов относительно времени реализации требований.

В случае анализа отдельных требований, изменение оценки реализуемости выражается, в соответствии с (5), изменением вероятности реализации требований за время  $T_{\text{зад}}$ . В случае оценки реализуемости совокупности требований количественно изменчивость можно охарактеризовать разными метриками, что является выражением известной особенности моделирования сложных систем – полиморфизма.

Одним из возможных подходов к анализу изменчивости составляет использование (7), причем оценки вероятности реализации требования  $P_j(t_i)$ , где  $i=1, 2, \dots, M$ ,  $j=1, 2, \dots, N$  для каждого  $i$ -го момента времени рассчитывается на основе (5).

**Пример 3.** В табл. 3 представлены оценки разных экспертов относительно двух требований, относящиеся к моментам времени  $t_1$ ,  $t_2$  и  $t_3$  соответственно.

С использованием оценок, описанных в табл. 3, получаем количественные оценки реализуемости двух требований, представленные в виде графиков функции  $F(t)$  на рис. 3.

В табл. 4 приведены оценки реализуемости совокупности требований, соответствующие моментам времени  $t_1$ ,  $t_2$  и  $t_3$ .

Следует отметить, что помимо (7) можно предложить другие подходы построения интегральных оценок.

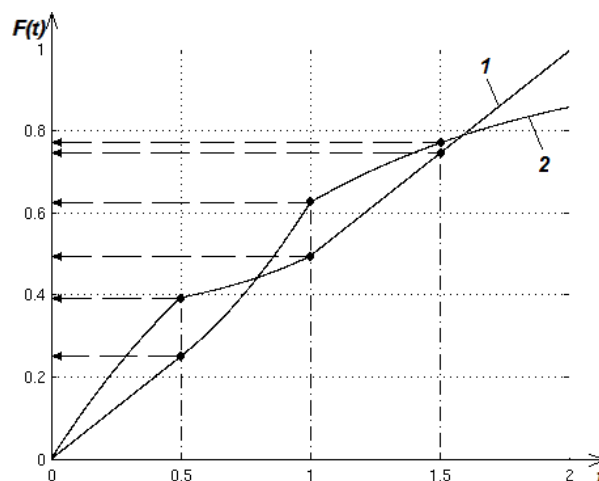


Рис. 3. Графическое представление функции  $F(t)$  для требований

Таблица 3

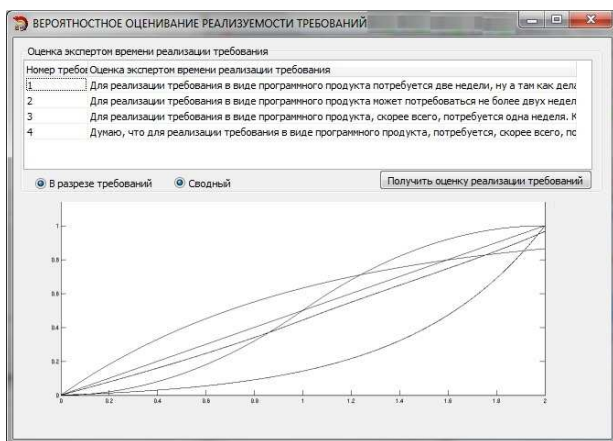
Момент времени	Номер требования	Оценка экспертом времени реализации требования
$t_1$	1	Для реализации требования в виде программного продукта потребуется две недели, ну а там как дела пойдут
	2	Для реализации требования в виде программного продукта может потребоваться не более двух недель
$t_2$	1	Думаю, что для реализации требования в виде программного продукта, потребуется, скорее всего, полторы, в крайнем случае, две недели. Но если все пойдет хорошо, реализуем программный продукт и за меньший срок
	2	Для реализации требования в виде программного продукта, скорее всего, потребуется одна неделя. Крайний срок – две недели, причем этот срок является страховкой на случай каких-либо непредвиденных обстоятельств. Раньше же одной недели реализовать требование маловероятно
$t_3$	1	Для реализации требования в виде программного продукта может потребоваться не более двух недель
	2	Для реализации требования в виде программного продукта потребуется две недели, ну а там как дела пойдут

Таблица 4

Момент времени	Вероятность реализации совокупности требований
$t_1 = 0,5$	0,324
$t_2 = 1,0$	0,553
$t_3 = 1,5$	0,752

### ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕАЛИЗУЕМОСТИ ТРЕБОВАНИЙ

Предлагаемый подход позволяет полностью формализовать процедуру оценки реализуемости требований как по совокупности, так и для каждого требования в отдельности. Как следствие, это делает возможным разработку программного продукта для поддержки принятия решений относительно реализуемости требований. На рис. 4 представлена одна из экранных форм разработанного программного продукта.



**Рис. 4.** Экранная форма отображения графика зависимости времени от вероятности реализуемости требования

Данный программный продукт позволяет оценивать реализуемость требований на основе экспертных оценок правообладателей, что делает возможным повысить обоснованность принимаемых решений по управлению проектом.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемый подход позволяет получить количественные оценки реализуемости требований на основе экспертных оценок правообладателей. Предложены типовые структуры оценок, позволяющие построить на их основе оценки косвенной характеристики реализуемости требований – времени реализации требований. Предлагаемый подход позволяет разработать полностью формализованную процедуру оценки реализуемости требований, в том числе по совокупности. Это в свою очередь сделало возможным разработать инструмент (*Tool*),

предназначенный для поддержки принятия решений правообладателями на этапе согласования требований.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Вентцель Е. С.** Теория вероятностей. М.: Издательск. центр «Академия», 2003. 576 с.
2. **Виттих В. А.** Организация сложных систем. Самара: Самарск. науч. центр РАН, 2010. 66 с.
3. **Дружинин Г. В.** Надежность автоматизированных систем. М.: Энергия, 1977. 536 с.
4. **Кузин Л. Т.** Основы кибернетики. Т. 1. М.: Энергия, 1973. 504 с.
5. **Каган А. М., Линник Ю. В., Рао С. Р.** Характеризационные задачи математической статистики. М.: Наука, 1972. 656 с.
6. **Трайбус М.** Термостатика и термодинамика. М.: Энергия, 1970. 504с.
7. Информационная логистика и менеджмент потока работ КУРТ ХЭССИГ МАРТИН АРНОЛЬД, [http://vasilievaa.narod.ru/ptpu/17\\_5\\_97.htm](http://vasilievaa.narod.ru/ptpu/17_5_97.htm).
8. Capability Maturity Model Integration (CMM-ISM), Version 1.1 CMMISM for Software Engineering Staged Representation CMU/SEI-2002-TR-029 SC-TR-2002-029, 2002.
9. IEEE Guide to the Software Engineering Body of Knowledge – SWEBOOK, 2004.
10. Project Management Institute 2000 «A Guide to the Project Managemnt Body of Knowledge» Newton Square. Pa: Project Management Institute.

### ОБ АВТОРАХ

**Гвоздев Владимир Ефимович**, проф., зав. каф. автоматизации проектирования инф. систем. Дипл. инженер электронной техники (УАИ, 1978). Д-р техн. наук по АСУ (УГАТУ, 2000). Иссл. в обл. АСУ, открытых инф. систем, прикл. статистики, теории надежности, контроля и управления состоянием окружающей среды, управления программными проектами.

**Мукасеева Валентина Николаевна**, доц. той же каф. Дипл. инженер-электrofизик (ЛПИ, 1972). Канд. техн. наук (УГАТУ, 1992). Иссл. в обл. проектирования инф. систем.

**Ровнейко Николай Иванович**, асп. той же каф. Дипл. магистр по информатике и вычислительн. технике (УГАТУ, 2010). Готовит дис. в обл. управления программными проектами.