

УДК 658.012.23 + 658.011.3

**В.Н. КРАСНИКОВ, В.А. МАКАРИЧЕВ**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина*

## НЕОПРЕДЕЛЁННОСТЬ, ЭНТРОПИЯ И ПРОЕКТНЫЕ РИСКИ

*В статье обсуждается вопрос, что следует понимать под ситуацией неопределённости при решении задачи управления проектами, и вводится разделение основных источников возникновения рисков на случайные, порождающие ситуацию неопределённости, и обусловленные погрешностями менеджмента (планирования, управления и т.п.). Проведён анализ распределения длительности работ проекта. Установлено, что указанные распределения не являются нормальным, что при оценке рисков выполняемых проектов не позволяет использовать функцию Лапласа для нахождения вероятностей попадания искомых случайных величин в заданный интервал. Использовано понятие вероятностной энтропии для оценки ситуативной обстановки рынка.*

**Ключевые слова:** неопределённость, энтропия, вероятность, случайные события, риски, управление проектами, распределения.

### Введение

В трудах экономистов [1, 2] встречаются различные трактовки риска, выявляющие важные черты и содержание риска применительно к деятельности в условиях неопределённости. При этом под деятельностью понимается непрерывное регулирование различных сторон экономической системы на основе учёта интересов, потребностей и целевых установок субъектов рынка.

В публикациях, посвящённых проблемам принятия решений при планировании и управлении проектами в условиях неопределённости и риска [3 – 5], также и с этой точки зрения риск определяется как деятельность, связанная с преодолением неопределённости в ситуации неизбежного выбора, в процессе которой предполагается качественно и количественно определить вероятность достижения ожидаемого результата или отклонения от поставленной цели. Причём основной целью управления рисками проекта объявляется снижение вероятности наступления нежелательных для проекта явлений и их негативного воздействия.

Здесь уместно заметить, что многие события, приводящие к потерям в экономике, происходят совсем не потому, что они имеют вероятностную природу. Вполне детерминированные процессы могут приводить экономики не только отраслей, но и государств, к серьёзным ущербам, т.е. к кризису.

Трудно предположить, что в публикациях под ситуацией неопределённости понимается плохое планирование, низкая квалификация персонала, низкая производственная дисциплина, приводящая к нарушению технологии, бесконтрольное использо-

вание ресурсов, несвоевременное принятие управленческих решений и т.п., или, короче говоря – низкий уровень менеджмента. Поэтому в данной работе ставится задача чётко определить понятие неопределённости, что, как мы надеемся, позволит продвигаться в сторону количественной оценки рисков и, тем самым, действительно повысить эффективность процессов реализации проектов.

### Постановка задачи и основная идея решения

Функционирование широкого класса систем (включая и экономические) существенным образом связано с получением и переработкой информации, поскольку без её получения невозможно принятие управленческого решения. Одним из естественных соображений является то, что количество информации об осуществлённом конкретном выборе должно быть тем больше, чем более неопределённым является этот выбор до получения информации, т.е. чем более многообразны были первоначальные возможности того или иного выбора (исхода).

При этом в случае  $n$  равновероятных исходов мерой количества информации, приносимой конкретным выбором, оказывается величина

$$I = \log n,$$

называемая мерой Хартли.

К. Шеннон обобщил понятие меры информации на общий случай неравновероятных исходов и неопределённостей. Её уже недостаточно было определять просто количеством исходов  $n$ , т.к. необходимо было учитывать различные вероятности появления каждого из них.

Многообразие проблем, охватываемых прикладной теорией информации, привело к её специфическим методическим аспектам. В первую очередь, эта специфика проявилась в формах её количественного определения. Обращение к не вполне формализованным, а в ряде случаев и к принципиально неформализованным проблемам (социология, психология и менеджмент), наложило отпечаток на используемый при этом аппарат теории информации, что равносильно «математической нестрогости» в традиционно понимаемом смысле. Ценность теоретико-информационных представлений заключается в том, что благодаря их общности и абстрактности разнородные физические и технические характеристики оказывается возможным выразить через такое универсальное понятие, как энтропия, выразить и сопоставить не только качественно, но и количественно.

Каждому явлению, с которым связаны случайные события, присуща некоторая неопределённость в его исходе. Так для случайного явления с двумя возможными исходами очевидно следующее: если вероятности появления события  $x$  и противоположного  $\bar{x}$  равны и никакого приоритета событие  $x$  с точки зрения его возникновения не имеет по сравнению с  $\bar{x}$ , то степень неопределённости будет максимальной (это будет показано ниже). С увеличением числа исходов степень неопределённости всегда велика; если в результате осуществления явления может произойти только одно из  $m$  событий, имеющих одинаковые вероятности, то степень неопределённости явления будет тем больше, чем больше  $m$ .

Поскольку получение информации о явлении означает уменьшение неопределённости, последняя характеризуется той же мерой, что и информация  $I$ , т.е. в дискретном равновероятном случае

$$H = -\log p,$$

а в дискретном неравновероятном случае

$$H = -\sum_{i=1}^n p_i \cdot \log p_i, \tag{1}$$

т.е. для характеристики случайного явления и вводится понятие вероятностной энтропии  $H$  [6].

Вероятностная энтропия как мера неопределённости случайного явления зависит от вероятностей появления событий, связанных с этим явлением. Так в результате реализации случайного явления  $S_n$  может произойти только одно из  $n$  случайных событий  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , имеющих вероятности появления  $p_1, p_2, \dots, p_n$ . Тогда энтропия явления будет функцией  $W(p_1, \dots, p_n) = -p_1 \lg p_1 - \dots - p_n \lg p_n$ .

Отметим, что основанием логарифмов может быть любое число, которое больше 1, поскольку функция  $W(p_1, \dots, p_n) = H(S_n)$  определяется с точ-

ностью до постоянного множителя. Мы будем использовать десятичное основание логарифмов.

Пусть явление  $S_1$  имеет одно событие с вероятностью  $p = 1$ , тогда из (1) следует, что энтропия  $H(S_1) = -p \cdot \lg p = 0$ .

Для явления  $S_2$  имеющего два события с вероятностями  $p_1 = p$  и  $p_2 = 1 - p$  получаем энтропию  $H(S_2) = -p \lg p - (1 - p) \lg(1 - p)$ .

Легко проверить, что максимум энтропии  $H(S_n) = 0,301$  будет достигнут при  $p = 0,5$  ( $\lg 0,5 \approx 0,301$ ) и  $H(S_n) = 0$  при значениях  $p = 0$  и  $p = 1$ . Зависимость энтропии  $H(S_2)$  случайного явления  $S_2$  показана на рис. 1.

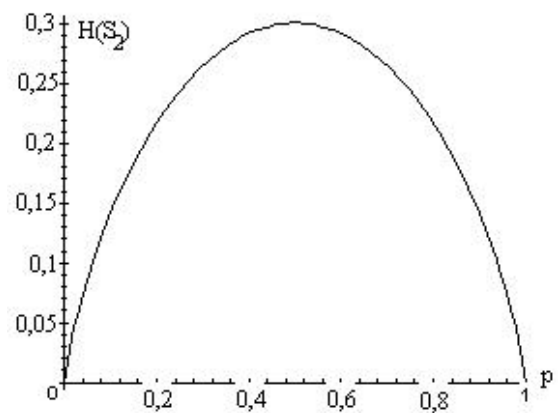


Рис. 1. Зависимость энтропии  $H(S_2)$  случайного явления  $S_2$

Интересен вопрос – как вероятности отдельных событий явления влияют на энтропию этого явления. По табл. 1 построим значения функции  $-p \lg p$ .

Таблица 1

Значения функции $-p \lg p$	
$p_i$	$-p_i \lg p_i$
0,1	0,09
0,15	0,123
0,2	0,139
0,25	0,15
0,3	0,156
0,35	0,159
0,4	0,159
0,45	0,156
0,5	0,15
0,6	0,133
0,7	0,108
0,8	0,078
0,9	0,041
1	0

Из графика (рис. 2) следует, что события, имеющие малые и большие значения вероятностей  $p_i$ , достаточно мало увеличивают энтропию (т.е. меру неопределённости).

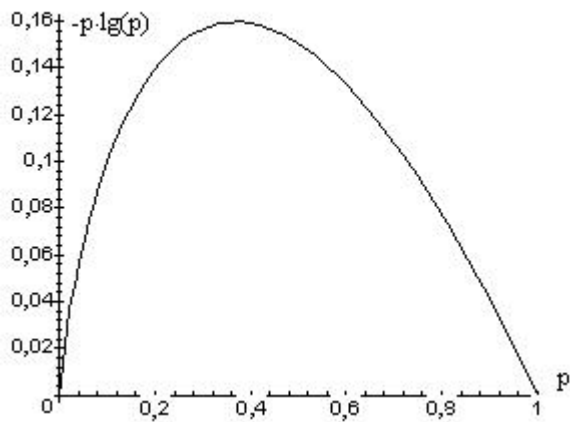


Рис. 2. Зависимость энтропии от вероятности отдельных случайных событий

Таким образом, напрашивается тривиальный вывод о том, что если вероятность события мала, то это событие при осуществлении явления не произойдет, а, следовательно, энтропия за счёт этого явления возрастёт мало. Если вероятность события велика ( $p > 0,6$ ), то при осуществлении явления появится именно это событие и энтропия также возрастает незначительно. Т.е. явление, вероятность которого весьма велика (или мала) должно иметь малую энтропию.

Таким образом, энтропия любой системы соответствует её хаотичности. Отсюда следует, что если рассматриваемая система в любой момент времени с одинаковой вероятностью может оказаться в любом своём состоянии, то предсказать её поведение и, следовательно, управлять им становится абсолютно невозможно. Такая система будет полностью дезорганизованной. Обратимся к задаче управления проектами. Управление всегда целенаправленно и, поэтому управляемая система предпочитает одни свои состояния другим и её неопределённость уменьшается (а степень организации, соответственно, увеличивается).

В случае инновационных проектов, главная цель которых заключается в разработке и применении новых технологий и иных нововведений, может возникнуть неопределённость на этапе завершения проекта в силу расхождения теоретических расчетов с практическим воплощением идеи. На рис. 3 представлена модель поведения энтропии во времени для случая двух событий с вероятностями  $p$  и  $1-p$ .

Такое поведения энтропии во времени можно объяснить тем, что по мере достижения поставлен-

ной цели возможен рост неопределённости, связанный с появлением новых, непредвиденных расчётами эффектов.

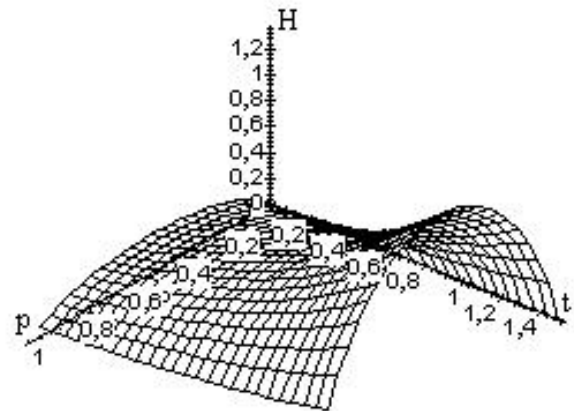


Рис. 3. Модель поведения энтропии во времени для случая двух событий с вероятностями  $p$  и  $1-p$

Наиболее ярким объяснением, пожалуй, такого поведения энтропии может быть ситуация возникновения кризиса в силу перепроизводства на рынке вооружений. При наполнении ёмкости рынка вооружений число заказов уменьшается, а запасы велики. Политика – это продолжение экономики, согласно М. Веберу. Энтропия возрастает, возможен кризис в виде вооружённого конфликта.

Одной из проблем определения количественных характеристик риска является нахождение вероятностей, знание которых необходимо (первый и второй центральные моменты интерпретируются как средняя прибыль и квадрат отклонения прибыли, например).

Здесь мы должны сделать два замечания. Во-первых, при оценке рисков следует разделить риски, являющиеся случайными явлениями, и риски, обусловленные низким уровнем менеджмента, т.е. промахами в планировании, организации, учёте и т.п. Так, например, основными причинами риска превышения стоимости проекта могут быть [5]:

- увеличение закупочной стоимости материалов и оборудования в связи с изменением конъюнктуры рынка;
- увеличение затрат на содержание и эксплуатацию оборудования;
- увеличение затрат на оплату труда персонала;
- затраты, связанные с ростом потребностей в дополнительном привлечении ресурсов (материальные, производственные, человеческие и др.).

Из перечисленных причин к случайным явлениям можно отнести только первую позицию, а остальные три относятся к группе промахов и систематических ошибок на этапе планирования.

Во-вторых, поскольку для формирования плана управления проектом определяющими факторами считают длительность  $T$  и стоимость  $C$  работ, необходимо отметить, что только время  $T$  может считаться величиной непрерывной и иметь дифференциальный закон распределения в строгой математической постановке. Стоимость  $C$ , безусловно, величина дискретная и не имеет непрерывной функции распределения, а, следовательно, отсутствует плотность этого распределения. По указанной причине, как минимум, использование нормального закона и манипуляции с интегралом вероятности (функция Лапласа) будут некорректны в строгой математической постановке, хотя в случае нормального распределения чрезвычайно удобно пользоваться табулированными значениями  $\Phi(z)$  для нахождения вероятности  $P$  попадания случайной величины  $X$  в заданный интервал  $(x_1, x_2)$  по формуле:

$$P(x_1 < X < x_2) = \Phi\left(\frac{x_2 - a}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{x_1 - a}{\sigma}\right),$$

где  $a$  – среднее значение;  $\sigma$  – стандарт отклонения.

Переход от дискретных к непрерывным случайным величинам оправдан в случае, когда шаг дискретности мал и не влечёт за собой заметных ошибок. Кроме того, использование математического аппарата системы PERT (Project Evaluation and Review Technique) базируется на задании априорно закона распределения работ в предположении:

- распределение вероятностей продолжительности выполнения любой работы является бета-распределением, определённым на интервале от оптимистической  $t_{opt}$  до пессимистической  $t_{pes}$  оценки продолжительности данной работы;
- среднеквадратическое отклонение (СКО) этого бета-распределения равно  $1/6$  размаха, т.е.

$$\sigma = (t_{pes} - t_{opt})/6. \quad (2)$$

Первое допущение влечёт за собой (2), что в математической постановке оказывается ложным. Например, СКО равномерного распределения, определённого на интервале  $(t_{opt}, t_{pes})$  равно  $(t_{pes} - t_{opt})/(2\sqrt{3})$ . Если предположить, что две независимые случайные величины определены на этом интервале, то в силу допущения (2) СКО каждой из них будет равно  $(t_{pes} - t_{opt})/6$ , а СКО суммы этих двух случайных величин будет равно  $\sqrt{2}(t_{pes} - t_{opt})/6$ . Однако сумма определена на интервале  $(2 \cdot t_{opt}, 2 \cdot t_{pes})$  и в силу допущения (2) её СКО должно быть равно  $(t_{pes} - t_{opt})/3$ . Таким образом, в этом случае допущение (2) также не выпол-

няется. Т.е. допущения системы PERT порождают неустранимые противоречия, обусловленные невозможностью точного вывода формул для математического ожидания:

$$M = \frac{t_{opt} + t_{pes} + 4t_{ver}}{6}; \quad \text{СКО } \sigma \approx \frac{t_{pes} - t_{opt}}{6}.$$

Анализируя диаграммы Ганта с количеством работ от 98 до 115, с целью проверки гипотезы о распределении длительности работ согласно критерию  $\chi^2$  [7] получаем, что на уровне значимости 0,05 указанные работы не распределены по нормальному закону. Поэтому неуместна ссылка на закон нормального распределения.

Таким образом, для успешного выполнения сложных наукоёмких проектов необходимо продолжать исследования в области статистических оценок возможных рисков.

В заключение необходимо отметить, что реагирование на неблагоприятные события предполагает использование таких методов управления рисками, как [4] и др.:

- распределение рисков, т.е. передача ответственности партнёрам, контрагентам и другим участникам проекта;
- самострахование, т.е. создание стабилизационных и страховых фондов на случай возникновения неблагоприятного события;
- страхование рисков.

Понятно, что указанные методы, по сути, являются задачей управления платой за риск. Задача управления рисками должна быть направлена на снижение риска за счёт либо качественного анализа, позволяющего предотвратить риск, либо количественного за счёт снижения вероятности возникновения неблагоприятного события. Мы полагаем, что продвинувшись в этом направлении позволит использование анализа диссипативных динамических систем (к которым, по сути, и относятся задачи управления проектами) позволяющего ответить на такие вопросы: каково число состояний равновесия системы, устойчивы они или нет, каковы их области притяжения.

## Заключение

За счёт введённого определения понятия неопределённости в статье произведено разделение основных источников возникновения рисков. В частности:

- а) меняющаяся ситуация внешней и внутренней среды проекта;
- б) неполнота или недостоверность входной информации;
- в) случайный характер, обусловленный а) и б), порождающий ситуацию неопределённости при выполнении работ проекта, а погрешности планиро-

вания, управления и других функций менеджмента следует относить к систематическим ошибкам и промахам. Кроме того, энтропийный подход в раскрытии понятия неопределённости позволяет сделать ещё некоторое продвижение на пути анализа сложных систем.

И последнее, проведённый нами анализ длительности выполняемых в проекте работ показал, что они не подчиняются нормальному закону распределения, а это накладывает серьёзные ограничения на использование табулированных функций Лапласа для определения вероятности попадания случайной величины (например, стоимости) в заданный интервал.

### Литература

1. Абчук В.А. *Менеджмент* / В.А. Абчук. – СПб.: Союз, 2002. – 462 с.

2. Боровкова В.А. *Управление рисками в торговле* / В.А. Боровкова. – СПб.: Питер, 2004. – 288 с.

3. Мазур И.И. *Управление проектами* / И.И. Мазур, В.Д. Шапиро. – М.: Экономика, 2001. – 574 с.

4. Агеев А.Е. *Выбор методов управления рисками проекта* / А.Е. Агеев, М.А. Латкин, А.Р. Емад // *Радиоэлектронні і комп'ютерні системи*. – 2005. – № 4 (12). – С. 88-91.

5. Латкин М.А. *Оценка длительности и стоимости проектов с учётом негативного воздействия рисков* / М.А. Латкин, В.М. Илюшко // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2008. – № 3 (50). – С. 94-98.

6. Хинчин А.Я. *Понятие энтропии в теории вероятностей* / А.Я. Хинчин // *УМН*. – 1953. – Т. 8, вып. 3(55). – С. 3-23.

7. Пугачев В.С. *Теория вероятностей и математическая статистика* / В.С. Пугачев. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 496 с.

Поступила в редакцию 12.11.2008

**Рецензент:** канд. физ.-мат. наук, доц., доц. кафедры высшей математики И.В. Брысина, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

### НЕВИЗНАЧЕННІСТЬ, ЕНТРОПІЯ ТА ПРОЕКТНІ РИЗИКИ

*В.М. Красніков, В.О. Макаричев*

У статті розглянуте питання про те, що треба розуміти під ситуацією невизначеності при розв'язку задачі управління проектами та проведено розподіл основних причин виникнення ризиків на випадкові, що приводять до ситуації невизначеності, та ті, що є наслідками помилок менеджменту (планування, управління та ін.). Проведено аналіз розподілу тривалості робіт проекту. Встановлено, що вказані розподіли не відносяться до нормальних, що при оцінюванні ризиків проектів не дозволяє використовувати функцію Лапласа для знаходження ймовірностей попадання в заданий інтервал. Використане поняття ймовірностної ентропії для оцінки ситуативності на ринку.

**Ключові слова:** невизначеність, ентропія, ймовірність, випадкові події, ризики, управління проектами, розподіли.

### UNCERTAINTY, ENTROPY AND PROJECT RISKS

*V.N. Krasnikov, V.A. Makarichev*

The paper addresses the question what should be understood as uncertainty situation in solving the tasks of project management. Division of main sources of risk occurring into random that lead to uncertainty and those ones due to management imperfection( planning, control, etc.) is introduced. Analysis of project work duration distribution is carried out. It is established that these distributions are not normal; this does not allow using Laplace function in risk estimation for derivation of probabilities of random variable falling into a given interval. The concept of probabilistic entropy is used for estimating situation at the market.

**Key words:** uncertainty, entropy, probability, random events, risks, management, distributing, projects.

**Красніков Владимир Николаевич** - канд. техн. наук, доцент кафедры менеджмента, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

**Макаричев Виктор Александрович** – аспирант кафедры высшей математики, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.