

---

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДОВЕРИТЕЛЬНЫХ ДИАПАЗОНОВ ПАРАМЕТРОВ СИТУАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

---

### **Синицын Сергей Александрович**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой  
«Теоретическая и прикладная механика» Российского университета  
транспорта (РУТ(МИИТ))  
sg982@mail.ru

### **Гусарова Ольга Федоровна**

старший преподаватель кафедры «Теоретическая и прикладная механика»  
Российского университета транспорта (РУТ(МИИТ)),  
cosinys50@mail.ru

### **Аннотация**

---

Ситуационные модели, которые применяются для оценки степени правильности принимаемых решений, могут быть разработаны на основе разных подходов. Тем не менее, параметры входа и выхода таких моделей, как правило, являются случайными величинами, которым свойственны статистические моменты. В данной работе принята схема выборки значений параметров из доверительных диапазонов с заданной вероятностью. Здесь важно уметь уменьшать доверительные диапазоны при переходе к ситуационным моделям высшего уровня. Выбранные значения параметров являются возможными наряду с другими значениями из диапазона. С точки зрения ситуации субъекта возможна ошибка выбора, которая не влечет катастрофических результатов для развития последующих ситуаций в выбранной стратегии. Такой подход позволяет перейти к информационному описанию процесса, суммировать информационные показатели разнородных ситуаций, а также оценивать эффективность развития стратегии в целом.

---

**Ключевые слова:** ситуационные модели, оценка принимаемых решений, статистические моменты, доверительные диапазоны, информация развития ситуации, эффективность стратегии принятия решений.

---

## INFORMATIONAL CHARACTERISTICS OF THE TRUSTABLE RANGE OF PARAMETERS OF SITUATIONAL MODELS

---

### **Sergey A.Sinitsyn**

doctor of technical sciences, professor, head of the department  
"Theoretical and applied mechanics" of the Russian University transport (RTH (MIIT))  
sg982@mail.ru

**Olga F. Gusarova**

Senior Lecturer of the Department "Theoretical and applied mechanics" of the Russian university of transport (RTH (МИИТ))

cosinys50@mail.ru

## ABSTRACT

Situational models that are used to assess the degree of correctness of decisions made can be developed on the basis of different approaches. However, the input and output parameters of such models, as a rule, are random variables, which are characterized by statistical moments. In this paper, we adopted a scheme for sampling parameter values from confidence ranges with a given probability. Here it is important to be able to reduce confidence ranges in the transition to higher-level situational models. The selected parameter values are possible along with other values from the range. From the point of view of the situation of the subject, an error of choice is possible, which does not entail catastrophic results for the development of subsequent situations in the chosen strategy. This approach allows you to go to the informational description of the process, to summarize the information indicators of heterogeneous situations, as well as to evaluate the effectiveness of the development strategy in general.

**Key words:** situational models, evaluation of decisions, statistical moments, confidence ranges, situation development information, effectiveness of decision making strategy.

В качестве рабочего варианта будем рассматривать ситуационные модели принятия решений, параметрическая структура которых заранее определена профессиональными разработчиками. В определенном смысле такие модели могут быть отнесены к классу детерминированных, поскольку параметры входа и выхода таких моделей заранее известны по своему составу:

$$f(\overline{Pr}) = 0. \quad (1)$$

$$\overline{Pr} \in \Delta \overline{Pr}$$

Тем не менее, на вход таких моделей подаются случайные значения характеристических параметров, выбранные из доверительных диапазонов и обладающие соответствующими свойствами случайных величин. На выходе ситуационной модели также фиксируются случайные величины из доверительных диапазонов. Постановка такой задачи описана в теории вероятностей как не случайное преобразование случайных аргументов. Таким образом, любой параметр ситуационной модели, который мы рассматриваем, как параметр принятия решения, является случайной величиной с соответствующими статистическими характеристиками, что является достаточным основанием для информационного описания процесса принятия решений по ситуационной модели на основе изменяемой неопределенности.

В процессе принятия решений из диапазонов вероятных значений субъект выбирает значения параметров  $\overline{Pr}^*$ , составляющих множество конечных или промежуточных решений [1, с. 173]. В нашей схеме преобразований диапазонов каждый параметр принятия решений  $Pr_i^{(i)}$  может принимать любое значение из диапазона неопределенности с

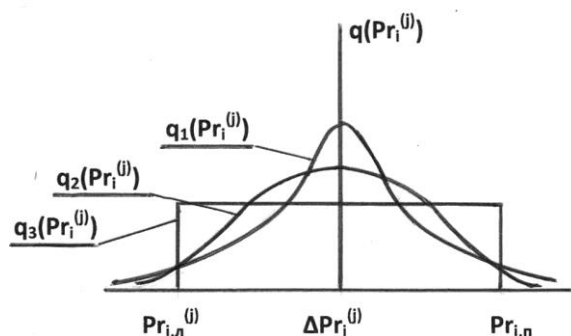
заданной вероятностью. По мере уточнения или уменьшения величин доверительных диапазонов вероятность правильной реализации параметров принятия решений возрастает и в пределе, теоретически, приближается к единице. В жизни это означает, что все случайные факторы рабочей ситуации учесть невозможно и что право на ошибку всегда остается за субъектом, который может лишь предполагать, что учел все обстоятельства ситуации до мелочей, прежде, чем принял решение.

В реальных обстоятельствах процесс принятия решений считается завершенным, если величины доверительных диапазонов по всем параметрам ситуационной модели достигают заданной величины. Доверительный диапазон конечного решения характеризуется распределением вероятностей, причем теоретическое или правильное значение  $i$ -го параметра содержится внутри этого диапазона.

В ситуационных задачах проще всего выбрать равномерный закон распределения, хотя в реальных ситуационных задачах вид закона распределения может быть самым разнообразным, например, нормальным. С точки зрения величин доверительных диапазонов равномерный закон самый не выгодный, поскольку его границы фиксированы. Поэтому для общности выводов дальнейшие рассуждения и выкладки будем выполнять для произвольного закона распределения  $q(Pr_i^{(j)})$ , от которого всегда есть возможность перейти к равномерному закону распределения.

Каждый параметр принятия решения поддается статистическому описанию, то есть он может рассматриваться как случайная величина  $Pr_i^{(j)}$ , принимающая значения в доверительном диапазоне с определенной вероятностью  $q_i^{(j)}$ . Тогда последовательность значений вероятностей для каждого параметра  $Pr_i^{(j)}$  может быть представлена соответствующим законом распределения  $q(Pr_i^{(j)})$ .

На каждом этапе принятия решений изменяются величины доверительных диапазонов по всем параметрам ситуационной модели  $\Delta Pr_i^{(j)}$ , при этом график кривой закона распределения вероятностей может видоизменяться (рис. 1).



*Рис.1. Трансформация законов распределения вероятностей на доверительных диапазонах параметров принятия решений*

Возможность оценивать величины диапазонов с учетом вида функции распределения вероятностей единой характеристикой позволяет повысить точность процесса принятия решений на всех этапах применения ситуационных моделей и, что не менее важно, оценивать эффективность решения данной задачи наряду с другими жизненными задачами субъекта.

Как и всякая случайная величина, любой параметр принятия решения имеет первый начальный момент:

$$M[Pr_i^{(j)}] = \sum Pr_i^{(j)} \times q_i^{(j)}. \quad (2)$$

И первый центральный момент:

$$(3)$$

$$D [Pr_i] = M[(Pr_i^{(i)} - M[Pr_i^{(i)}])^2].$$

По дисперсии может быть вычислено среднее квадратическое отклонение:

$$\sigma [Pr_i^{(i)}] = \sqrt{D[Pr_i]} \quad (4)$$

Таким образом, любой параметр принятия решения в ситуационных задачах представлен случайной величиной с соответствующим законом распределения вероятностей на текущем диапазоне  $\Delta Pr_i^{(i)}$ :  $q(Pr_i^{(i)})$ , а также числовыми характеристиками – математическим ожиданием, дисперсией, СКО [2, с. 84].

Доверительный диапазон каждого параметра ситуационной модели определяется величиной  $i$ , в общем случае, законом распределения отличным от равномерного. Поэтому следует использовать некоторую характеристику, которая учитывала бы оба указанных свойства доверительного диапазона и позволяла бы выполнять исследования в предложенной схеме принятия решений по ситуационной модели.

В качестве такой характеристики целесообразно использовать функцию энтропии, которая записывается в виде несобственного интеграла:

$$H(Pr_i) = - \int q(Pr_i) \ln q(Pr_i) dPr_i \quad (5)$$

Наличие вероятностной схемы на каждом  $j$ -м диапазоне позволяет требовать двух основных условий от функции  $H(Pr_i)$ :

- функция  $H(Pr_i)$  должна быть непрерывной относительно  $q(Pr_i^{(i)})$ ;
- функция  $H(Pr_i)$  должна быть аддитивной относительно своих частных значений.

Тогда, для каждого параметра модели существует единственная функция  $H(Pr_i)$ , удовлетворяющая названным свойствам, которая для дискретной схемы распределения имеет вид:

$$H(Pr_i^{(i)}) = - \sum q(Pr_{i,L}^{(i)}) \ln q(Pr_{i,L}^{(i)}), \quad L=1 \dots N. \quad (6)$$

Форма записи функции энтропии (6) наиболее удобна в ситуационных моделях принятия дискретных решений, поскольку форма (5) существует как энтропия непрерывного распределения.

В частности, для равномерного закона распределения функция энтропии принимает вид:

$$H(Pr_i^{(i)}) = \ln \Delta Pr_i^{(i)}, \quad (7)$$

то есть для конечной схемы равна логарифму количества состояний по каждому  $i$ -му параметру принятия решения, а единица ее измерения определяется выбором основания логарифма и не зависит от размерности самих параметров.

Помимо всего прочего, энтропия обладает рядом важных свойств, которые могут быть полезны для решения любых ситуационных задач.

Таким образом, предложенная схема преобразования диапазонов параметров принятия решений, открывает возможность инвариантных исследований развития любого ситуационного процесса и позволяет перейти непосредственно к его описанию и оценке с помощью классического аппарата теории информации.

Принятие решения на любом этапе применения ситуационной модели должно сопровождаться приростом количества информации, например, по какому-то  $i$ -му параметру:

$$\Delta \text{Inf}(\text{Pr}_i^{(i)}) = H(\Delta \text{Pr}_i^{(i-1)}) - H(\Delta \text{Pr}_i^{(i)}), \tag{8}$$

где:

$\Delta \text{Pr}_i^{(i-1)} = f(\text{Pr}_i^{(i-1)}, \text{Pr}_i^{(i-2)}, \Delta K_{\text{Mod}})$  - диапазон параметра  $\text{Pr}_i$  на  $(j-1)$ -м этапе,

$\Delta \text{Pr}_i^{(i)} = f(\text{Pr}_i^{(i)}, \text{Pr}_i^{(i-1)}, \Delta K_{\text{Mod}})$  - диапазон параметра  $\text{Pr}_i$  на  $j$ -м этапе,

$\Delta K_{\text{Mod}}$  - параметр точности модели,

$i = 1, 2, \dots, n$  - нумерация параметров.

Количество информации, полученной на соответствующем этапе принятия решений, определяется разностью энтропий, не зависит от размерности и фактических свойств параметров принятия решений:

$$\text{Inf}(\text{Pr}) = H(\Delta \text{Pr}_1^{(j-1)}, \Delta \text{Pr}_2^{(j-1)}, \dots, \Delta \text{Pr}_n^{(j-1)}) - H(\Delta \text{Pr}_1^{(j)}, \Delta \text{Pr}_2^{(j)}, \dots, \Delta \text{Pr}_n^{(j)}), \tag{9}$$

где  $j$ - соответствующий этап принятия решений на основе ситуационной модели данного уровня.

Количество информации, приобретенное субъектом при завершении работы по глобальной ситуационной модели, определяется разностью энтропий конечных и начальных доверительных диапазонов параметров принятия решений:

$$\text{Inf}(\text{Pr}^*) = H(\Delta \text{Pr}_1^{(0)}, \Delta \text{Pr}_2^{(0)}, \dots, \Delta \text{Pr}_n^{(0)}) - H(\Delta \text{Pr}_1^*, \Delta \text{Pr}_2^*, \dots, \Delta \text{Pr}_n^*), \tag{10}$$

где  $\text{Inf}(\text{Pr}^*)$  - полная информация, приобретенная субъектом в процессе отработки многоуровневой ситуационной модели.

Важно отметить, что величина  $\text{Inf}(\text{Pr}^*)$  не зависит от числа параметров принятых решений и не определяется количеством этапов или уровней ситуационной модели. То есть длинный путь к цели - не всегда является оптимальным.

Введение доверительных диапазонов параметров позволяет понять и правильно организовать процесс принятия решений. Применение энтропии, как меры количества информации, являющейся функцией величин диапазонов и законов распределения вероятностей значений параметров принимаемых решений, позволяет характеризовать любое состояние ситуационной модели одним числом - мерой количества информации:

$$H(\overline{\text{Pr}}^{(i)}) = H(\Delta \text{Pr}_1^{(i)}) + H(\Delta \text{Pr}_2^{(i)}) + \dots + H(\Delta \text{Pr}_n^{(i)}). \tag{11}$$

Величина энтропии  $j$ -го состояния ситуационной задачи  $H(\overline{\text{Pr}}^{(i)})$ , однозначно определяет степень продвижения субъекта к правильному решению, поскольку является мерой неопределенности состояния. Каждому уровню или состоянию ситуационной модели, в том числе завершающему, можно поставить в соответствие количественную

характеристику – энтропию состояния  $H(\text{Pr})$ , которая определяет успешность субъекта на пути решения поставленной задачи [3, с. 289].

Процесс принятия решений, как последовательность уточнений доверительных диапазонов, имеет смысл только тогда, когда это уточнение происходит. Конкретные значения параметров, выбранные из диапазонов в этой схеме вторичны, поэтому в жизненных ситуациях субъект может принимать ошибочные решения, но при правильной стратегии решения задачи, он все равно, с заданной вероятностью, достигнет нужного результата.

Процесс уточнения параметров принятия решений должен быть сходящимся, иначе их доверительные диапазоны могут увеличиваться, что приведет, с большой вероятностью, к ошибочным результатам. В связи с введением энтропии диапазонов, возникает возможность исследования процесса решения ситуационной задачи на сходимость по информации.

Необходимым условием сходимости решения ситуационной задачи по каждому параметру принятия решений является монотонное уменьшение энтропии. Градиент уменьшения энтропии при переходе от этапа к этапу может быть использован в качестве критерия сходимости.

В ситуационных задачах, которые решает субъект, следует различать два основных момента:

- скорость сходимости решения ситуационной задачи в целом;
- скорость сходимости по каждому параметру принятия решения.

Если для основных промежуточных уровней решения задачи важно знать и оценивать сходимость процесса в целом, то для завершающего этапа необходимо обеспечить сходимость по каждому параметру. Поэтому в дальнейшем будем различать два вида сходимости решения ситуационной задачи:

- сходимость в малом, как среднестатистическую оценку процесса в целом;
- сходимость в большом, как среднестатистическую оценку совместно с частной сходимостью по каждому параметру принятия решений.

Качеством ситуационных моделей различных этапов будем называть характеристику интенсивности прироста информации по доверительным диапазонам управляющих параметров данного уровня. Возможность замены соответствующих блоков модели позволяет регулировать качество модели, тем самым управлять процессом принятия решений в целом. Замена блоков позволяет управлять сходимостью процесса принятия решений, которая должна выполняться по всем параметрам одновременно. Если такая замена не дает требуемого результата, то параметр, по которому не удастся обеспечить сходимость решения, по возможности, должен быть исключен из рассмотрения.

Поскольку энтропия ситуационной модели уменьшается по мере уточнения доверительных диапазонов, то справедливо потребовать, чтобы процесс достоверного решения ситуационной задачи в информационной постановке был связан с уменьшением энтропии по каждому параметру в отдельности согласно выбранной стратегии:

$$H(\Delta \text{Pr}_i^{(j)}) \cong H(\Delta \text{Pr}_i^{(j+1)}). \quad (12)$$

По свойству аддитивности энтропии неопределенность данного состояния ситуационной модели определяется суммой энтропий отдельных проектных параметров данного этапа:

$$H(\Delta \text{Pr}^{(j)}) = \sum H(\Delta \text{Pr}_i^{(j)}). \quad (13)$$

Среди параметров принятия решений данного уровня найдется хотя бы один, энтропия которого уменьшилась, поэтому энтропия последующего уровня всегда будет меньше энтропии предшествующего уровня:

$$H(\Delta Pr^{(i)}) < H(\Delta Pr^{(i-1)}). \quad (14)$$

Таким образом, соотношение (14) является информационным критерием достоверного процесса принятия решений. Если неравенство (14) не выполняется, то решение ситуационной задачи развивается по ложному направлению. В этом случае должна быть изменена ситуационная параметрическая модель и источники информации, на основании которых принимаются решения.

Итак, процесс достоверного решения ситуационной задачи состоит в последовательном уменьшении величин доверительных диапазонов характеристических параметров принятия решений, которое выражается в монотонном возрастании количества информации.

Одной из наиболее важных проблем в информационном пространстве субъекта является изучение способов задания функции количества информации на каждом этапе решения ситуационной задачи [4, с. 165]. Такая постановка задачи вполне осуществима и позволяет перейти к активному планированию и управлению решением ситуационной задачи.

Известно, что процесс решения ситуационной задачи развивается в диапазоне информации: от  $\text{Inf}(Pr^{(0)})$ , соответствующей уровню желаний, целей, планов, устремлений субъекта, до  $\text{Inf}(Pr^*)$ , соответствующей решенной ситуационной задаче, то есть достигнутой цели (рис. 2). При этом не будем забывать о существовании различных путей достижения цели, отмеченных на нашей схеме цифрами 1,2,3.

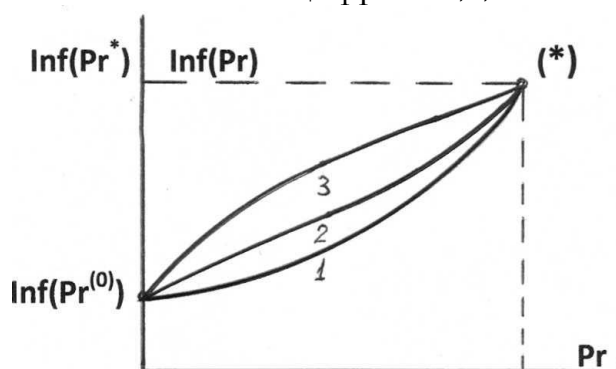


Рис. 2. Вариативная информационная схема решения ситуационной задачи

В информационном рассмотрении могут быть поставлены следующие задачи:

1. Определения оптимальной функции прироста информации по критерию максимальной простоты ситуационных моделей или их минимальной стоимости.
2. Определения способов разбиения на этапы процесса решения ситуационной задачи по заданному приросту информации на каждом этапе при фиксированном времени решения задачи и количестве этапов.
3. Решения ситуационной задачи со свободным правым концом по максимальному приросту информации на выходе.

Однако, независимо от постановки задачи, следует помнить, что существует некоторое минимальное количество информации в конце решения ситуационной задачи,

которое определяет допустимую погрешность определения необходимых параметров. В частности, такое минимальное количество информации может быть определено числом вариантов, предложенных субъекту для принятия решения. Понижение информационного содержания может привести к незавершенности решения ситуационной задачи по уровню заданной достоверности, то есть количество вариантов выбора может быть слишком велико для достижения правильного решения. Превышение оптимального значения информации приводит к увеличению допустимых сроков решения ситуационной задачи или возрастанию ее стоимости.

Следует заметить, что процесс увеличения информации реализуется не только в результате ее сбора, но и в точках принятия решений, поэтому характеристики изменения информации целесообразно представлять кусочно-монотонной функцией (рис. 3).

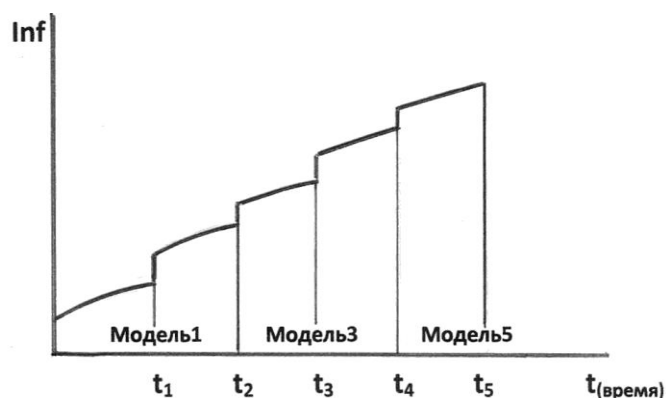


Рис. 3. Возрастание информации по уровням ситуационной модели

На самом деле видимая монотонность информационных характеристик на каждом этапе ситуационного моделирования является всего лишь графической аппроксимацией ступенчатого процесса прироста информации по каждому характеристическому параметру ситуационной модели.

### Список литературы

1. Сеницын С.А. Концепция информационного моделирования в системах интерактивного интеллекта// Инновационные подходы в решении проблем современного общества: сборник статей III международной научно-практической конференции. - Пенза МЦНС «Наука и просвещение». - 2018. - С. 170-176.
2. Сеницын С.А. Информационно-статистический метод оптимального моделирования гладких дифференциальных поверхностей при итерационном проектировании технических объектов на транспорте: монография. - Москва: Издательство университета путей сообщения. - 2017. - 103 с.
3. Сеницын С.А. Описание информационного аппарата планирования действий субъекта в типовых ситуационных задачах принятия решений// Приоритетные направления развития науки и образования: сборник статей V международной научно-практической конференции. - Пенза МЦНС «Наука и просвещение». - 2019.- С. 286-291.
4. Сеницын С.А. Применение информационных статистических методов для оценки достоверности принятых решений на основе типовых ситуационных моделей. // Прорывные научные исследования: сборник статей XII международной научно-практической конференции. - Пенза МЦНС «Наука и просвещение». - 2019.- С. 163-170.



**References**

1. Sinitsyn S.A. The concept of information modeling in systems of interactive intelligence // Innovative approaches to solving the problems of modern society: a collection of articles of the III International Scientific Practical Conference. - Penza MTSNS "Science and Education". - 2018. - P. 170-176 [in Russian].
2. Sinitsyn S.A. Information-statistical method for optimal modeling of smooth differential surfaces in the iterative design of technical objects in transport: a monograph. - Moscow: Publishing House of the University of Communications, - 2017. - 103 p. [in Russian].
3. Sinitsyn S.A. Description of the information apparatus for planning actions of the subject in typical situational decision-making tasks // Priority directions of development of science and education: collection of articles of the V International Scientific Practical Conference. - Penza MSCS "Science and Education". - 2019. - P. 286-291 [in Russian].
4. Sinitsyn S.A. The use of statistical information methods for assessing the reliability of decisions made on the basis of typical situational models. // Breakthrough scientific research: a collection of articles of the XII International Scientific and Practical Conference. - Penza MISS "Science and Education". - 2019. - P. 163-170 [in Russian].