

МОДЕЛЬ СНЯТИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ

DOI: 10.36724/2072-8735-2024-18-9-41-47

Халтурин Роман Александрович,
Российский университет медицины" Минздрава России,
Москва, Россия, xalturin86@mail.ru

Судоргин Роман Олегович,
Гос. ИРЯ им. А.С. Пушкина, Москва, Россия, Nickel-j@inbox.ru

Карелина Мария Юрьевна,
Государственный университет управления;
Московский автомобильно-дорожный государственный
технический университет (МАДИ)", Москва, Россия,
karelinamu@mail.ru

Manuscript received 12 August 2024;
Accepted 07 September 2024

Ключевые слова: сложные системы,
распределение ресурсов, методы экспертного
оценивания, энтропия Шеннона, мера
неопределенности

В данной статье рассматриваются научные методологии, используемые для оптимизации распределения ресурсов в сложных открытых системах, с акцентом на необходимость объективных аналитических моделей для эффективного решения этих задач. Традиционные подходы к снижению неопределенности часто основаны на экспертных оценках, которые, как утверждается в статье, неэффективны для сложных систем, характеризующихся многомерностью, многоуровневыми структурами и многокритериальными процессами принятия решений. Эти методы, основанные на экспертизе, часто приносят субъективизм и не позволяют всесторонне охватить сложную динамику сложных систем. Чтобы преодолеть данные ограничения, в статье предлагается внедрить алгоритмы и методы, которые максимизируют неопределенность, в частности, за счет применения энтропии Шеннона в качестве меры неопределенности. Энтропия Шеннона, основанная на теории информации, количественно определяет непредсказуемость внутри системы, позволяя более сбалансированно и непредвзято рассматривать все возможные состояния. Методология включает в себя несколько ключевых этапов: формулировку проблемы распределения ресурсов, критический анализ ограничений методов экспертной оценки, введение энтропии Шеннона в качестве предпочтительной меры неопределенности, разработку алгоритмов оптимизации, основанных на принципах максимальной энтропии, и реализацию этих алгоритмов в практических примерах. В статье показано, что этот основанный на энтропии подход значительно повышает объективность, надежность и общую производительность системы при распределении ресурсов в сложных открытых системах. Сравнительный анализ с традиционными методами показал, что предлагаемый подход обеспечивает качественные результаты, что делает его ценным инструментом для лиц, принимающих решения в области управления сложными системами.

Информация об авторах:

Халтурин Роман Александрович, к.э.н., доцент, декан экономического факультета ФГБОУ ВО "Российский университет медицины" Минздрава России, Москва, Россия

Судоргин Роман Олегович, к.э.н., Старший научный сотрудник лаборатории филологических исследований ФГБОУ ВО "Гос. ИРЯ им. А.С. Пушкина". Москва, Россия

Карелина Мария Юрьевна, д.т.н., д.п.н., профессор, проректор ФГБОУ ВО "Государственный университет управления", заведующий кафедрой "Детали машин и теория механизмов" ФГБОУ ВО "Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)", Москва, Россия

Для цитирования:

Халтурин Р.А., Судоргин Р.О., Карелина М.Ю. Модель снятия неопределенности в сложных системах распределения ресурсов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2024. Том 18. №9. С. 41-47.

For citation:

Khalturin R.A., Sudorgin R.O., Karelina M.Yu. A model for removing uncertainty in complex resource allocation systems. T-Comm, vol. 18, no. 9, pp. 41-47. (in Russian)

Введение

В сложных системах принятие решений часто связано с условиями, которые невозможно полностью учесть, а также с их последующими факторами. В совокупности данные условия способствуют так называемому эффекту неопределенности. На деятельность по управлению и планированию неизменно влияют факторы неопределенности, и воздерживаться от принятия решений в таких сценариях, как правило, нецелесообразно.

Неопределенность, присущая сложным системам, возникает из двух основных источников: невозможности комплексно предсказать все определяющие условия и непредсказуемости их последующих факторов. Эта двойная неопределенность усложняет процесс принятия решений, требуя надежных методологий для обработки неполной информации и переменных результатов.

В контексте управления и планирования необходимо систематически учитывать факторы неопределенности. Это предполагает использование стратегий и инструментов, направленных на снижение рисков, связанных с неопределенными условиями. Принятие решений в условиях неопределенности имеет решающее значение, поскольку отсрочка или уклонение от принятия решений могут привести к упущенным возможностям и неоптимальной работе системы.

Для эффективного управления неопределенностью в сложных системах лица, принимающие решения, часто полагаются на вероятностные модели, статистический анализ и методы оптимизации. Эти методы обеспечивают структурированный подход к оценке потенциальных результатов и принятию обоснованных решений, несмотря на наличие неопределенности.

Поэтому к разработке методов теории принятия решения в условиях неопределенности регулярно обращались ученые и исследователи практики неоднократно и интерес к данной научной тематике не ослабевает. В разработку теории принятия решений в условиях неопределенности внесли существенный вклад отечественные и зарубежные ученые Вильсон А., Заде Л.А., Мартин Н., Мушик Э., Мюллер П., Ногин В.Д., Подиновский В.В., Саати Т., Таха и др. [1-9]. В работах перечисленных авторов, рассматривается значительное количество моделей, позволяющих эффективно решать задачи в сложных системах в зависимости от условий их функционирования.

Однако в большинстве практических случаев при решении прикладных задач, где возникает потребность в руководстве по принятию решений, допускают упрощение используя методы экспертного оценивания.

Методы исследования

В области моделей снижения неопределенности преимущественно используются методы, основанные на экспертных оценках. Данные методы включают знания специалистов в соответствующей области, используя их опыт в качестве основных источников для оценки сложных процессов, которые определяют функционирование системы. Главным преимуществом такого подхода является его способность анализировать и прогнозировать развитие системы даже при отсутствии достаточно объективных и формализованных исходных данных. Это преимущество особенно важно в ситуациях, когда

традиционные методы, основанные на данных, не работают из-за ограниченности данных.

Однако заметным недостатком методов экспертной оценки является присущий им субъективизм при принятии решений. На суждения экспертов могут влиять личные предубеждения, опыт и точки зрения, что может привести к изменчивости и непоследовательности результатов. Такая субъективность представляет собой серьезную проблему, особенно в условиях высоких ставок, когда точность и надежность решений имеют первостепенное значение.

Согласно [10], анализ многокомпонентных систем предполагает необходимость учета и оценки множества факторов, которые сильно различаются по своей природе. Принятие решений в таких условиях усложняется наличием неопределенности и недостаточной информации. Полагаться исключительно на опыт и интуицию в таких условиях рискованно, поскольку последствия ошибочных решений могут быть серьезными. Поэтому крайне важно разработать специализированные платформы и инструменты, предназначенные для систематического и тщательного изучения сложных систем.

Первоначально применение методов экспертной оценки при исследовании сложных систем было сосредоточено на оценке диапазонов изменений факторов с неизвестными функциями принадлежности [11, 12]. В рамках этого подхода эксперты давали качественные оценки для учета неопределенности и изменчивости параметров системы. Однако со временем в научных исследованиях наметилась заметная тенденция к переходу от этих качественных уточняющих моделей к количественным моделям, целью которых является определение абсолютных значений коэффициентов влияния в пределах факторного пространства.

Данный сдвиг проиллюстрирован в различных исследованиях, посвященных изучению процессов управления в сложных системах. В этих исследованиях используются принципы теории принятия решений и разрабатываются модели поддержки принятия решений для повышения точности и надежности процессов принятия решений. Количественно оценивая влияние различных факторов, эти модели обеспечивают более структурированную и объективную основу для анализа поведения системы и принятия обоснованных решений. Переход от качественных экспертных оценок к количественным отражает более широкие усилия по снижению субъективности, присущей экспертным суждениям, и повышению надежности и обоснованности выводов, сделанных на основе таких оценок.

Следует отметить, что, хотя методы экспертной оценки обладают значительными преимуществами при отсутствии формализованных данных, их субъективность требует разработки более объективных и количественных подходов. Эволюция этих методов подчеркивает постоянную потребность в сложных инструментах и моделях для изучения сложных систем, гарантирующих, что решения будут приниматься на основе комплексного и тщательного анализа всех соответствующих факторов.

В исследовании [13] при формировании при формировании математической постановки задачи управления процессом указания услуг описывается вектор описания системы, состоящий из семи переменных параметров, в том числе: «технологические параметры оказания услуг»; «параметры

клиента»; «эмоции клиента»; «требования клиентов»; «уровень удовлетворенности клиентов»; «сформированная комплексная услуга»; «график оказания услуг». Естественно, что данное сочетание качественных и количественных характеристик исследуемого объекта рождает высокую степень неопределенности в системе и требует её формализации. Но здесь же указывается, что «формализация вербальных описаний осуществляется экспертом в предметной области» [13]. Далее определяется, что оценка эффективности в системе будет осуществляться комплексным интегральным показателем, полученным с применением математического аппарата нечеткой логики, включающей процедуру определения весовых коэффициентов. В конечном итоге оценка веса «эмоции вызванного услугой» производится по бальной системе, как среднеарифметическое значение из назначенных баллов по совокупности эмоционально окрашенных слов.

В исследовании [14] целью которой является разработка методов повышения эффективности распределения ресурсов (сил и средств) при возникновении чрезвычайных ситуаций за счёт развития моделей и алгоритмов поддержки принятия решений значимое место уделяется методам экспертного оценивания. В справедливо утверждается, что разнообразие задач, возникающих в ликвидации чрезвычайных ситуаций, требует применения различных методов, моделей и алгоритмов в наибольшей степени, соответствующих ситуации их применения. В исследовании приведем перечень групп задач тип методов и моделей им соответствующих. Так для группы задач «Интерпретация данных, идентификация, распознавание и обнаружения назначением определения важности факторов с целью ранжирования со ссылками на [15,16] рекомендуется применять методов экспертного оценивания. Далее в работе приведен алгоритм, названный «стохастическим» и предназначенный для реализации функции машинного обучения по результатам наблюдений за действиями лица, принимающего решение (ЛПР). Если действие ЛПР является эффективным, то его действия формируют базу данных для развития моделей поддержки принятия решений, в противном случае его действие отбрасывается (не учитывается). С точки зрения рациональности процедур исследования, вряд ли данный подход можно назвать эффективным, но тем не менее степень субъективизма в принятии решения снижается. В данном случае ЛПР не является экспертом, но служит инструментом, чей опыт и интуиция служит для достижения результата. В конечном итоге формируется двухконтурная система, где окончательное решение принадлежит модели, обученной на опыте и интуиции ЛПР.

Между тем автор исследования, в противовес моделям экспертного оценивания, приводит пример применения в аналогичных ситуациях математических методов теории принятия решений, основанных на субъективных критериях Вальда, Гурвица, Сэведжа, Гермейра, Лапласа-Байеса, и Ходжи-Лемана [17]. Перечисленные методы позволяют избежать значительной доли субъективизма, но численное значение полученного эффекта в количественных оценках при применении данных методов различно.

Теоретические исследования

В исследовательской системологии важно декомпозировать задачу разработки, чтобы уменьшить ее размерность и

сложность. Это предполагает оптимизацию показателей качества для отдельных, относительно простых и часто независимых подсистем, а не для всей системы сразу. Следовательно, для решения этой проблемы создается иерархическая модель системы распределения ресурсов. Общий подход структурирован следующим образом:

1. Анализ целей и задач: определение и анализ задач, на достижение которых направлена система.
2. Анализ факторов влияния: анализ факторов, влияющих на систему, и определение вероятностных характеристик параметров системы.
3. Формализация объекта: представление сложной системы в виде иерархической структуры свойств.
4. Разработка системы показателей: разработка системы показателей для количественной оценки отдельных подсистем, таких как конкретный транспортный комплекс.
5. Оценка потенциала и выбор критериев: выбор и формализация критериев для оценки потенциала и принятия решений.
6. Разработка математической модели: разработка математической модели, которая связывает функциональность оценки с показателями качества транспортного комплекса.
7. Проверка и корректировка модели: верификация модели и внесение необходимых исправлений.
8. Выбор метода оптимизации: выбор подходящий метод для оптимизации вычислений и поиска модели распределения ресурсов с оптимальными характеристиками для постановки целей.

Применение описанного классического подхода решения задач в сложных организационных системах управления, в том числе и содержащих задачу распределения ресурсов затруднен в силу следующих обстоятельств:

- природной неопределенности, то есть недостаточной изученности явлений и событий, сопровождающих процесс функционирования системы в силу в силу отсутствия объективных данных по всей номенклатуре показателей функционирования в системе;
- нечеткого представления о целеполагании в системе, так как на различных этапах её развития нередко декларировалось противоположные представления о развитии транспортного комплекса.

Поэтому на начальном этапе необходимо определить общую снятия неопределенности, позволяющую систематизировать процесс создания системы распределения ресурсов (РР-системы).

Применение схем последовательного снятия неопределенности в РР-системе и объективных аналитических методов планирования распределения ресурсов по объектам производственной инфраструктуры в сложных организационно-технических системах позволит эффективно решать следующие задачи:

- оптимизировать инфраструктуры сложной организационно-технической системы;
- повышать эффективности использования ресурсов, выделяемых на развитие инфраструктуры;
- реализовать возможность гибкого реагирования на появление новых задач и новых направлений развития инфраструктуры

сбалансировать потребности в создании и производстве новых инфраструктурных систем с экономическими возможностями страны.

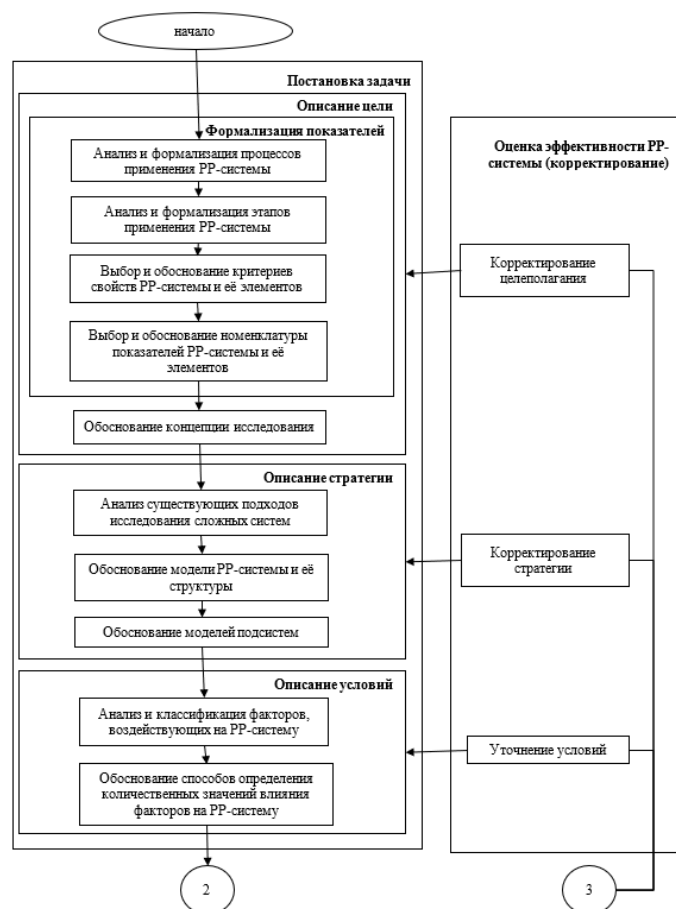


Рис. 1. Последовательность снятия неопределенности в РР-системе (начало)

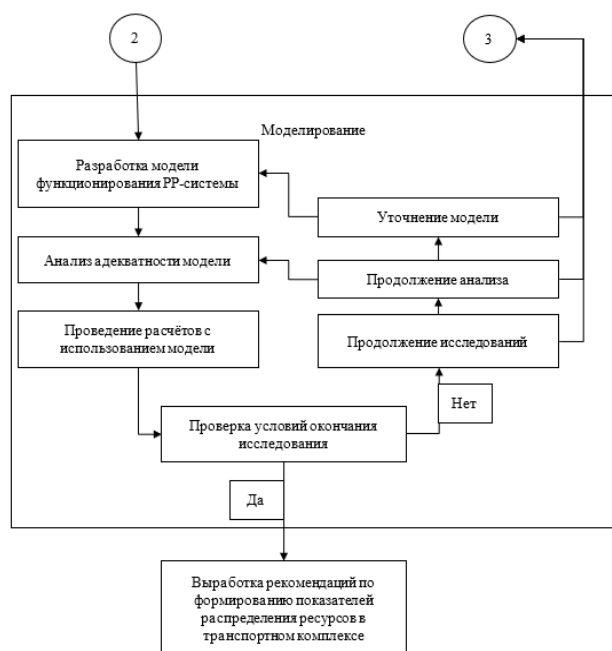


Рис. 2. Последовательность снятия неопределенности в РР-системе (окончание)

Результаты исследования

Чаще всего в качестве меры неопределенности случайного объекта в системе с конечным множеством $A_1, A_2, \dots, A_n$ с соответствующими вероятностями $P_1, P_2, \dots, P_n$ принимается функционал (энтропия Шеннона) [18]

$$H(A) = -\sum_{k=1}^n P_k \log P_k \quad (1)$$

Энтропия Шеннона служит количественной мерой неопределенности в конечной системе и обладает рядом свойств, которые удовлетворяют основным критериям эффективной меры неопределенности:

1. $H(P_1, P_2, \dots, P_n) = 0$, если какое-либо значение $P_k = 1$, а остальные, естественно равны нулю.

2. $H(P_1, P_2, \dots, P_n) = H_{\max}$, если $P_1 = P_2 = \dots = P_n = 1/n$.

3. $H(AB) = H(A) + H(B)$ для независимых случайных объектов

4. $H(AB) = H(A) + \sum_{k=1}^n P_k H_{A_k}(B)$ – для статистически зависимых объектов.

5. $H_A(B) \leq H(B)$ – знание состояния A может только уменьшить неопределенность объекта B .

Непрерывные случайные объекты не допускают введения конечной абсолютной меры неопределенности. В качестве относительной количественной меры неопределенности используется дифференциальная энтропия

$$H_{\Sigma} = -\int_{-\infty}^{\infty} f(x) \ln x dx \quad (2)$$

Помимо энтропии Шеннона в качестве меры неопределенности используется, так называемая функция неопределенности второго рода

$$H(P_1, P_2, \dots, P_n) = P_1^n \cdot P_2^{n-1} \cdot \dots \cdot P_n^1 = \prod_{k=1}^n P_k^{n-k+1} \quad (3)$$

Эта мера неопределенности обладает тем свойством, что её максимум достигается на так называемых оценках Фишберна [19].

$$P_j = \frac{2(n-j+1)}{n+1}, j = 1, \dots, n \quad (4)$$

для простого соотношения

$$P_1 \geq P_2 \geq \dots \geq P_n \geq 0$$

Укажем и на некоторые другие известные меры неопределенности, удовлетворяющие общим требованиям:

$$H(P) = 1 - \max_j \{P_1, P_2, \dots, P_n\} \quad (5)$$

соответственно

$$H(P) = 1 - \min_j \{P_1, P_2, \dots, P_n\} \quad (6)$$

$$H(P) = \prod_{j=1}^n P_j^n \quad (7)$$

или

$$H(P) = 1 - \prod_{j=1}^n P_j^n \quad (8)$$

тогда

$$H(P) = 1 - \prod_{j=1}^n P_j [1 - e^{-(1-P_j)}] \quad (9)$$

В конце прошлого века профессор С. Аримото предложил еще одну из обобщенных мер, которая для произвольного положительного числа $R \neq 1$ определяется следующим равенством [20]

$$H_k(P) = \frac{k}{k-1} \left[1 - \left(\sum_{i=1}^k P_i^k \right)^{1/2} \right] \quad (10)$$

С математической точки зрения применение принципа максимальной неопределенности предполагает решение экстремальных (вариационных) задач с учетом ограничений, которые возникают из-за вероятностной характеристики диапазона значений случайной величины. В данном контексте энтропия Шеннона, выраженная в дифференциальной форме, используется в качестве меры неопределенности:

$$H_e = - \int_0^\infty f(x) \ln f(x) dx \quad (11)$$

С учетом вышесказанного максимальной энтропией (максимальной неопределенностью или «минимальным» производом) при заданном ограничении в интервале $[0, \infty]$ обладает экспоненциальное распределение.

Обсуждение результатов

Неопределенность, с которой приходится сталкиваться при исследовании оптимизации распределения ресурсов в РР-системах, возникает из-за различных факторов и обладает различными характеристиками и значением в пространстве факторов. В широком смысле информационную неопределенность в данном контексте можно разделить на несколько различных типов в зависимости от ее происхождения:

- 1) неопределенность, вызванная недостатком информации и её достоверности в силу политических, экономических, технических, социальных и других причин;
- 2) неопределенность, порожаемая слишком высокой и недоступной «платой» за получение определенности, то есть, когда количество ресурсов, необходимых для привлечения исследования состояния системы может оказаться выше, чем эффект от проведения самого исследования
- 3) неопределенность, вызываемая поведением внешней среды, и проявляющаяся в непредсказуемом изменении вектора факторного пространства внешних возмущений
- 4) неопределенность, вызванная поведением внутренней среды в достаточно сложных многоуровневых производственных системах с большим количеством управляемых объектов
- 5) неопределенность, генерируемая большим числом объектов или элементов, включаемых в исследуемую информационную ситуацию (например, при числе элементов больше 10^9 ;
- 6) «принципиальную» неопределенность, вызванная отсутствием объективных научных методов или апробированных научных подходов, необходимых для решения поставленных в исследовании задач.

Поэтому единственным эффективным решением, снижаемым субъективизм окончательного действия при формировании РР-систем, является применение объективных аналитических методов снятия сложной структуры неопределенности перечисленной природы. Распознавая и классифицируя эти типы неопределенностей, исследователи могут разраба-

тывать более эффективные стратегии оптимизации распределения ресурсов в РР-системах, используя соответствующие методы для смягчения влияния каждого типа на общую производительность системы.

Выводы

Минимизация субъективности при принятии решений для формирования РР-систем требует разработки строгой математической основы. Эта основа основана на принципе максимизации неопределенности, где энтропия Шеннона, представленная в дифференциальной форме, используется в качестве количественной меры неопределенности.

Применение энтропии Шеннона в данном методе предполагает ее использование в качестве критерия для определения распределения вероятностей, которое максимизирует неопределенность. Это основано на теории информации, где энтропия Шеннона служит мерой количества информации или неопределенности в системе. Стремясь максимально использовать этот показатель, процесс принятия решений может учитывать самый разнообразный набор возможных результатов, тем самым уменьшая предвзятость, которая может возникнуть из-за более субъективных методов.

Этот принцип отражает конкретную модель поведения системы, в которой внутренние свойства системы выявляются путем решения четко определенной задачи оптимизации. Цель состоит в том, чтобы определить состояние системы, которое максимизирует энтропию Шеннона, эффективно распределяя вероятности в максимально широком диапазоне потенциальных исходов. Данный подход использует концепцию потенциального (априорного) распределения вероятностей.

Принцип распределения потенциальной вероятности утверждает, что среда системы "предпочитает" состояния с более высокими вероятностями, что приводит к состояниям, которые максимизируют значение оцененного потенциала. На практике это означает, что среди всех возможных состояний системы наиболее вероятными являются те, которые вносят более значительный вклад в общую ценность оптимизируемого функционала.

Данный принцип основан на предположении, что система естественным образом эволюционирует к состояниям, которые максимизируют энтропию. Таким образом, система принятия решений включает в себя определение функционала, который количественно оценивает потенциал системы, и решение задачи оптимизации для нахождения распределения вероятностей, которое максимизирует этот функционал.

В результате, снижение субъективности при формировании РР-систем с помощью разработанной математической структуры предполагает:

1. Определение функционала, представляющий потенциал системы, который необходимо максимизировать.
2. Применение энтропии Шеннона в качестве меры неопределенности, которую необходимо максимизировать.
3. Задача оптимизации, чтобы найти распределение вероятностей, которое максимизирует энтропию.
4. Принятие решений на основе результатов этого процесса оптимизации, гарантируют что они отражают наиболее вероятно разнообразную и объективную оценку возможных состояний.

Следуя данному детальному подходу, можно значительно снизить субъективность, присущую принятию решений в РР-системах, что приведет к получению более надежных и объективных результатов.

Литература

1. Вильсон А. Энтропийные методы моделирования сложных систем: пер. с англ. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1978. 248 с.
2. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 165 с.
3. Мартин Н., Ингленд Д. Математическая теория энтропии: пер. с англ. В. А. Каймановича; под ред. А. М. Вершина. М.: Мир, 1988. 350 с.
4. Мушик Э., Мюллер П. Методы принятия технических решений. Пер. с нем. М.: Мир, 1990. 208 с.
5. Подиновский В.В., В. Ногин Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. М.: Наука, 1982. 326 с.
6. Ногин В.Д., Протодьяконов И.О., Евлампиев И.И. Основы теории оптимизации. М.: Высшая школа, 1986. 383 с.
7. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1991. 224 с.
8. Саати Томас Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети. Пер. с англ., науч. ред. А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 360 с.
9. Таха, Хемди А. Введение в исследование операций. М.: ИД «Вильямс», 2005. 912 с.
10. Калашиников В.В. Качественный анализ поведения сложных систем методом пробных функций. Серия «Теория и методы системного анализа». М.: Гл. ред. физ. мат. лит-ры изд-ва «Наука», 1978. 248 с.
11. Хованов Н.В. Анализ и синтез показателей при информационном дефиците. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1996. 196 с.
12. Хованов Н.В., Федотов Ю.В. Модели учета неопределенности при построении сводных показателей эффективности деятельности сложных производственных систем // Научные доклады № 28(R) – 2006, Изд-во СПб.: НИИ менеджмента СПбГУ, 2006. 37 с.
13. Хованов Н.В., Федотов Ю.В. Модели учета неопределенности при построении сводных показателей эффективности деятельности сложных производственных систем // Научные доклады № 28(R) – 2006, Изд-во СПб.: НИИ менеджмента СПбГУ, 2006. 37 с.
14. Вилисов В.Я. Модели, методы, и алгоритмы информационно-аналитической поддержки принятия решений по распределению сил и средств при ликвидации пожаров в чрезвычайных ситуациях: дис. ... д-та. техн. наук: 2.3.4. Управление в организационных системах/ Вилисов Валерий Яковлевич. Москва, 2012. 433 с.
15. Климовцев В.М. Распределение системы поддержки принятия решений в управлении Государственной противопожарной службой // Материалы II международной конференции «Системы безопасности – 2002». М.: АГПС МЧС России. 2002. С. 145-146.
16. Герасимов Б.Н. Теория управления в экономических системах. Саратов: Общество с ограниченной ответственностью "Амрит", 2023. 500 с. ISBN 978-5-00207-260-6. EDN JYQYQO.
17. Моррис У. Наука об управлении. Байесовский подход. М.: Мир, 1971. 304 с.
18. Shannon Claude E. Prediction and entropy of printed English // The Bell System Technical Journal, 30, pp. 50-64, 1950.
19. Иванов А.Ю., Комашинский В.И., Ясинская Ю.В. Методы принятия решений: Учебное пособие. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, 2024. 185 с. ISBN 978-5-88303-683-4. EDN RBZSJU.
20. Синицына А.С., Некрасов А.Г., Конарева Н.А. и др. Клиенто-ориентированные транспортно-логистические системы и технологии: Учебное пособие. М.: Ай Пи Ар Медиа, 2023. 159 с. ISBN 978-5-4497-2248-5. EDN OTYTRM.

A MODEL FOR REMOVING UNCERTAINTY IN COMPLEX RESOURCE ALLOCATION SYSTEMS

Roman A. Khalturin, Russian University of Medicine of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia, xalturin86@mail.ru

Roman O. Sudorgin, IRA named after A.S. Pushkin, Moscow, Russia, Nickel-j@inbox.ru

Maria Yu. Karelina, State University of Management; Moscow Automobile and Road Engineering State Technical University (MADI), Moscow, Russia, karelinamu@mail.ru

Abstract

This article examines the scientific methodologies used to optimize resource allocation in complex open systems, with an emphasis on the need for objective analytical models to effectively solve these problems. Traditional approaches to reducing uncertainty are often based on expert assessments, which, as stated in the article, are ineffective for complex systems characterized by multidimensionality, multilevel structures and multi-criteria decision-making processes. These methods, based on expertise, often introduce subjectivism and do not allow comprehensive coverage of the complex dynamics of complex systems. To overcome these limitations, the article proposes to implement algorithms and methods that maximize uncertainty, in particular by using Shannon entropy as a measure of uncertainty. Shannon entropy, based on information theory, quantifies unpredictability within a system, allowing for a more balanced and unbiased consideration of all possible states. The methodology includes several key stages: the formulation of the problem of resource allocation, a critical analysis of the limitations of expert assessment methods, the introduction of Shannon entropy as the preferred measure of uncertainty, the development of optimization algorithms based on the principles of maximum entropy, and the implementation of these algorithms in practical examples. The article shows that this entropy-based approach significantly improves the objectivity, reliability and overall performance of the system when allocating resources in complex open systems. Comparative analysis with traditional methods has shown that the proposed approach provides high-quality results, which makes it a valuable tool for decision makers in the field of complex systems management.

Keywords: complex systems, resource allocation, expert assessment methods, Shannon entropy, uncertainty measure.

References

- [1] A. Wilson, "Entropic methods of modeling complex systems," Moscow: Nauka. Gl. ed. phys.-mat. lit., 1978. 248 p.
- [2] L. A. Zadeh, "The concept of a linguistic variable and its application to making approximate decisions," Moscow: Mir, 1976. 165 p.
- [3] N. Martin, D. England, "Mathematical theory of entropy," translated from the English by V. A. Kaymanovich; edited by A.M. Vershina. Moscow: Mir, 1988. 350 p.
- [4] E. Mushik, P. Muller, "Methods of making technical decisions," Trans. from German. Moscow: Mir, 1990. 208 p.
- [5] V.V. Podinovsky, V.D. Nogin, "Pareto-optimal solutions of multicriteria problems," Moscow: Nauka, 1982. 326 p.
- [6] V.D. Nogin. I.O. Protodiakonov, I.I. Evlampiev, "Fundamentals of optimization theory," Moscow: Higher School, 1986. 383 p.
- [7] T. Saati, K. Kerns, "Analytical planning. Organization of systems," Translated from English. Moscow: Radio and Communications, 1991. 224 p.
- [8] Thomas L. Saati, "Decision-making with dependencies and feedbacks: Analytical networks," Translated from English, scientific ed. A.V. Andreychikov, O.N. Andreychikova. Moscow: Publishing House of LKI, 2008. 360 p.
- [9] Taha, Hemdi A., "Introduction to operations research," Moscow: Williams Publishing House, 2005. 912 p.
- [10] V.V. Kalashnikov, "Qualitative analysis of the behavior of complex systems by the method of trial functions," Series "Theory and methods of system analysis". Moscow: Gl. ed. phys. mat. lit. publishing house "Nauka", 1978, 248 p.
- [11] N.V. Khovanov, "Analysis and synthesis of indicators in information deficit," St. Petersburg: Publishing House of St. Petersburg State University, 1996. 196 p.
- [12] N.V. Khovanov, Yu.V. Fedotov, "Models of accounting for uncertainty in the construction of summary performance indicators of complex production systems," Scientific reports. No. 28(R), 2006, St. Petersburg Publishing House: Institute of Management of St. Petersburg State University 2006. 37 p.
- [13] N.V. Khovanov, Yu.V. Fedotov, "Models of accounting for uncertainty in the construction of summary performance indicators of complex production systems," Scientific reports. No. 28(R), 2006, Publishing House of St. Petersburg: Institute of Management of St. Petersburg State University 2006. 37 p.
- [14] V.Ya. Vilisov, Models, methods, and algorithms of information and analytical support for decision-making on the distribution of forces and means in the elimination of fires in emergency situations: dis. ... d-that. Technical sciences: 2.3.4. Management in organizational systems / Valery Yakovlevich Vilisov. Moscow, 2012. 433 p.
- [15] V.M. Klimov, "Distribution of support systems for managers in the management of public service," Materials of the II International conference "Security Systems - 2002". Moscow: AGPS of the Ministry of Defense of Russia. 2002, pp. 145-146.
- [16] B.N. Gerasimov, "Theory of management in economic systems," Moscow: Limited Liability Company "Amirit", 2023. 500 p. ISBN 978-5-00207-260-6. Publishing house JYQYQO.
- [17] U. Morris, "The science of management. The Bayesian approach," Moscow: Mir, 1971. 304 p.
- [18] Claude E. Shannon, "Prediction and Entropy of the printed English language," Bell System Technical Journal, 30, pp. 50-64, 1950.
- [19] A.Yu. Ivanov, V.I. Komashinsky, Yu.V. Yasinskaya, "Decision-making methods," St. Petersburg: St. Petersburg State Technical University, 2024. 185 p. ISBN 978-5-88303-683-4.
- [20] A.S. Sinitsyna, A.G. Nekrasov, N.A. Konareva et al., "Clinical systems and technologies: A general opinion," Moscow: Ai-Pi-Ar-Media, 2023. 159 p. ISBN 978-5-4497-2248-5.

Information about authors:

Roman A. Khalturin, Ph.D. in Economics, Associate Professor, Dean of the Faculty of Economics of the Russian University of Medicine of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia

Roman O. Sudorgin, Ph.D. in Economics, Senior Researcher at the Laboratory of Philological Research of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education. IRA named after A.S. Pushkin", Moscow, Russia

Maria Yu. Karelina, Doctor of Technical Sciences, PhD, Professor, Vice-Rector of the State University of Management, Head of the Department of Machine Parts and Theory of Mechanisms, Moscow Automobile and Road Engineering State Technical University (MADI), Moscow, Russia