

терных систем интеллектуальной обработки, анализа и представления данных [6]. При этом состояние и эффективность действий оператора может находиться под объективным контролем средств автоматики.

7. Противодействие вредительской деятельности людей, групп и организаций на различных уровнях иерархической системы управления. Жесткие ресурсные ограничения в мире приводят к обострению отношений между участниками процессов создания, эксплуатации и модернизации технических систем. Информационное вредительство — наиболее опасное и разрушительное воздействие как для человека, групп людей и общества в целом, так и для программно-технических систем [7]. Эффективность противодействия вредительству определяется в первую очередь информационным ресурсом системы [5].

Новые информационные технологии изменили роль человека в процессах управления. При этом освобождение человека от физического и интеллектуального труда при создании и эксплуатации автоматических систем активизирует творческую составляющую личности, которая поддерживается и усиливается средствами искусственного интеллекта. Развитие ав-

томатики, таким образом, определяется гармоничным взаимодействием человека и средств управления.

#### Список литературы

1. Малафеев С.И., Малафеева А.А. Теория автоматического управления. М. Академия. 2014.
2. Венда Н.Ф. Фундаментальные проблемы, законы и методы оптимизации систем «человек-машина-среда» // Системный подход в инженерной психологии и психологии труда. М.: Наука. 1992. С. 16 -32.
3. Горский Ю.М., Покровский С.В. Гомеостатические структуры и их влияние на устойчивость сложных систем // 5-й симпозиум «Электротехника 2010 г.: Перспективные направления в развитии энергетического оборудования в 2000 – 2010 г.г.». Сборник тезисов. М., 1999. С. 103.
4. Гумилев Л.Н. Этногенез и биосфера Земли. М. Айрис-Пресс. 2014.
5. Малафеева А.А. Геометрическая модель внешних управлений в сложных системах / Известия РАН. Теория и системы управления. 2010, № 4. С. 18 -26.
6. Малафеев С.И., Тихонов Ю.В. Компоненты интеллектуального управления для карьерных экскаваторов / Автоматизация в промышленности, 2013, № 10, С. 33 -37.
7. Малафеев С.И., Копейкин А.И. Надежность технических систем. Примеры и задачи. — СПб., Лань, 2012.

*Малафеев Сергей Иванович — д-р техн. наук, проф., главный научный сотрудник ООО «Компания «Объединенная Энергия», Малафеева Алевтина Анатольевна — д-р техн. наук, проф. Владимирского государственного университета им. А.Г. и Н.Г. Столетовых. Контактный телефон (4922) 361-536. E-mail: sim\_vl@nm.ru amalafeeva@rambler.ru*

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В НЕСТАЦИОНАРНЫХ СИТУАЦИЯХ

А.Л. Венгер (Международный университет «Дубна»)

*Предложена математическая модель, описывающая сбор и анализ информации, необходимой субъекту для принятия адекватных решений в ситуациях выбора, связанных с высоким риском. Предполагается, что реализация решения обеспечивается его соответствующей эмоциональной оценкой – достаточной степенью уверенности в безопасности данного решения. При построении модели использованы элементы математической теории решений и теории временных рядов. Рассматривается влияние жизненной стратегии и предшествующего опыта субъекта.*

*Ключевые слова: теория решений, теория временных рядов, жизненная стратегия, тревожность.*

В работе оператора встречаются ситуации разных типов. Наряду со стандартными ситуациями, предполагающими типовой ответ, периодически возникают ситуации, требующие принятия ответственных решений, причем неверное решение может быть чревато катастрофическими последствиями. В настоящей статье анализируются те характеристики эмоционального реагирования, которые оптимальны для каждого из таких вариантов. В предлагаемой модели учитываются такие особенности профессиональной стратегии как необходимый для данного субъекта уровень уверенности в успехе, степень ориентации на прежний опыт и т. п.

Ранее была предложена математическая модель, описывающая принятие решения в неопределенной ситуации [1]. Рассматривался случай, когда последствия принятого решения  $d$  потенциально могут оказаться катастрофическими (исход  $r^{\wedge}$ ), но вероятность таких последствий  $pr(r^{\wedge})$  крайне мала. Другой исход ( $r$ ) безопасен, и его «полезность» составляет  $u > 0$ . Рассматривалась эмоциональная оценка возможного решения

$d$ , которая и определяет, будет оно реализовываться или нет. В качестве основной альтернативы рассматривалось бездействие (решение  $d_0$ ) с нулевой вероятностью катастрофического исхода и нулевой «полезностью».

Истинная вероятность исхода  $r^{\wedge}$  неизвестна, имеется лишь ее оценка  $p$ , которую мы рассматриваем как субъективную вероятность этого исхода. В соответствии с байесовским подходом, она представляет собой меру уверенности, основанную на имеющейся у субъекта информации. Предполагается, что существует некоторая максимально допустимая для данного субъекта вероятность катастрофических последствий  $\varepsilon > 0$ , представляющая собой индивидуальную константу. Событие, вероятность которого ниже этой величины, субъективно переживается как невозможное. Таким образом, необходимым (но недостаточным) условием реализации решения  $d$  является выполнение неравенства  $p < \varepsilon$ .

Поскольку  $p$  — это лишь субъективная оценка вероятности катастрофического исхода, должна быть

принята во внимание *надежность* этой оценки. Поэтому вводится еще одна индивидуальная константа: необходимая данному субъекту степень уверенности в том, что не только  $p < \varepsilon$ , но и истинное значение  $pr(r^{\wedge})$  тоже не превосходит  $\varepsilon$ . Она может быть определена как уровень доверительной вероятности  $\beta$ , при котором для субъекта становится возможной реализация решения. В предложенной модели надежность оценки характеризуется не самим значением  $\beta$ , а однозначно связанной с ним величиной  $\eta$ , представляющей собой граничное значение  $t$ -критерия Стьюдента при уровне значимости  $\beta$  и бесконечном числе степеней свободы.

Надежность оценки  $p$  тем выше, чем больше собрано сведений о возможных последствиях принимаемого решения. В нашей модели эти сведения выступали в виде последовательности испытаний Бернулли. Если в  $i$ -м испытании реализовался катастрофический исход  $r^{\wedge}$ , то результат принимался за  $X_i = 1$ ; если реализовался позитивный исход  $r$  — за  $X_i = 0$ . Отсюда оценка  $p$  вычисляется как  $p = \frac{\sum X_i}{G}$ , где  $G$  — оценка общего числа испытаний. С каждым следующим испытанием величина  $G$  возрастает на единицу, то есть  $G_n = G_{n-1} + 1$ .

В предыдущей работе [1] было показано, что с учетом приведенных соображений решение  $d$  должно реализовываться тогда и только тогда, когда выполняется неравенство  $G \geq \frac{\eta^2 p}{(\varepsilon - p)^2}$ .

Величина  $\varepsilon$  — это показатель отношения человека к потенциально опасным ситуациям. Относительно высокие значения  $\varepsilon$  соответствуют *стратегии риска*, установке на высокие выигрыши (хотя и в этом случае  $\varepsilon \ll 1$ ). Низкие значения  $\varepsilon$  соответствуют *стратегии избегания риска*, установке на безопасность.

Необходимый уровень надежности  $\eta$  — показатель, определяющий склонность субъекта к сбору информации о возможных последствиях решения  $d$ . Высокие значения  $\eta$  соответствуют *высокому уровню контроля* и требуют значительных затрат времени на процесс формирования эмоциональной оценки. Низкие значения  $\eta$  соответствуют установке на *скорость принятия решений* и чреваты импульсивностью. Они оправданы в условиях недостатка времени.

Нами были рассмотрены четыре варианта соотношений индивидуальных констант.

1. Относительно высокие значения  $\varepsilon$  и  $\eta$ : *стратегия разумного риска*, высокий контроль. Эта стратегия выгодна для деятельностей, неизбежно связанных с высокой вероятностью опасных ситуаций и при этом предоставляющих достаточно времени для тщательного исследования возможных последствий.

2. Относительно высокие значения  $\varepsilon$  и низкие значения  $\eta$ : *стратегия экстремального риска*, импульсивность. Человек не только готов участвовать в опасных ситуациях, но и не занимается детальным выяснением того, насколько именно они опасны. Эта стратегия выгодна для деятельностей, неизбежно связанных

с высоким риском и не оставляющих времени для сбора информации.

3. Низкие значения  $\varepsilon$  в сочетании с высокими значениями  $\eta$ : *стратегия стабильного избегания риска*, осторожное поведение, высокая тревожность. Эта стратегия полезна для профессий, в которых цена катастрофы предельно высока и при этом не требуется высокая скорость принятия решений.

4. Низкие значения обоих параметров  $\varepsilon$  и  $\eta$ : *стратегия избирательного избегания риска*, частая смена эмоционального состояния (эмоциональная лабильность). Такая стратегия оправдана при дефиците времени, как и стратегия экстремального риска. Но, в отличие от нее, она неуместна в таких видах деятельности, в которых неизбежна высокая вероятность опасных ситуаций.

В обобщенном виде каждую из стратегий можно соотнести с тем или иным вариантом жизненного мира, характеризуемого двумя параметрами: уровнем его опасности и степенью прогнозируемости (наличием или отсутствием достаточного времени и источников информации для построения прогноза).

В приведенной модели неявно предполагалось, что вероятность катастрофического исхода остается неизменной в течение всего периода сбора информации о возможных последствиях того или иного решения. Далее будет рассмотрена модель сбора информации в предположении, что эта вероятность может изменяться со временем, причем характер этих изменений субъекту заранее не известен.

Таблица. Варианты жизненного мира

		Уровень опасности мира	
		Безопасный (низкое $\varepsilon$ )	Опасный (высокое $\varepsilon$ )
Степень прогнозируемости мира	Прогнозируемый (высокое $\eta$ )	Стратегия стабильного избегания риска	Стратегия разумного риска
	Непрогнозируемый (низкое $\eta$ )	Стратегия избирательного избегания риска	Стратегия экстремального риска

В этом случае задача сводится к прогнозированию будущих значений нестационарного временного ряда. В статистике разработано множество методов учета разных видов тренда и флуктуаций [2]. Однако большинство из них основано на заранее принятых предположениях о закономерностях, характеризующих временной ряд. Нас же интересует возможность «подстройки» к случайному процессу, законы развития которого субъекту неизвестны. Такая «подстройка» может достигаться благодаря более высокому весу новых наблюдений по сравнению с давними, то есть «устареванию информации». Этот процесс может быть описан экспоненциальным выражением, отражающим аддитивность временных интервалов.

Пусть проводится ряд наблюдений с результатами  $X_i$  подобно тому, как описано выше (при катастрофическом исходе результат принимается за  $X_i = 1$ , при позитивном — за  $X_i = 0$ ). Для простоты предположим, что наблюдения проводятся через единичные интервалы времени. Тогда величина  $G_n$ , определяющая совокупную информацию о процессе, накопленную на  $n$ -м шаге, будет определяться рекуррентной формулой:

$$G_n = G_{n-1} * e^{-L} + 1, \quad (1)$$

где  $L \geq 0$  — индивидуальная константа, определяющая скорость «устаревания информации». Соответственно на  $n$ -м шаге оценка вероятности «катастрофы» будет задаваться формулой:

$$p_n = (G_{n-1} * p_{n-1} + X_n) / G_n. \quad (2)$$

Для определенности следует ввести значения  $p_0$  и  $G_0$ . Это, соответственно, исходная, априорная оценка вероятности «катастрофы» и степени обоснованности (достоверности) этой оценки. Теперь можно указать формулу общего члена последовательности  $G_n$ :

$$G_n = G_0 * e^{-nL} + \sum_{i=0}^{n-1} e^{-iL}. \quad (3)$$

Эквивалентность формул (1) и (3) легко доказывается по индукции.

Чем больше значение  $L$ , тем меньший вес имеет предшествующая информация и, следовательно, выше готовность субъекта к существенному пересмотру своих оценок на основе последних наблюдений. Так, при  $L \rightarrow \infty$  учитывался бы только результат последнего наблюдения, никакие предшествующие не имели бы значения. При этом значение  $G_n$  оставалось бы равным единице, то есть было бы невозможным повышение надежности оценки. Этот вариант описывает поведение субъекта, лишенного памяти и оперирующего только с информацией, поступившей в данный момент.

Напротив, при  $L = 0$  новая информация не имеет никакого приоритета по сравнению с прежней. Все наблюдения сохраняются в памяти и имеют одинаковый вес. В этом случае возвращаемся к описанию стационарного ряда, приведенному выше. Поэтому в дальнейших рассуждениях будем полагать  $L > 0$ , но не чрезмерно большим.

Интересно проследить поведение величин  $G_n$  и  $p_n$  при больших значениях  $n$ , то есть при очень большом числе наблюдений. Именно этот вариант обычно реализуется в практической деятельности оператора.

Устремляя  $n$  к бесконечности, мы нивелируем член  $G_0 * e^{-nL}$  в выражении (3). Это следует из того, что  $nL \rightarrow \infty$ , и, следовательно,  $e^{-nL} \rightarrow 0$ . Таким образом, значение  $G_n$  может быть определено по формуле суммы членов бесконечной убывающей геометрической прогрессии  $e^{-iL}$ . Легко видеть, что оно составляет  $G_n \approx 1/(1 - e^{-L})$ . Эта величина убывает по  $L$ : если  $L$  стремится к нулю, то  $G_n$  стремится к бесконечности, если же  $L$  стремится к бесконечности, то  $G_n$  стремится к единице.

Итак, высокие значения  $L$  обеспечивают чувствительность к изменениям вероятностных характеристик среды, но не позволяют повышать точность оценок (повышать значение  $G$  выше сравнительно низкого предела). Оценки сильно зависят от случайных колебаний наблюдаемых значений. Этот вариант соответствует ориентации на высокую изменчивость ситуации.

**Венгер Александр Леонидович** — д-р психолог. наук, проф. кафедры психологии Международного университета природы, общества и человека «Дубна».  
E-mail: [alvenger@gmail.com](mailto:alvenger@gmail.com)  
Контактный телефон (916) 252- 23-53.

При низких значениях  $L$  эффективно накапливается информация и уточняются оценки, когда ситуация (средние значения) стабильна. Вместе с тем мала чувствительность к изменениям ситуации. Субъект продолжает опираться на прошлый опыт, даже если новые сведения ему существенно противоречат. Следовательно, для этого варианта характерна ориентация на стабильную ситуацию.

Интересно соотнести эти особенности принятия решений с типами ориентировки в ситуации, выделенными выше. Можно полагать, что благоприятно сочетание высоких значений  $L$  с низкими значениями  $\eta$  (ориентация на изменчивый трудно прогнозируемый жизненный мир). В этом случае будет наблюдаться высокая гибкость, быстрое приспособление к изменениям условий деятельности. Это может быть особенно ценно при высоких значениях  $\epsilon$ , то есть при стратегии экстремального риска. Указанное сочетание оптимально для таких видов деятельности, которые чреватые аварийными ситуациями, не оставляющими времени на размышления и мало знакомыми субъекту по его прежнему опыту.

Высокие значения одновременно параметров  $L$  и  $\eta$  (ориентация на прогнозируемый, но сильно изменяющийся жизненный мир) могут приводить к трудностям принятия решений. Это вытекает из того, что высокие значения параметра  $\eta$  обеспечиваются высокими значениями  $G$ , тогда как ориентация на изменения затрудняет их достижение. Особенно неблагоприятным такое сочетание становится при стратегии стабильного избегания риска (высокие значения  $L$  и  $\eta$  при низких значениях  $\epsilon$ ). В этом случае должно наблюдаться особенно выраженное повышение уровня тревоги.

Напротив, низкие значения одновременно параметров  $L$  и  $\eta$  (ориентация на прогнозируемый, мало изменяющийся жизненный мир) представляют благоприятные возможности для деятельности. Условием ее успешности при этом служит достаточно длительный период приобретения опыта в реальных условиях или в ходе обучения, приближенного к этим условиям. Однако при столкновении с аварийными ситуациями, требующими быстрого реагирования, можно ожидать серьезных «сбоев», особенно при стратегии стабильного избегания риска (низкие значения  $\epsilon$ ).

Приведенные соображения основаны на теоретическом анализе различных ситуаций, требующих принятия ответственных решений. Экспериментальная проверка выдвинутых предположений может проводиться в условиях компьютерной симуляции ситуаций, связанных с высоким риском. Такая проверка представляет собой задачу дальнейших исследований.

#### Список литературы

1. Венгер А.Л. Математическое моделирование эмоциональных процессов // Автоматизация в промышленности. 2013. №7. С. 59-63.
2. Кендалл М., Стьюарт А. Многомерный статистический анализ и временные ряды. М.: Наука, 1976.