

## АЛГОРИТМ И МЕТОДЫ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ЛАТЕНТНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ В УСЛОВИЯХ ВРЕМЕННЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ

С.А. Баркалов<sup>1</sup>, barkalov@vgasu.vrn.ru

А.В. Ананьев<sup>2</sup>, sasha303\_75@mail.ru

К.С. Иванников<sup>3</sup>, ivannikov\_ks@radar-mms.com

С.И. Моисеев<sup>1</sup>, mail@moiseevs.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6136-9763>

<sup>1</sup> Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия

<sup>2</sup> АО «Научно-производственное предприятие «Полет», Нижний Новгород, Россия

<sup>3</sup> АО «Научно-производственное предприятие «Радар ммс», Санкт-Петербург, Россия

**Аннотация.** В работе описывается алгоритм и методы принятия и реализации решения в условиях динамически меняющихся внешних и внутренних факторов, влияющих на результат принятия решений. Основную роль в данном алгоритме играет этап оценки привлекательности альтернатив и, как следствие, выбор из них наиболее привлекательной. Основной проблемой для решения данной задачи является выбор лучшей альтернативы в условиях неопределенности, когда не имеется никакой информации о возможных сценариях развития ситуации. Для решения этой проблемы в работе предлагается применить модель Раша оценки латентных переменных, которая позволяет не только получать оценки альтернатив по линейной шкале, но и оценить чувствительности альтернатив к возможным сценариям, которые имеют смысл риска потерь для каждой альтернативы при неожиданном наступлении сценариев, влекущих тяжелые последствия. Также приведены результаты моделирования процесса уточнения данных для принятия решений на основе нестационарных марковских случайных процессов. **Цель исследования** заключается в разработке алгоритма и динамической модели принятия решений, учитывающей ситуационное управление рисками, которая основана на теории латентных переменных и нестационарных марковских случайных процессов. **Материалы и методы.** Для обоснования алгоритма процесса принятия решений используется математическая модель оценки привлекательности альтернатив, основанная на модели Раша оценки латентных переменных. Для обоснования результатов оценивания были проведены вычислительные эксперименты, которые обосновали адекватность полученных оценок. Кроме того, для подтверждения возможности применения алгоритма принятия решений, который предполагает применение итераций для сбора информации, проведено математическое моделирование процесса принятия решений, которое показало для условных сценариев высокую вероятность успешного завершения процесса в заданные сроки. **Результаты.** На основе представленного в работе алгоритма принятия решений в условиях ограниченного времени затронут вопрос расчета весов альтернатив в условиях неопределенности с учетом динамически меняющихся внешних и внутренних условий. Описан оригинальный метод получения оценок привлекательности альтернатив в условиях неопределенности, который учитывает чувствительность альтернатив к возможным сценариям развития ситуации. Для качественного анализа результатов при принятии решений в соответствии с разработанным алгоритмом была приведена модель динамического контроля вероятности принятия решений в заданные сроки. С использованием нестационарных марковских случайных процессов появилась возможность оценить успешность принятия решений за отведенное время и рассчитать количество циклов, необходимых для уточнения исходных данных. **Заключение.** Благодаря использованию модели Раша оценки латентных переменных появилась возможность оценивать не только степень привлекательности альтернатив, но и производить оценку чувствительности, что позволяет получать дополнительную информацию о влиянии внешних условий на «масштаб последствий событий» по результатам принятия решений. Предлагаемый метод обработки поступающей информации, полученной на каждом этапе принятия решений, позволит получать максимально объективные оценки альтернатив и может быть использован как математический аппарат для систем поддержки принятия решений во многих сферах научной и практической деятельности.

**Ключевые слова:** принятие решений, альтернативы, условия неопределенности, латентные переменные, модель Раша, марковские процессы

**Для цитирования:** Алгоритм и методы принятия управленческих решений на основе теории латентных переменных в условиях временных ограничений / С.А. Баркалов, А.В. Ананьев, К.С. Иванников, С.И. Моисеев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2022. Т. 22, № 3. С. 106–116. DOI: 10.14529/ctcr220310

Original article

DOI: 10.14529/ctcr220310

## ALGORITHM AND METHODS FOR MANAGEMENT DECISION-MAKING BASED ON THE THEORY OF LATENT VARIABLES UNDER TIME CONDITIONS

S.A. Barkalov<sup>1</sup>, barkalov@vgasu.vrn.ru

A.V. Ananiev<sup>2</sup>, sasha303\_75@mail.ru

K.S. Ivannikov<sup>3</sup>, ivannikov\_ks@radar-mms.com

S.I. Moiseev<sup>1</sup>, mail@moiseevs.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6136-9763>

<sup>1</sup> Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

<sup>2</sup> JSC Research and Production Enterprise "Polet", Nizhny Novgorod, Russia

<sup>3</sup> JSC Research and Production Enterprise "Radar mms", St. Petersburg, Russia

**Abstract.** The paper describes a decision-making algorithm under conditions of dynamically changing external and internal factors that affect the result of decision-making. The main role in this algorithm is played by the stage of assessing the attractiveness of alternatives and, as a result, choosing the most attractive of them. The main problem for solving this problem is the choice of the best alternative under conditions of uncertainty, when there is no information about possible scenarios for the development of the situation. To solve this problem, the paper proposes to apply the Rasch model of estimating latent variables, which allows not only to obtain estimates of alternatives on a linear scale, but also to obtain estimates of the sensitivity of alternatives to possible scenarios that make sense of the risk of loss for each alternative in case of an unexpected change in the scenario of the development of the situation. The results of modeling the process of data refinement for decision-making based on non-stationary Markov random processes are also presented. **Aim.** The purpose of the study is to develop an algorithm and a dynamic decision-making model that takes into account situational risk management, which is based on the theory of latent variables and non-stationary Markov random processes. **Materials and methods.** To substantiate the algorithm of the decision-making process, there is a mathematical model for assessing the attractiveness of alternatives, based on the Rasch model for assessing latent variables. To substantiate the evaluation results, computational experiments were carried out, which substantiated the adequacy of the obtained estimates. In addition, to confirm the possibility of using a decision-making algorithm, which involves the use of iterations to collect information, mathematical modeling of the decision-making process was carried out, which showed a high probability of successful completion of the process within the specified time frame. **Results.** On the basis of the decision-making algorithm presented in the paper under conditions of limited time, the issue of calculating the weights of alternatives under conditions of uncertainty, taking into account dynamically changing external and internal conditions, is raised. An original method for obtaining estimates of the attractiveness of alternatives under uncertainty is described, which takes into account the sensitivity of alternatives to possible scenarios for the development of the situation. For a qualitative analysis of the results when making decisions in accordance with the developed algorithm, a model of dynamic control over the probability of making decisions within a given time frame was presented. Using non-stationary Markov random processes, it is possible to evaluate the success of decision-making in the allotted time and calculate the number of cycles required to refine the initial data. **Conclusion.** On the basis of the decision-making algorithm presented in the paper under conditions of limited time, the issue of calculating the weights of alternatives under conditions of uncertainty, taking into account dynamically changing external and internal conditions, is raised. An original method for obtaining estimates of the attractiveness of alternatives under uncertainty is described, which takes into account the sensitivity of alternatives to possible scenarios for the development of the situation. For a qualitative analysis of the results when making decisions in accordance with the developed algorithm, a model of dynamic control over the probability of making decisions within a given time

frame was presented. Using non-stationary Markov random processes, it is possible to evaluate the success of decision-making in the allotted time and calculate the number of cycles required to refine the initial data.

**Keywords:** decision making, alternatives, uncertainty conditions, latent variables, Rasch model, Markov processes

**For citation:** Barkalov S.A., Ananiev A.V., Ivannikov K.S., Moiseev S.I. Algorithm and methods for management decision-making based on the theory of latent variables under time conditions. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*. 2022;22(3):106–116. (In Russ.) DOI: 10.14529/ctcr220310

## Введение

Процесс принятия решений – это одно из основных направлений человеческой деятельности, основа развития общества, которая определяет вектор практически всех направлений эволюции человечества. Это дает основание считать, что любые научные исследования в области принятия решений являются актуальными и востребованными, позволяющими внести вклад в теорию управления. Одно из наиболее важных направлений теории принятия решений составляют теоретико-игровые методы. Эти методы служат основой для решения большинства задач, связанных с выбором наиболее рационального варианта действий.

## Цели и задачи

Вследствие заметного ускорения всех процессов, смены внешних условий, влияющих на принятие решений в последнее время, особенно актуальным становятся методы и механизмы, позволяющие гибко реагировать на внешние факторы при принятии решений. Сложившаяся ситуация вызывает необходимость в разработке динамических методов, моделей и алгоритмов, учитывающих темп изменения постоянно меняющихся внешних и внутренних условий. Поэтому время на принятие решений всегда ограничено, что крайне необходимо учитывать при планировании и реализации решений.

Целью данной работы является разработка алгоритма и динамической модели принятия решений, учитывающей ситуационное управление рисками, которая основана на теории латентных переменных и нестационарных марковских процессов.

При этом ставятся следующие задачи:

- 1) разработать алгоритм оценки весов или функций полезности альтернатив для выбора наиболее привлекательной с учетом возможной смены внешних условий в условиях ограниченного времени;
- 2) описать модель принятия решений в условиях полной неопределенности на основе модели Раша оценки латентных переменных;
- 3) на основе нестационарных марковских случайных процессов описать функционирование процесса принятия решений во времени.

## Алгоритм и этапы принятия решений в условиях ограниченного времени

Принятие управленческих решений (УР) является неотъемлемой частью всех сфер жизнедеятельности человека, что обуславливает постоянный интерес к его совершенствованию. С теоретических позиций процесс принятия УР может быть формализован в виде методик, моделей, алгоритмов, которые в целом формируют некоторые подходы.

В общем случае на основе анализа источников [1–6] можно заключить, что выделяют от трех до пятнадцати этапов процесса разработки и реализации УР в зависимости от желания исследователей достичь определенной степени детализации. В то же время все варианты прежде всего по отношению к сфере экономики можно обобщить пятью условными итерационными этапами и соответствующим им содержанием, изложенными ниже.

### Этапы разработки управленческого решения (1–3)

1-й этап выявления (предвидения, планового состояния) проблемной ситуации и постановки цели управленческого решения, по результатам которого ставятся (уточняются) цели и формиру-

ется облик системы критериев оценки результатов решения, в целом формируется стратегия принятия решения.

*2-й этап* сбора, обобщения, дополнения информации и уяснение ограничений, по результатам которого должно быть изучено существо вопроса и условия эффективности решения.

*3-й этап* разработки альтернатив решения и выбор рационального варианта, по результатам которого должна быть сформирована совокупность альтернативных вариантов, среди которых необходимо выбрать наилучшую по выбранным критериям, а самое главное, выбор на основе анализа уточнения неопределенности исходных данных (на 2-м этапе), метода (модели) принятия решения.

#### *Этапы реализации управленческого решения (4–5)*

*4-й этап* организации выполнения принятого решения, содержанием которого является оформление решения, разработка плана его реализации, назначение исполнителей и плановый инструктаж.

*5-й этап* контроля выполнения решения, в ходе которого предупреждаются отклонения от плана реализации УР, а по результатам производится оценка достигнутых результатов.

Традиционно в большинстве стратегий управления решается задача минимизации рисков, или иначе масштаба негативных последствий за счет рационального распределения ресурсов. Такой подход закономерен, так как распределение ресурсов всегда имеет «право на жизнь» как минимум потому, что их всегда не хватает.

Кроме этого, важное значение имеет исходная неопределенность данных, для наиболее жесткого случая заключающаяся фактически в отсутствии данных об обстановке. В этом случае для реализации процедуры выбора альтернатив в работе [7] предложено формирование набора сценариев развития проблемной ситуации, для последующего ранжирования альтернатив с использованием модели Раша оценки латентных переменных.

В результате итераций, количество которых соответствует количеству разработанных сценариев развития проблемной ситуации с использованием методического подхода [7], получается набор решений, среди которых начинает работать «чувствительность» к наиболее худшему случаю, т. е. к максимальному риску.

Таким образом, достижение минимизации риска осуществляется на дискретных этапах управленческого решения, соответствующих этапам разработки управленческого решения (1–3).

Однако здесь налицо противоречие, в сущности, риска негативных последствий: с одной стороны, надо ускорить процесс принятия решения для повышения вероятности своевременности принятия решения, с другой стороны, за счет снижения времени на принятие решения пропорционально снижается качество принятия решения. Соответствующий алгоритм представлен на рис. 1.

Как видно из рис. 1, основным этапом для данного алгоритма является третий, остальные очевидны и обоснованы. На этом этапе встает вопрос, какие модели для оценки привлекательности альтернатив использовать. Выбор зависит от наличия информации. В случае наличия полной информации об обстановке и возможных сценариях развития ситуации рационально использовать методы принятия решений в условиях определенности, которые описаны в работах [1, 8]. В случае частичной информации, когда имеется только вероятностная оценка об обстановке, рационально использовать модели принятия решений в условиях риска, основанные на методе Байеса и построении деревьев решений [1, 9]. Для ситуации, когда информация об окружающей обстановке полностью отсутствует, что характерно для многих процессов в настоящее время, традиционно используются методы Лапласа, Гурвица, Сэвиджа и другие. Но данные методы не в полной мере позволяют оценить масштаб последствий принятия ошибочных решений. Поэтому в данной работе авторами предлагается использовать альтернативный метод, который основан на оценке чувствительности принятого решения к возможным внешним ситуациям, что в свою очередь позволяет вскрыть в условиях полной неопределенности исходных данных наиболее негативные сценарии, несущие максимальный риск [7].

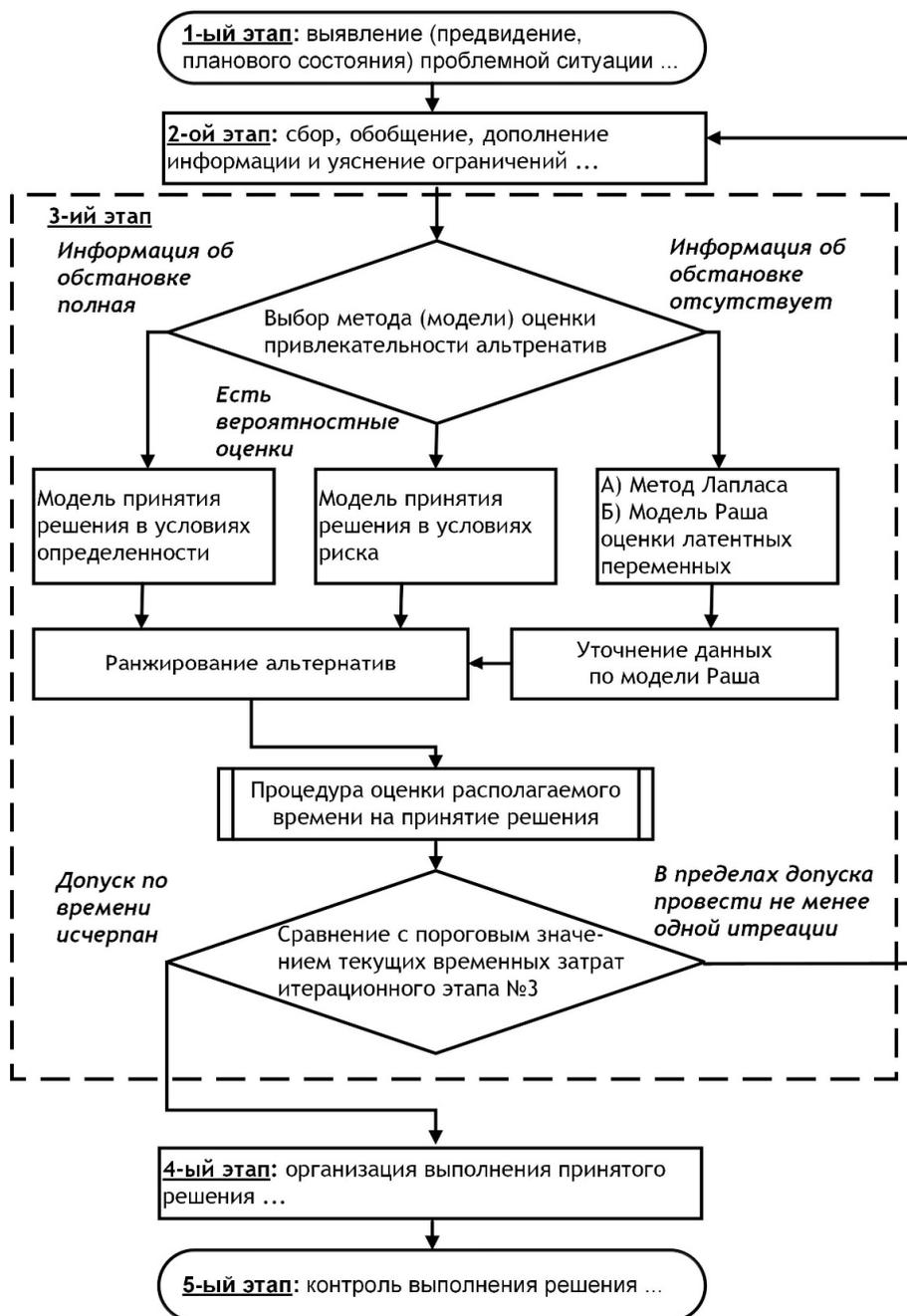


Рис. 1. Алгоритм принятия и реализации управленческого решения в условиях временных ограничений  
Fig. 1. Algorithm for making and implementing a managerial decision under time constraints

### Модель принятия решений в условиях неопределенности, основанная на модели Раша оценки латентных переменных

Рассмотрим процесс принятия решений, который заключается в выборе одной, наиболее привлекательной альтернативы из  $M$  имеющихся. Выбор альтернативы производится на основе того, какой сценарий развития событий будет реализован. Оценки степени привлекательности каждой альтернативы для каждого сценария обозначим через  $w_{ij}$ ,  $i = 1, 2, \dots, M$ ;  $j = 1, 2, \dots, N$ . В условиях неопределенности совершенно не известно, какой сценарий развития ситуации будет реализован. Если для выбора лучшей альтернативы использовать метод Лапласа, то из-за отсутствия информации он будет давать оценки, основанные на среднем выигрыше для всех возможных сценариев и не будет учитывать риски, связанные с принятием неправильной альтернативы.

Критерий Сэвиджа [1] эти риски учитывает, но на элементарном уровне возможных потерь от неправильного выбора альтернативы, что явно недостаточно для более глубокого анализа ситуации.

Приведенная модель принятия решений базируется на понятии чувствительности альтернатив к изменению одного сценария на случайный другой, то есть на том, как выбор каждой альтернативы отражается на возможных потерях в ее привлекательности при смене сценария. При этом будем использовать модель Раша оценки латентных переменных [10–12]. Этот выбор связан с тем, что данная модель позволяет получать независимые оценки привлекательности альтернатив и параллельно с этим оценивать чувствительности критериев, причем эти оценки оказываются независимыми от количества и качества альтернатив и набора возможных сценариев развития ситуации, что показано в работе [13].

Другими словами, полученные оценки альтернатив учитывают не только средний выигрыш по всем возможным сценариям, но и то, как случайная смена развития ситуации отразится на среднем риске получить ущерб при неоптимальном выборе альтернативы. Это позволит учитывать особенности планирования стратегии выбора оптимальных решений, а также учитывать внешние и внутренние условия, необходимые для принятия решения.

Предлагаемая модель в качестве критерия для оценки привлекательностей альтернатив в условиях неопределенности будет использовать понятие чувствительности привлекательностей альтернатив к каждому возможному сценарию, который будет показывать, насколько изменятся их оценки при отсутствии информации по отношению к тому, когда информация появится и будет реализована конкретная ситуация. Итоговые оценки должны подбираться так, чтобы появление информации о реализуемой внешней ситуации принесло бы минимальное суммарное изменение оценок привлекательности альтернатив и, соответственно, минимальную коррекцию оценок каждой альтернативы при принятии решений.

Для реализации предложенной идеи расчета итоговых весов предлагается использовать модель Раша оценивания латентных переменных [10], а точнее, ее модификацию, вычислительным инструментом которой является метод наименьших квадратов [11, 12].

В соответствии с данной моделью введем понятие чувствительности  $R_j, j = 1, 2, \dots, N$  оценки привлекательности альтернативы к возможному сценарию развития ситуации. Этот показатель оценивает, насколько изменятся итоговые оценки альтернатив, если вероятность реализации данного сценария вырастет и станет больше, чем у остальных сценариев, а в нашей ситуации предполагаем, что из-за отсутствия информации изначально все возможные сценарии  $W_1, W_2, \dots, W_M$  развития ситуации равновероятны. Требуется найти итоговую оценку привлекательности альтернатив, наименее чувствительную к изменениям, связанным с реализацией какого-либо сценария при принятии решений.

Согласно модели Раша, для нахождения итоговых показателей привлекательности альтернатив  $W_1, W_2, \dots, W_M$ , а также показателей их чувствительности к возможным сценариям развития ситуации  $R_j, j = 1, 2, \dots, N$  необходимо решать оптимизационную задачу вида

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \left( w_{ij} - \frac{e^{W_i - R_j}}{1 + e^{W_i - R_j}} \right)^2 \rightarrow \min; \quad (1)$$

$$W_i \geq 0; R_j \geq 0; i = 1, 2, \dots, M; j = 1, 2, \dots, N.$$

Таким образом, из решения оптимизационной задачи (1) можно определить не только интегральные оценки привлекательности альтернатив, но и оценки их чувствительности к возможным сценариям на всем их множестве.

Для оценки качества принимаемых решений в соответствии с алгоритмом, изображенным на рис. 1, рационально обозначить некоторый порог допустимой чувствительности, определяемой с использованием теории латентных переменных, которая снижается от итерации к итерации оценки вероятного состояния природы.

Вычислительные эксперименты показали, что оценки альтернатив, полученные по модели Раша, которые учитывают чувствительность экспертных оценок альтернатив к состояниям природы, могут значительно отличаться от оценок, полученных по методу Лапласа принятия решений в условиях неопределенности, причем разница оценок пропорциональна среднеквадратическому отклонению показателей чувствительности по группе всех возможных сценариев. Это го-

ворит о том, что в условиях неопределенности степень корректировки системы управления при появлении информации сильно зависит от однородности воздействия внешних факторов на предметную область при принятии решений. Однако применение модели Раша для оценки весов критериев при неоднородных условиях при принятии решений может в некоторой степени нивелировать воздействие внешней среды и сделать систему поддержки принятия решений более устойчивой к воздействию внешних факторов.

Расчет показателей чувствительности  $R_j$ , которые являются некоторыми свойствами возможных ситуаций, реализуемых при принятии решений, и позволят получать дополнительную информацию и корректировать исходные данные. Действительно, при планировании некоторых действий при полной неопределенности необходимо больше внимания уделять тем сценариям, чувствительность которых выше, так как их реализация позволит сильнее изменить первоначальные выигрыши от выбора оптимальных альтернатив.

Отличием алгоритма принятия управленческого решения, представленного на рис. 1, является включение внешней процедуры оценки располагаемого времени на принятие решения. В качестве варианта ее реализации предлагается использовать нестационарные марковские процессы, так как повторение циклов выработки решения ведет к временной задержке их реализации, вследствие чего растет вероятность негативных последствий.

### Моделирование процесса уточнения информации на основе марковских случайных процессов

Для моделирования данной ситуации будем использовать теорию случайных процессов [14–16], а с учетом того, что влияние внешних факторов независимое и этих факторов, как правило, большое количество, то согласно работе [14] случайный процесс при моделировании можно считать близким к марковскому, а потоки событий, переводящие систему в новое состояние, будут близкими к потокам Пуассона. Тогда можно считать, что вероятность перехода к этапам реализации управленческого решения  $P_v$  как функция от времени  $t$  распределена по показательному закону, то есть имеет вид

$$P_v(t) = 1 - \exp(-\lambda t), \quad t \geq 0, \quad (2)$$

где  $\lambda$  – некоторый параметр, характеризующий степень уточнения данных о принятии решений в зависимости от обстановки, который можно интерпретировать как обратное среднее время  $T_v$ , необходимое на переход к четвертому этапу реализации принятого решения:  $\lambda = 1/T_v$ . Таким образом, параметр  $\lambda$  можно интерпретировать как интенсивность потока перехода к реализации решения.

Введем следующие состояния случайного процесса:

$S_0$  – начало этапа определения альтернатив для начала принятия решения (первые два этапа) и выбор рационального варианта (возможно, после уточнения данных), среднее время нахождения случайного процесса в данном состоянии обозначим через  $T_0$ ;

$S_1$  – в результате процесса принятия решений информации недостаточно и требуется уточнение данных об обстановке, если позволяет время на принятие решений, среднее время нахождения случайного процесса в данном состоянии, равно среднему времени уточнения данных, которое обозначим через  $T_1$ ;

$S_v$  – в результате анализа внешних или внутренних условий уточнение данных об обстановке в дальнейшем не рационально либо время на принятие решений не позволяет это сделать, в итоге происходит переход к четвертому этапу реализации выполнения принятого решения.

С учетом этого случайный процесс будет иметь граф состояний, изображенный на рис. 2.

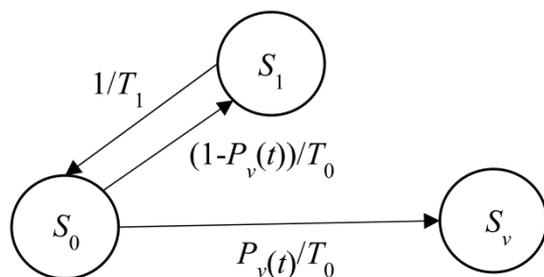


Рис. 2. Граф состояний случайного процесса  
Fig. 2. Graph of states of a random process

С учетом рис. 2 и соотношения (2) система

дифференциальных уравнений Колмогорова для данного случайного процесса будет иметь вид:

$$\begin{cases} \frac{dP_0(t)}{dt} = \frac{P_1(t)}{T_1} - \frac{P_0(t)}{T_0}; \\ \frac{dP_v(t)}{dt} = \frac{(1 - \exp(-\lambda t))P_0(t)}{T_0}; \\ P_1(t) = 1 - P_0(t) - P_v(t); \\ P_0(0) = 1, P_1(0) = P_v(0) = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Решение системы дифференциальных уравнений (3) проводилось численными методами, и графики вероятностей состояний как функции от времени приведены на рис. 3.

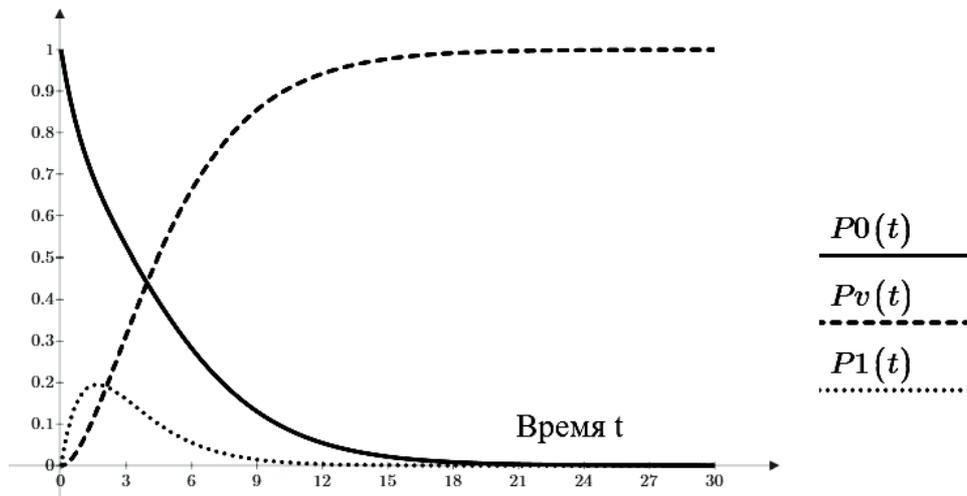


Рис. 3. Временные зависимости вероятностей состояний случайного процесса при параметрах  $T_0 = 3, T_1 = 2, \lambda = 0,5$   
Fig. 3. Time dependences of the probabilities of states of a random process with parameters  $T_0 = 3, T_1 = 2, \lambda = 0.5$

Очевидно, что наиболее интересным с точки зрения описания последовательности этапов алгоритма является состояние  $S_v$ , которое соответствует моменту начала реализации принятого решения. Как показал анализ, на вероятность этого состояния  $P_v(t)$  достаточно сильное влияние оказывает параметр  $\lambda$ . Графики зависимостей  $P_v(t)$  для разных значений параметра  $\lambda$  приведены на рис. 4.

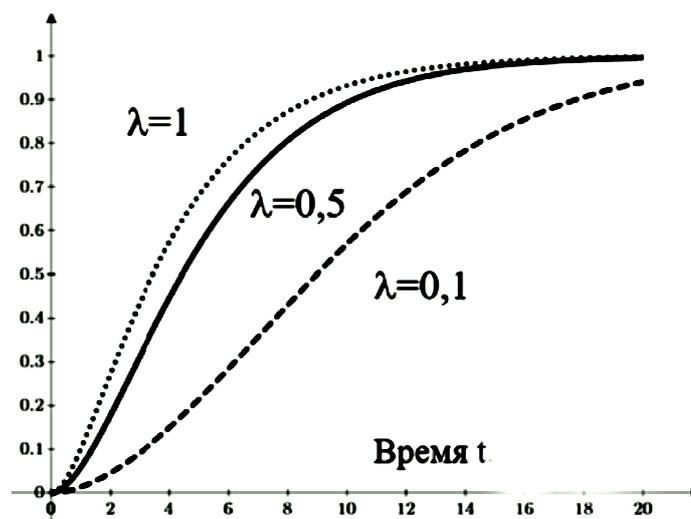


Рис. 4. Временная зависимость вероятности перехода к реализации решения  $P_v(t)$  для разных значений параметра  $\lambda$   
Fig. 4. Time dependence of the probability of transition to the implementation of the solution  $P_v(t)$  for different values of the parameter  $\lambda$

Таким образом, как и следовало ожидать, вероятность принять решение в более короткие сроки зависит от времени реализации всех этапов принятия решений и уменьшения их сроков, что позволит увеличить число итераций, связанных с накоплением дополнительной информации, позволяющей принять оптимальное решение.

### **Заключение**

На основе представленного в работе алгоритма принятия решений в условиях ограниченного времени затронут вопрос расчета весов альтернатив в условиях неопределенности с учетом динамически меняющихся внешних и внутренних условий.

Описан оригинальный метод получения оценок привлекательности альтернатив в условиях неопределенности, который учитывает чувствительность альтернатив к возможным сценариям развития ситуации.

Благодаря использованию модели Раша оценки латентных переменных появилась возможность оценивать не только степень привлекательности альтернатив, но и производить оценку чувствительности альтернатив к возможным сценариям развития ситуации, что позволяет получать дополнительную информацию о влиянии внешних условий на процесс принятия решений.

Для качественного анализа результатов при принятии решений в соответствии с разработанным алгоритмом была приведена модель динамического контроля вероятности принятия решений в заданные сроки. С использованием нестационарных марковских случайных процессов появилась возможность оценить успешность принятия решений за отведенное время и рассчитать количество циклов, необходимых для уточнения исходных данных.

Следует отметить, что данное научное исследование можно развивать за счет детализации видов внешнего воздействия, разбиения этапа выбора оптимальной альтернативы на конкретные задачи с учетом факторов, влияющих на эти этапы, а также осуществляя учет наиболее актуальных внешних и внутренних воздействий на процесс принятия решений.

### **Список литературы**

1. Баркалов С.А., Моисеев С.И., Порядина В.Л. Математические методы и модели в управлении и их реализация в MS Excel. Воронеж: Воронежский ГАСУ, 2015. 265 с.
2. Безматерных А.О., Файзрахманова Е.В. Содержательный анализ этапов принятия управленческих решений в концепциях различных школ управления и их отражение в специфике деятельности торговых предприятий // *Modern Science*. 2020. № 12-4. С. 34–38.
3. Гладкова Ю.В., Гладков В.П. Этапы принятия управленческих решений // *Вестник Пермского государственного технического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления*. 2010. № 4. С. 39–44.
4. Маликов Д.З. Этапы разработки управленческих решений // *Вестник науки*. 2020. Т. 4, № 5 (26). С. 116–120.
5. Морозкова В.Ю., Василенко М.Е. Значение анализа консолидированной финансовой отчетности и его этапы в принятии управленческих решений // *Актуальные вопросы современной экономики*. 2020. № 7. С. 58–64.
6. Попков М.В. Основные этапы принятия управленческих решений // *Мировая наука*. 2019. № 5 (26). С. 571–576.
7. Ананьев А.В., Иванников К.С., Моисеев С.И. Методика принятия решений в условиях неопределенности с использованием теории латентных переменных // *Системы управления и информационные технологии*. 2022. № 2 (88). С. 31–36.
8. Моисеев С.И., Обуховский А.В. Математические методы и модели в экономике: учеб. пособие. Изд. 2-е, испр. Воронеж: АОНО ВПО «Ин-т менеджмента, маркетинга и финансов», 2009. 160 с.
9. Барлаков С.А., Моисеев С.И., Порядина В.Л. Модели и методы в управлении и экономике с применением информационных технологий [Электронный ресурс]: учеб. пособие. СПб.: Интернет-медия, 2017. 264 с.
10. Rasch Models. Foundations, Resent Developments and Applications / Editors: G.H. Fischer, I.W. Molenaar. Springer, 1997.

11. Маслак А.А. Модель Раша оценки латентных переменных и ее свойства: моногр. / А.А. Маслак, С.И. Моисеев. Воронеж: НПЦ «Научная книга», 2016. 177 с.
12. Моисеев С.И. Модель Раша оценки латентных переменных, основанная на методе наименьших квадратов // Экономика и менеджмент систем управления. Научно-практический журнал. 2015. № 2.1 (16). С. 166–172.
13. Маслак А.А., Моисеев С.И., Осипов С.А. Сравнительный анализ оценок параметров модели Раша, полученных методами максимального правдоподобия и наименьших квадратов // Проблемы управления. 2015. № 5. С. 58–66.
14. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. М.: Высш. шк., 1998. 354 с.
15. Матальцкий М.А. Элементы теории случайных процессов: учеб. пособие. Гродно: ГрГУ, 2004. 326 с.
16. Миллер Б.М., Панков А.Р. Теория случайных процессов в примерах и задачах. М.: Физматлит, 2002. 320 с.

### References

1. Barkalov S.A., Moiseyev S.I., Poryadina V.L. *Matematicheskiye metody i modeli v upravlenii i ikh realizatsiya v MS Excel* [Mathematical Methods and Models in Management and Their Implementation in MS Excel]. Voronezh: SUACE Publ.; 2015. 265 p. (In Russ.)
2. Bezmaternykh A.O., Fayzrakhmanova E.V. [A meaningful analysis of the stages of managerial decision-making in the concepts of various management schools and their reflection in the specifics of the activities of commercial enterprises]. *Modern Science*. 2020;12-4:34–38. (In Russ.)
3. Gladkova Yu.V., Gladkov V.P. [Stages of managerial decision-making]. *Bulletin of the Perm State Technical University. Electrical engineering, information technologies, control systems*. 2010;(4):39–44. (In Russ.)
4. Malikov D.Z. [Stages of development of managerial decisions]. *Vestnik nauki*. 2020;4(5 (26)): 116–120. (In Russ.)
5. Morozkova V.Yu., Vasilenko M.E. [The value of the analysis of the consolidated financial statements and its stages in making managerial decisions]. *Actual issues of modern economics*. 2020;(7):58–64. (In Russ.)
6. Popkov M.V. [The main stages of managerial decision-making]. *World science*. 2019;5(26):571–576. (In Russ.)
7. Ananiev A.V., Ivannikov K.S., Moiseev S.I. [Decision-making methodology under uncertainty using the theory of latent variables]. *Management systems and information technologies*. 2022;2(88):31–36. (In Russ.)
8. Moiseyev S.I., Obukhovskiy A.V. *Matematicheskiye metody i modeli v ekonomike: ucheb. posobiye* [Mathematical Methods and Models in Economics: Textbook]. Voronezh: Institute of Management, Marketing and Finance Publ.; 2009. 160 p. (In Russ.)
9. Barlakov S.A., Moiseyev S.I., Poryadina V.L. *Modeli i metody v upravlenii i ekonomike s primeneniym informatsionnykh tekhnologiy: ucheb. posobiye* [Models and Methods in Management and Economics Using Information Technology: Textbook]. St. Petersburg: Intermedia Publ.; 2017. 264 p. (In Russ.)
10. Fischer G.H., Molenaar I.W. (Eds.). *Rasch Models. Foundations, Resent Developments and Applications*. Springer; 1997.
11. Maslak A.A., Moiseev S.I. *Model' Rasha otsenki latentnykh peremennykh i eye svoystva: monogr.* [Rasch model of latent variable estimation and its properties. Monograph]. Voronezh: SPC "Scientific Book"; 2016. 177 p. (In Russ.)
12. Moiseev S.I. [The Rasch model for estimating latent variables based on the least squares method]. *Economics and management of control systems*. 2015;2.1(16):166–172. (In Russ.)
13. Maslak A.A., Moiseev S.I., Osipov S.A. [Comparative analysis of estimates of the Rasch model parameters obtained by maximum likelihood and least squares methods]. *Management Problems*. 2015;(5):58–66. (In Russ.)
14. Venttsel' E.S., Ovcharov L.A. *Teoriya sluchaynykh protsessov i eye inzhenernyye prilozheniya* [The Theory of Random Processes and its Engineering Applications]. Moscow: Higher School; 1998. 354 p. (In Russ.)

15. Matalytskiy M.A. *Elementy teorii sluchaynykh protsessov: ucheb. posobiye* [Elements of the Theory of Random Processes: Tutorial]. Grodno: Publishing House of the State University; 2004. 326 p. (In Russ.)

16. Miller B.M., Pankov A.R. *Teoriya sluchaynykh protsessov v primerakh i zadachakh* [The Theory of Random Processes in Examples and Problems]. Moscow: Fizmatlit; 2002. 320 p. (In Russ.)

***Информация об авторах***

**Баркалов Сергей Алексеевич**, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой управления, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия; barkalov@vgasu.vrn.ru.

**Ананьев Александр Владиславович**, д-р техн. наук, старший научный сотрудник, АО «Научно-производственное предприятие «Полет», Нижний Новгород, Россия; sasha303\_75@mail.ru.

**Иванников Кирилл Сергеевич**, директор научно-производственного комплекса «Специальное программное обеспечение», АО «Научно-производственное предприятие «Радар ммс», Санкт-Петербург, Россия; ivannikov\_ks@radar-mms.com.

**Моисеев Сергей Игоревич**, канд. физ.-мат. наук, доц., доц. кафедры управления, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия; mail@moiseevs.ru.

***Information about the authors***

**Sergey A. Barkalov**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of the Department of Management, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia; barkalov@vgasu.vrn.ru.

**Alexander V. Ananiev**, Dr. Sci. (Eng.), Senior Researcher, JSC Research and Production Enterprise “Polet”, Nizhny Novgorod, Russia; sasha303\_75@mail.ru.

**Kirill S. Ivannikov**, Director of the Research and Production Complex “Special Software”, JSC Research and Production Enterprise “Radar mms”, St. Petersburg, Russia; ivannikov\_ks@radar-mms.com.

**Sergey I. Moiseev**, Cand. Sci. (Phys. and Math.), Ass. Prof., Ass. Prof. of the Department of Management, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia; mail@moiseevs.ru.

***Статья поступила в редакцию 26.06.2022***

***The article was submitted 26.06.2022***