

◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆ **КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ** ◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆

УДК 519.816

## **Разработка системы измерения интеллектуальной силы акторов**

***Потапова З.Е.\****

Московский авиационный институт (НИУ МАИ),  
г. Москва, Российская Федерация  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2718-1556>  
e-mail: [potapovaz@yandex.ru](mailto:potapovaz@yandex.ru)

***Кисилевич И.К.\*\****

Московский авиационный институт (НИУ МАИ),  
г. Москва, Российская Федерация  
e-mail: [ilya.kisilevich@gmail.com](mailto:ilya.kisilevich@gmail.com)

В данной работе рассматривается проблема определения точной оценки возможности актора решить задачу определенной степени трудности. Оценка определяется в процессе решения локальных задач группой акторов, при этом задачи входят в круг компетенций данной группы. В общем случае акторы могут быть носителями как естественного, так и искусственного интеллекта. В процессе решения поставленной проблемы используется теорема Кондорсе, формула Раша, метод эволюционного согласования решений (МЭС).

**Ключевые слова:** актор, метод эволюционного согласования решений, вероятность правильного решения, трудность задания, подготовленность актора.

**Благодарности.** Авторы благодарят за помощь при постановке задачи и поисках способа её решения В.И.Протасова.

**Для цитаты:**

*Потапова З.Е., Кисилевич И.К.* Разработка системы измерения интеллектуальной силы акторов // Моделирование и анализ данных. 2021. Том 11. № 3. С. 57–73. DOI: <https://doi.org/10.17759/mda.2021110304>

**\*Потапова Зинаида Евгеньевна**, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры математической кибернетики, Московского авиационного института (НИУ МАИ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2718-1556>, e-mail: [potapovaz@yandex.ru](mailto:potapovaz@yandex.ru)

**\*\*Кисилевич Илья Константинович**, бакалавр, выпускник кафедры математической кибернетики Института информационных технологий и прикладной математики Московского авиационного института, г. Москва, Российская Федерация, e-mail: [ilya.kisilevich@gmail.com](mailto:ilya.kisilevich@gmail.com)



## 1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в промышленной и научной сферах всё чаще встречаются задачи повышенной трудности, с которыми не всегда может справиться один или несколько недостаточно подготовленных актеров. Такие задачи зачастую приводят к необходимости использования групповой работы, поддерживаемой системами коллективного интеллекта [1,2]. Современные методы построения систем коллективного принятия решений зачастую основываются на устаревающих методах и технологиях, известных ещё в докомпьютерную эру. Данные методы не учитывают специфику компьютерных сетей и новых подходов к управлению. При этом до сих пор стоит проблема достоверности результатов, полученных при использовании таких методов. В частности, до текущего момента не была представлена система измерения интеллектуальной силы актеров. Измерение интеллектуальной силы позволит найти подход для правильного распределения потока задач разной степени трудности в соответствии с возможностями актеров решить эти задачи [3]. В связи с этим возникает необходимость построения программной системы, которая бы вычисляла интеллектуальную силу актера и уровень трудности задания, с которым может справиться группа актеров с высокой вероятностью.

### Основные определения и термины

В данной работе применяются следующие понятия и определения:

*Актер* (лат. *actor* – деятель) – индивид, общественная группа, институт или другой объект, осуществляющий конкретные действия в рамках своей роли. В процессе работы актер может либо генерировать решения, либо оценивать чужие решения. При этом актеры имеют определённый уровень подготовленности  $\theta$ . Задания характеризуются трудностью  $\beta$ ;

*Групповой актер* – группа актеров, которая работает над проектом с заданной целью;

*Слот* – отдельная часть проекта, которая может иметь правильное или неправильное заполнение, либо остаться незаполненным;

*Проект* – продукт работы актеров, удовлетворяющий поставленной цели;

*Метод эволюционного согласования* (МЭС) – процедура заполнения слотов проекта групповым актером в соответствии с правилами взаимодействия, взятыми из генетических алгоритмов;

*Задача* – в данном контексте – вопрос из базы тестов с известными проверяющему ответами, но не известными актеру.

*Коллективный интеллект* – способность группы актеров находить решения задач более эффективные, чем лучшее индивидуальное решение в этой группе. Эта способность зависит как от способностей отдельных актеров, входящих в группу, так и от правил или процедуры взаимодействия актеров в процессе работы над проектом;

*Система коллективного интеллекта* – совокупность инструментальных средств и процедур, позволяющих при соблюдении определенных условий организовать

коллективную работу акторов по заполнению слотов проекта правильными решениями.

## 2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Разработать алгоритм для измерения интеллектуальной силы актора. При этом акторы могут быть носителями как естественного, так и искусственного интеллекта. Для построения алгоритма использовать теорему Кондорсе [4], модель Георга Раша [4] и метод эволюционного согласования решений, базирующийся на генетических алгоритмах [3]. Провести анализ полученных результатов.

## 3. МЕТОД ЭВОЛЮЦИОННОГО СОГЛАСОВАНИЯ

Существенными особенностями метода эволюционного согласования решений, отличающего его от других, является использование концепции правил взаимодействия, взятых из генетических алгоритмов, между акторами, выступающими в двух ролях – генераторов частей решений и оценщиков чужих решений.

МЭС – способ организации коллективной работы акторов над проектом с заранее заданной целью по правилам, взятыми из генетических алгоритмов [3].

На рис. 1. показаны стадии заполнения слотов акторами.



Рис. 1. Стадии заполнения слотов

Акторы на нулевой итерации заполняют слоты проекта в соответствии со своими знаниями. Цветные прямоугольники – неправильные ответы. На итерациях согласования каждый актор проверяет чужие варианты и выбирает из них правильные на его взгляд слоты, заполняя ими пустые ячейки своего варианта. Пустые слоты изображены белыми прямоугольниками, правильные ответы – серые.

Правила взаимодействия акторов, а также правила по организации работы акторов выглядят следующим образом:

- 1) Формулирование целей проекта;
- 2) Определение состава акторов и способов их взаимодействия;
- 3) Создание каркаса проекта – перечня слотов, подлежащих заполнению;



- 4) Нахождение первых вариантов решений, в том числе и неполных;
- 5) Обмен вариантами решений;
- 6) Проверка критериев окончания работы;
- 7) Составление новых решений из полученных (скрещивание);
- 8) Внесение изменений в новые решения (мутация);

Продолжение итерационного процесса обмена вариантами и скрещивания вариантов, пока не закончится время работы над проектом, или популяция решений не сойдётся к одинаковым ответам.

От числа итераций, количества акторов и их компетентности, как генераторов идей, так и оценщиков вариантов решений зависит результативность МЭС. Совокупным креативным потенциалом группы и выбранной схемой МЭС определяется качество созданного продукта.

МЭС может применяться в таких сферах, как: формирование разноязычных групп экспертов, дистанционная работа, компьютерная лингвистика, формирование команд в процессе совместной деятельности, составление планов развития организаций и отраслей, составление экспертных заключений, самоуправляемый краудсорсинг, автоматический переводчик, составление фоторобота, образование, составление технического задания и др.

#### 4. ТЕОРЕМА КОНДОРСЕ

Вероятность правильного решения задачи с использованием МЭС на стадии генерации решений группой акторов можно определить с использованием математической модели, связанной с теоремой Кондорсе о жюри присяжных, опубликованной в 1785 г [4]. Наиболее популярная формулировка этой теоремы выглядит следующим образом:

*Пусть одно из двух решений, предлагаемых группой присяжных- правильное, и присяжный в среднем чаще голосует за правильное решение. Утверждается, что вероятность вынесения правильного решения большинством голосов растёт с ростом числа присяжных и стремится к единице.*

Далее для наглядности приведём рис. 2., на котором отображена зависимость вероятности  $Q_R$  правильного решения группы из  $M$  акторов от их числа и вероятности  $G_R$  правильного решения одного актора.

Из рассмотрения этого рисунка видно, что группа из 5001 акторов с  $G_R=0.505$  достигает вероятности правильного решения  $Q_R=0.8$ , иными словами, мы наблюдаем эффект «усиления интеллекта» в группе. При  $G_R > 0.5$  мы наблюдаем эффект Кондорсе – стремление  $Q_R$  к единице при увеличении числа акторов. Для  $G_R < 0.5$  мы наблюдаем обратный эффект – уменьшение  $Q_R$ . Вероятность  $Q_R$  правильного решения группой, состоящей из  $M$  акторов, в зависимости от их числа и величин вероятности определения правильного решения  $G_i$  у каждого актора, рассчитанную из теории, можно представить следующим образом:

$$Q_R = (1 + \sum_{j=2}^H \sum_{l_{j-1} > l_{j-2} > \dots > l_1} \prod_{n=1}^{j-1} \frac{1-G_{l_n}}{G_{l_n}}) \prod_{i=1}^M G_i \quad (1)$$



где  $H = \frac{M+1}{2}$ , все  $l_n = 1, 2, \dots, M, n = 1, 2, \dots, H - 1$ .

При четном  $M$  в случае равенства числа правильных и неправильных решений теория рекомендует решение выбирать случайно, но, чтобы избежать этого, лучше заранее выбрать  $M$  нечетным числом.

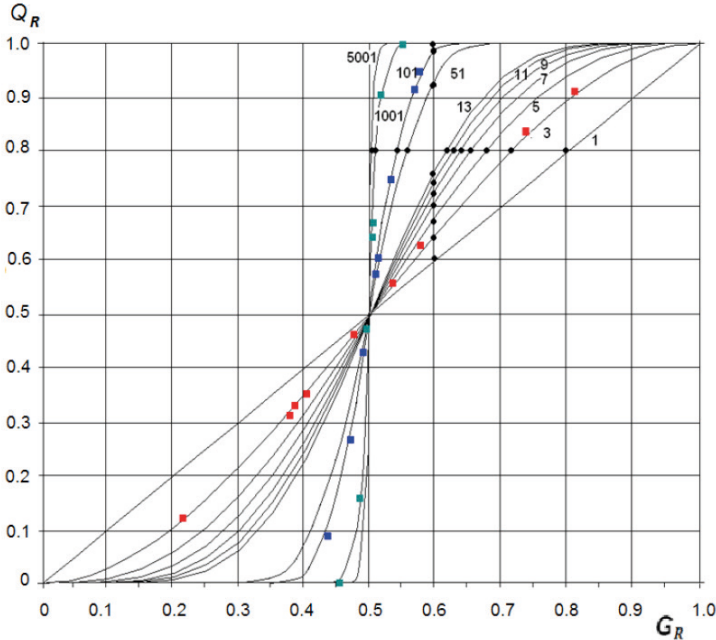


Рис. 2. Зависимости величин в теореме Кондорсе

При  $G_1 = G_2 = \dots = G_M = G_R$  после преобразований и сверток коэффициентов получаем выражение:

$$Q_R = \sum_{i=0}^{\frac{M-1}{2}} C_M^i G_R^{M-i} (1 - G_R)^i \quad (2)$$

## 5. МОДЕЛЬ РАША

Связь между уровнем трудности тестовых вопросов и степенью подготовленности акторов при определении вероятности правильного ответа была установлена Георгом Рашем в наиболее общей теории конструирования тестов, опирающейся на теорию измерений – Item Response Theory (IRT) [5]. В основе этой теории лежит модель Георга Раша, параметрами которой являются величины: трудность  $\beta$  и подготовленность  $\theta$ . В модели Раша вероятность правильного ответа  $i$ -го испытуемого на  $j$ -е тестовое задание определяется разностью параметров  $\theta_i - \beta_j$ . Георг Раш сделал предположение, что данная математическая модель устанавливает связь между значениями параметров  $\theta_i$  и  $\beta_j$  и эмпирическими результатами тестирования, при этом



подготовленность  $i$ -го испытуемого  $\theta_i$  и трудность  $j$ -го задания  $\beta_j$  измеряются в одних и тех же латентных единицах – логитах. Теоретические значения этих величин могут изменяться от минус бесконечности до плюс бесконечности.

Согласно этой модели, вероятность  $G_R$  правильного заполнения слота трудности  $\beta$  и подготовленности актора  $\theta_G$  выражается так:

$$G_R = \frac{1}{1 + e^{\beta - \theta_G}} \quad (3)$$

Далее для наглядности приводится рис. 3., который демонстрирует зависимость вероятности правильного ответа  $G_R$  от трудности задания  $\beta$  при различных значениях подготовленности актора  $\theta_G$  в процессе генерации решения.

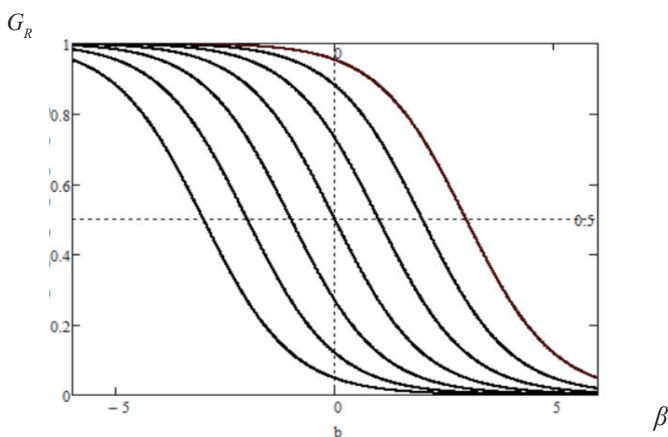


Рис. 3. Зависимости величин в формуле Раша

## 6. ЦЕННОСТЬ ЗАДАЧ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СЛОЖНОСТИ

Применяя модели Раша и МЭС, можно принципиально решить проблему квалиметрии вклада акторов в коллективный проект. Из описания МЭС видно, что креативные способности акторов, которые они используют при коллективной работе над проектом, состоящим из слотов аналогичных по сложности, можно свести к четырем основным параметрам:

$G_R$  – вероятность правильного заполнения слота актором на этапе генерации идей;

$G_N$  – вероятность ошибочного заполнения слота актором на этапе генерации идей;

$E_R$  – вероятность правильной экспертизы на этапе согласования решений;

$E_N$  – вероятность ошибочной экспертизы на этапе согласования решений;

С данными параметрами актора связаны четыре вспомогательных параметра, используемых в дальнейшем:

$G_S = G_R + G_N$  – вероятность заполнения слота на стадии генерации;

$G_V = 1 - G_S$  – вероятность ответа «не знаю» на стадии генерации;



$E_S = E_R + E_N$  – вероятность того, что слот будет заполнен при оценивании;

$E_V = 1 - E_S$  – вероятность того, что слот не будет заполнен при оценивании.

Степень подготовленности актора  $\theta$  определяется на тестах с открытыми вопросами.

Очевидно, что при ответе на простые вопросы, в тех случаях, когда подготовленность актора  $\theta_G$  в несколько раз превышает трудность задачи  $\beta$ , вероятность неправильного ответа стремится к нулю. В случае решения сложных задач, когда подготовленность актора  $\theta_G$  намного меньше трудности задания  $\beta$ , вероятность неправильного ответа в двоичной логике, когда актер дает только два взаимоисключающих ответа, существенно возрастает. Однако, в троичной логике вероятность неправильного ответа также должна близиться к нулю, так как актер будет давать ответ «не знаю» с вероятностью, близкой к единице.

Аналогичные рассуждения можно провести для случая определения вероятности правильной и неправильной экспертизы.

$$E_R = \frac{1}{1 + e^{\beta - \theta_E}} \quad (4)$$

где  $\theta_E$  – подготовленность актора к экспертизе уже имеющихся решений. Из анализа имеющихся выражений и использования компьютерного моделирования вероятности правильного ответа, полученного группой акторов в зависимости от трудности задачи и их подготовленности, можно построить методику квалитметрического обеспечения системы, определяющую относительную стоимость выполнения задач и справедливую систему оплаты труда специалистов, решающих интеллектуальные задачи в составе группы или индивидуально [6, 7, 8].

#### **Утверждения о величине интеллектуальной сложности задачи и интеллектуальной силе актора**

Для нахождения интеллектуальной сложности задачи  $S(\beta)$  и интеллектуальной силы актора  $Z(\theta)$  применим принцип равной оплаты равного труда. Принцип заключается в следующем. Допустим, у нас есть две группы  $M_1$  и  $M_2$  акторов с подготовленностью  $\theta_1$  и  $\theta_2$ , правильно решающие задачу трудности  $\beta$ , с заданной вероятностью  $Q$ . Этой задаче соответствуют затраты труда  $S$ , соответствующие ее интеллектуальной сложности, и определена цена задачи. Тогда интеллектуальная сила актора из первой группы, соответствующая затратам труда актора, будет определяться отношением  $Z_1 = \frac{S}{M_1}$ , а интеллектуальная сила актора из второй группы, соответствующая затратам его труда, будет определяться отношением  $Z_2 = \frac{S}{M_2}$ .

**Утверждение 1.** *Интеллектуальная сложность задачи трудности  $\beta$ , решаемая с заданной вероятностью  $Q$ , равна*

$$S(\beta) = \frac{\ln \frac{1}{1-Q}}{\ln 2} C^\beta = M_0 C^\beta \quad (5)$$

**Утверждение 2.** *Интеллектуальная сила актора с подготовленностью  $\theta$  равна*

$$Z(\theta) = C^\theta \quad (6)$$



где  $C = e^{\frac{1}{2 \ln 2}} = 2.05720346 \dots$

Рассмотрим алгоритм метода золотого сечения, применённый в процессе решения поставленной задачи.

## 7. АЛГОРИТМ МЕТОДА ЗОЛОТОГО СЕЧЕНИЯ

Рассматривается следующая модель. Пусть существует  $M$  акторов, отвечающих на  $N$  тестовых вопросов. У акторов изначально известно значение подготовленности  $\theta$  и вероятность  $Q_R(\beta)$  – зависимость правильного ответа группы акторов от трудности задачи. Нужно подобрать такую трудность  $\beta$ , чтобы  $Q_R \geq 0.999$ .

Для решения этой задачи был выбран метод золотого сечения. Алгоритм выглядит следующим образом:

Задаются границы для поиска трудности  $\beta$  ( $\pm 1.5$  логит):

$$a = \theta - 1.5, \quad b = \theta + 1.5$$

1. Согласно методу золотого сечения высчитываются две внутренние точки:

$$c = a + (1.5 + \sqrt{1.25}) * (b - a),$$

$$d = b - (1.5 - \sqrt{1.25}) * (b - a) \quad (7)$$

Вычисляются значения правильного ответа группы акторов в этих точках  $Q_R(c)$  и  $Q_R(d)$ :

Вероятность правильного решения  $Q_R$  группы акторов находится при помощи метода эволюционного согласования

Сравниваются полученные  $Q_R(c)$  и  $Q_R(d)$ :

Если  $Q_R(d) \leq Q_R(c)$ , то  $a$  меняется на  $d$ , иначе –  $b$  на  $c$

Если  $Q_R \notin (0.999; 0.9999)$  то идет возврат к п.2, иначе переходим к п.6

При  $Q_R \geq 0.999$  и  $Q_R < 0.9999$  вычисляется  $\beta$ .

Далее для наглядности приводится графическое изображение этого алгоритма. На рис. 4. показан график зависимости  $Q_R(\beta)$  и движение границ поиска  $\beta$  согласно методу золотого сечения.

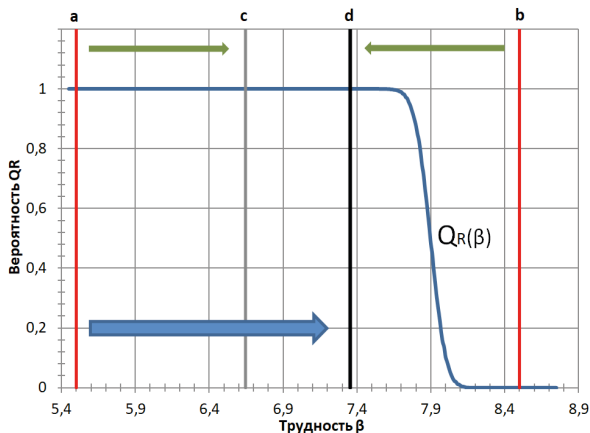


Рис. 4. Метод золотого сечения





## 8. ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ

Компьютерная модель для данной задачи была реализована с помощью языка программирования PascalABC.NET.

Разработанная модель представляет собой некоторую базу, в которую вносятся результаты решений и экспертных оценок виртуальных акторов. Эти результаты могут изменяться в зависимости от количества акторов, а также от их уровня подготовленности. На основании этих результатов вычисляется вероятность правильного решения поставленной задачи для  $M$  акторов. Количество акторов  $M$  пользователь задаёт сам. Задача, которую решают акторы, состоит из 100 вопросов, на каждый из которых можно выбрать ответ или ответить «не знаю». В разработанной программе можно использовать реальные значения  $\theta$  акторов, вычисляемые из тестов, а можно использовать величины, сгенерированные случайным образом на основании введённой подготовленности. Генерация сделана таким образом, чтобы сохранялась логика: подготовленность актора к заполнению слотов  $\theta_{GS}$  (правильный или неправильный ответ) должна быть строго больше уровня подготовленности  $\theta_{GR}$  к генерации решений, так же, как и подготовленность актора к экспертизе  $\theta_{ES}$  (правильной или не правильной) должна быть больше подготовленности к правильной экспертизе  $\theta_{ER}$ . Далее приведен фрагмент кода (рис. 5.), на котором видна генерация  $\theta$ :

```
8   koef:=0.1;  
9   writeln('Введите количество акторов M: ');  
10  readln(M);  
11  writeln('Введите TGR: ');  
12  readln(TGR);  
13  g1:=koef*random;  
14  TGS:=TGR+g1+M/50;  
15  g2:=koef*random;  
16  TER:=TGS+g2+M/50;  
17  g3:=koef*random;  
18  TES:=TER+g3+M/16;
```

Рис. 5. Генерация  $\theta$

В программе реализован метод золотого сечения, адаптированный под текущую задачу следующим образом: вместо экстремума ищется значение переменной  $\beta$ , которое должно удовлетворять заданным параметрам, а вместо целевой функции используется итерационный цикл, моделирующий стадии генерации и согласования решений в методе эволюционного согласования. В процессе работы программы можно наблюдать как в зависимости от текущего уровня трудности задачи меняются вероятность правильного решения задачи группой акторов  $Q_R$  и вероятность ответа «не знаю»  $Q_V$  (рис. 6.).

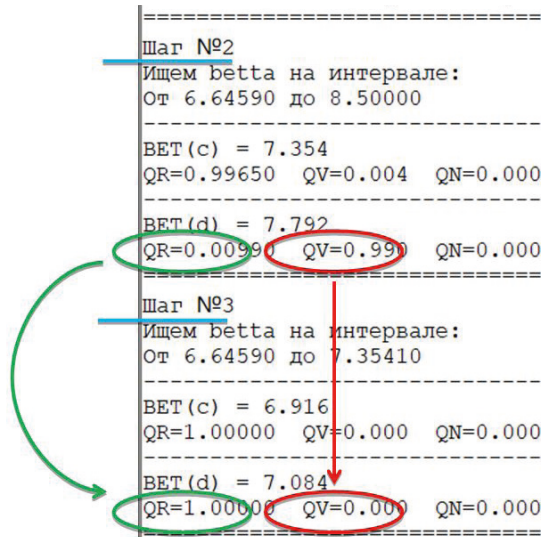


Рис. 6. Изменение  $Q_R$  и  $Q_V$

Рассмотрим примеры.

### Пример 1.

Пусть мы не обладаем данными об уровне подготовленности конкретных акторов. Тогда воспользуемся значениями, которые генерирует программа.

На рис. 7. показаны данные, которые генерирует программа.

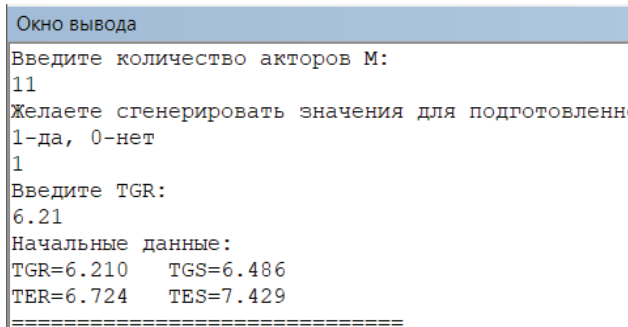


Рис. 7. Пример генерации значений для  $\theta_{GS}$ ,  $\theta_{ER}$  и  $\theta_{ES}$

Далее, когда все необходимые данные заданы, начинается работа процесса, отвечающего за исполнение метода золотого сечения.

Для поиска трудности  $\beta$  задаётся интервал ( $\pm 1.5$  логит). Так как было задано  $\theta_{GR} = 6.21$ , то берутся границы, равные 4.71 и 7.71 согласно алгоритму. Ориентируясь на формулы 1.9, получаем новые границы, равные 5.856 и 6.564 и следующим шагом вычисляются и сравниваются значения  $Q_R$ , для текущих границ.

На рис. 8. показан 1 шаг работы программы для поиска  $\beta$ .



```
=====
Шаг №1
Ищем beta на интервале:
От 4.71000 до 7.71000
-----
BET (c) = 5.856
QR=1.00000 QV=0.000 QN=0.000
-----
BET (d) = 6.564
QR=1.00000 QV=0.000 QN=0.000
=====
```

Рис. 8. Начало поиска  $\beta$

Далее продолжается движение границ в направлении искомой трудности задачи  $\beta$ . На рис. 9. можно увидеть, что при достаточно высоких значениях  $\beta$  вероятность правильного решения группой акторов  $Q_R$  падает до 0.

```
=====
Шаг №2
Ищем beta на интервале:
От 5.85590 до 7.71000
-----
BET (c) = 6.564
QR=1.00000 QV=0.000 QN=0.000
-----
BET (d) = 7.002
QR=0.14940 QV=0.851 QN=0.000
=====
Шаг №3
Ищем beta на интервале:
От 6.56410 до 7.71000
-----
BET (c) = 7.002
QR=0.14880 QV=0.851 QN=0.000
-----
BET (d) = 7.272
QR=0.00000 QV=1.000 QN=0.000
=====
```

Рис. 9. Процесс поиска  $\beta$ , шаги 2 и 3

Полученные нулевые значения промежуточные и означают, что с текущим уровнем сложности заданий эти акторы не справятся, поэтому программа продолжает искать максимально высокий уровень трудности  $\beta$ , с которым акторы точно справятся.

Далее, на 5 шаге программа находит искомое значение трудности  $\beta$ , при котором достигается заданная вероятность  $Q_R \geq 0.999$  (рис. 10.).



```

=====
Шаг №4
Ищем beta на интервале:
От 6.56410 до 7.00180
-----
BET (c) = 6.731
QR=0.99510 QV=0.005 QN=0.000
-----
BET (d) = 6.835
QR=0.89070 QV=0.109 QN=0.000
=====
Шаг №5
Ищем beta на интервале:
От 6.56410 до 6.73129
-----
BET (c) = 6.628
QR=1.00000 QV=0.000 QN=0.000
-----
BET (d) = 6.667
QR=0.99960 QV=0.000 QN=0.000
=====
    
```

Рис. 10. Значение  $\beta$  найдено, шаги 4 и 5

Далее по формулам Раша вычисляются значения вероятностей  $G_R, G_V, G_N, E_V, E_N$  для полученного  $\beta$  (рис. 11.).

```

=====
Полученные вероятности:
GR=0.388 GV=0.545 GN=0.067
EV=0.545 EN=0.067
=====
    
```

Рис. 11. Значение вероятностей  $G_R, G_V, G_N, E_V, E_N$ .

В результате выписывается ответ (рис. 12.), который содержит найденное  $\beta$  и интеллектуальную силу  $Z$ , вычисленную по формуле (6).

```

=====
-----ОТВЕТ-----
BET = 6.66743 (ЛОГИТ)
Z = 122.67423 (ИНТ)
=====
    
```

Рис. 12. Интеллектуальная сила 11 акторов с подготовленностью  $\theta_{GR} = 6.21$

### Пример 2

Второй пример будет демонстрировать работу программы для введенных вручную значений  $\theta$ .

На рис. 13. приведена работа программы для введенных вручную  $\theta_{GS}, \theta_{GR}, \theta_{ES}, \theta_{ER}$



```
Осно вывода
Введите количество акторов M:
9
Желаете сгенерировать значения для подготовленности?
1-да, 0-нет
0
Введите TGR:
6.24
Введите TGS:
6.523
Введите TER:
6.855
Введите TES:
7.664
=====
Шаг №1
Ищем beta на интервале:
От 4.74000 до 7.74000
-----
BET(c) = 5.886
QR=1.00000 QV=0.000 QN=0.000
-----
BET(d) = 6.594
QR=1.00000 QV=0.000 QN=0.000
=====
Шаг №2
Ищем beta на интервале:
От 5.88590 до 7.74000
-----
BET(c) = 6.594
QR=1.00000 QV=0.000 QN=0.000
-----
BET(d) = 7.032
QR=0.19300 QV=0.807 QN=0.000
=====
Шаг №3
Ищем beta на интервале:
От 6.59410 до 7.74000
-----
BET(c) = 7.032
QR=0.19410 QV=0.806 QN=0.000
-----
BET(d) = 7.302
QR=0.00000 QV=1.000 QN=0.000
=====
Шаг №4
Ищем beta на интервале:
От 6.59410 до 7.03180
-----
BET(c) = 6.761
QR=0.99210 QV=0.008 QN=0.000
-----
BET(d) = 6.865
QR=0.88140 QV=0.119 QN=0.000
=====
Шаг №5
Ищем beta на интервале:
От 6.59410 до 6.76129
-----
BET(c) = 6.658
QR=0.99980 QV=0.000 QN=0.000
-----
BET(d) = 6.697
QR=0.99960 QV=0.000 QN=0.000
=====
Полученные вероятности:
GR=0.388 GV=0.543 GN=0.069
EV=0.543 EN=0.069
=====
-OVBET-
BET = 6.69743 (логит)
Z = 125.35788 (инт)
=====
```

Рис. 13.  
Интеллектуальная сила девяти акторов с подготовленностью  $\theta_{GR} = 6.24$



В данном случае получилось, что сразу две границы удовлетворяют условию для  $Q_R$ . Но в коде такой результат предусмотрен и в ответ будет заноситься большее значение из двух полученных  $\beta$ .

### Анализ результатов

По полученным из этой программы данным можно построить различные графики.

Было проведено несколько итераций работы программы с постоянными значениями количества акторов и подготовленностями  $\theta_{GS}$ ,  $\theta_{ES}$ ,  $\theta_{ER}$ . Изменению подвергалось только значение  $\theta_{GR}$ . На рис. 14. видно, что при увеличении значения  $\theta_{GR}$  стремительно возрастает уровень интеллектуальной силы.



Рис.14. Зависимость подготовленности акторов от интеллектуальной силы

Преимущества коллективного интеллекта можно увидеть на рис. 15. Для определения  $Q_R$  и построения графика выполнено несколько прогонов программы при постоянном  $\beta = 6,667$  и различных значениях

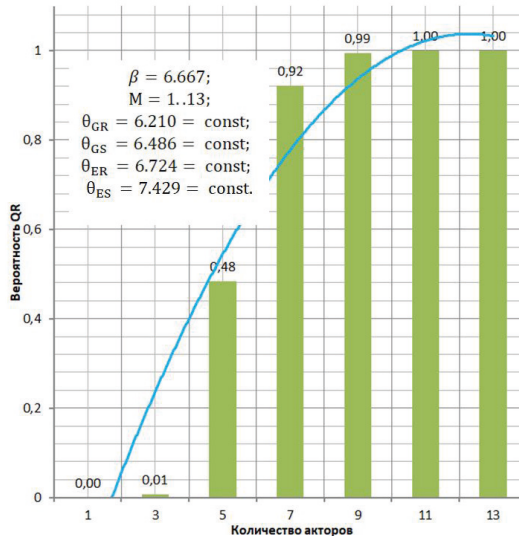


Рис. 15. Зависимость вероятности правильного решения  $Q_R$  от количества акторов



Не трудно увидеть, что чем больше акторов в группе и чем выше их подготовленность, тем труднее задачи они способны решать.

## 9. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Благодаря изучению систем коллективного интеллекта становится возможным активное развитие коллективной работы. Внедрение результатов проделанной работы, основанной на теоретической платформе основ систем коллективного интеллекта, позволит в значительной степени упростить процесс сопоставления различных задач с группой, направленной на решение данных заданий, а также уменьшить затрачиваемые ресурсы, направленные на их исполнение.

В результате проделанной работы разработаны алгоритмы и составлена программа вычисления трудности  $\beta$  при  $Q_R \geq 0,999$ ;  
вычисления вероятности правильного решения группой акторов при заданном  $\beta$ ;  
вычисления интеллектуальной силы актора  $Z(\theta)$ .

При этом акторами могут быть носители как естественного, так и искусственного интеллекта. Можно сделать вывод, что использование МЭС, модели Раша и теоремы Кондорсе позволяет решить проблему квалиметрии в тестировании и решении интеллектуальных задач. Становится возможным измерение интеллектуальной силы специалистов и трудности задачи.

### Литература

1. *Malone, T.W.* Harnessing Crowds: Mapping the Genome of Collective Intelligence [Electronic resource] / T.W. Malone, R. Laubacher, R. Dellarocas, N. Chrysanthos // – MIT Sloan Research, 2009, Paper No. 4732–09. DOI:10.2139/ssrn.1381502
2. *Венда, В.Ф.* Системы гибридного интеллекта: Эволюция, психология, информатика [Текст] / В.Ф. Венда // – М.: Машиностроение, 1990. – 448 с.
3. *Протасов В.И.* Как определить меру трудности заданий и уровень подготовленности экспертов при использовании метода эволюционного согласования решений. Образовательные технологии (г. Москва). 2016, № 1, с. 80–93. eLIBRARY ID: 26463072
4. Condorcet, marquis Marie-Jean-Antoine-Nicolas de Caritat. Essai sur l'application de l'analyse à la probabilité des décisions rendues à la pluralité des voix [Text] / Marie-Jean-Antoine-Nicolas Condorcet // –Paris: Imprimerie Royale, 1785.
5. *Rasch, G.* Probabilistic Models for Some Intelligence and Attainment Tests [Text] / G. Rasch // – Chicago: University of Chicago Press, 1981. –199 p. DOI:10.2307/2287805
6. *Потапова З.Е., Протасов В.И.* Метрология систем эволюционного согласования решений и нормирование интеллектуального труда. Современные информационные технологии и ИТ-образование. – М. 2019. С.1058–1069 DOI: 10.25559/SITITO.15.201904.1047–1055
7. *Шарнин М.М., Протасов В.И., Потапова З.Е., Мельников Е.И., Морочо Минчало.* Теорема Кондорсе и теорема об экспертах. Труды III Международной конференции «Физико-техническая информатика СРТ2015». Протвино, 16–20 июня 2015 г. – Изд. ИФТИ, 2016, с. 277–279. eLIBRARY ID: 26129453
8. *В.И.Протасов, З.Е. Потапова, О.К. Осипчук.* Сертификация экспертов и определение относительной цены задачи в зависимости от ее сложности. Труды XX Байкальской Всероссийской конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении». Часть 2. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН. 2015, с.164–176. eLIBRARY ID: 24206486



## Development of a System for Measuring the Intellectual Power of Actors

**Zinaida E. Potapova \***

Institute of Information Technology and Applied Mathematics

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2718-1556>

e-mail: [potapovaz@yandex.ru](mailto:potapovaz@yandex.ru)

**Ilya K. Kisilevich \*\***

Institute of Information Technology and Applied Mathematics

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

e-mail: [ilya.kisilevich@gmail.com](mailto:ilya.kisilevich@gmail.com)

The problem of determining an accurate assessment of the actor's ability to solve a problem of a certain degree of difficulty is considered in this work. The assessment is determined by a group of actors in the process of solving local problems, while the tasks are included in the competence of this group. Actors can be carriers of both natural and artificial intelligence. Condorcet Jury Theorem, Georg Rasch Model, method of the evolutionary decision reconciliation (EDR) are used in the process of solving the problem posed.

Related Experiences Assessment Scale is given. The measure of academic success is better predicted not by those experiences that are manifested during study activities, but those that arise along on the way to university. There is a slight effect of the influence of time on the measure of effort.

**Keywords:** actor, method of the evolutionary decision reconciliation, the probability of a correct decision, the difficulty of the task, the preparedness of the actor.

**Acknowledgments.** The authors are grateful to V.I. Protasov for his help in setting the problem and finding a way to solve it.

### For citation:

Potapova Z.E., Kisilevich I.K. Development of a System for Measuring the Intellectual Power of Actors. *Modelirovanie i analiz dannykh = Modelling and Data Analysis*, 2021. Vol. 11, no. 3, pp. 57–73. DOI: <https://doi.org/10.17759/mda.2021110304> (In Russ., abstr. in Engl.).

\***Zinaida E. Potapova**, PhD (Physical and Mathematical Sciences), Associate Professor, Chair of Mathematics and Cybernetics, Institute of Information Technology and Applied Mathematics, Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2718-1556>, e-mail: [potapovaz@yandex.ru](mailto:potapovaz@yandex.ru)

\*\***Ilya K. Kisilevich**, bachelor, graduate of the Department of Mathematics and Cybernetics, Institute of Information Technology and Applied Mathematics, Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia, e-mail: [ilya.kisilevich@gmail.com](mailto:ilya.kisilevich@gmail.com)





### References

1. T.W. Malone, R. Laubacher, R. Dellarocas, N. Chrysanthos. Harnessing Crowds: Mapping the Genome of Collective Intelligence [Electronic resource] // –MIT Sloan Research, 2009, Paper No. 4732–09. DOI:10.2139/ssrn.1381502
2. Venda, V.F. Sistemy gibridnogo intellekta: Evolyutsiya, psikhologiya, informatika [Tekst] / V.F. Venda // – М.: Mashinostroyeniye, 1990. – 448 s. (In Russ.).
3. V.I. Protasov. Kak opredelit' meru trudnosti zadaniy i uroven' podgotovlennosti ekspertov pri ispol'zovanii metoda evolyutsionnogo soglasovaniya resheniy. *Obrazovatel'nyye tekhnologii (g. Moskva)*. 2016, № 1, s. 80–93. (In Russ.).
4. Condorcet, marquis Marie-Jean-Antoine-Nicolas de Caritat. Essai sur l'application de l'analyse à la probabilité des décisions rendues à la pluralité des voix [Text] // –Paris: Imprimerie Royale, 1785.
5. Rasch, G. Probabilistic Models for Some Intelligence and Attainment Tests [Text] / G. Rasch // – Chicago: University of Chicago Press, 1981. –199 p. DOI:10.2307/2287805
6. Potapova Z.E., Protasov V.I. Metrologiya sistem evolyutsionnogo soglasovaniya resheniy i normirovaniye intellektual'nogo truda. *Sovremennyye informatsionnyye tekhnologii i IT-obrazovaniye*. – ММ. 2019. s.1058–1069 (In Russ.). DOI: 10.25559/SITITO.15.201904.1047–1055
7. Sharnin M.M., Protasov V.I., Potapova Z.E., Mel'nikov E.I., Morocho Minchalo. Teorema Kondorse i teorema ob ekspertakh. *Trudy III Mezhdunarodnoy konferentsii "Fiziko-tekhnicheskaya informatika CPT2015"*. Protvino, 16–20 iyunya 2015 g. – Izd. IFTI, 2016, s. 277–279. (In Russ.). eLIBRARY ID: 26129453
8. V.I. Protasov, Z.E. Potapova, O.K. Osipchuk. Sertifikatsiya ekspertov i opredeleniye otnositel'noy tseny zadachi v zavisimosti ot yeye slozhnosti. *Trudy KHKH Baykal'skoy Vserossiyskoy konferentsii «Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauke i upravlenii»*. Chast' 2. – Irkutsk: ISEM SO RAN. 2015, s.164-176 (In Russ.). eLIBRARY ID: 24206486