

УДК 004.778, 331.103

DOI: 10.25559/SITITO.15.201904.1047-1055

## Метрология систем эволюционного согласования решений и нормирование интеллектуального труда

З. Е. Потапова\*, В. И. Протасов

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, Россия

125993, Россия, ГСП-3, А-80, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4

\*Zinaida.potapova@gmail.com

### Аннотация

В работе изложена новая информационная технология эволюционного согласования решений для организации эффективной групповой работы. Координация групповой работы осуществляется самоорганизующимся путем за счет применения генетических алгоритмов. Использование модели Раша и принципа равной оплаты за равный труд позволило ввести универсальную единицу измерения интеллектуальной сложности задачи и интеллектуальной силы акторов – ИНТ и найти зависимости этих величин от параметров модели. Предложена методика объективного измерения креативных способностей акторов и определения интегральной оценки качества работы актора, а также относительных величин стоимости решения задач и оплаты труда. Найдено оптимальное число акторов, обеспечивающих экономически эффективное решение задачи.

**Ключевые слова:** генетические алгоритмы, метрология, коллективный интеллект, согласование решений, модель Раша, нормирование труда, цифровая экономика, подготовленность, трудность задачи, проект, тестирование.

**Для цитирования:** Потапова З. Е., Протасов В. И. Метрология систем эволюционного согласования решений и нормирование интеллектуального труда // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2019. Т. 15, № 4. С. 1047-1055. DOI: 10.25559/SITITO.15.201904.1047-1055

© Потапова З. Е., Протасов В. И., 2019



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.  
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.



## Metrology of Systems of Evolutionary Coordination of Decisions and Rationing of Intellectual Work

Z. P. Potapova\*, V. I. Protasov

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

4 Volokolamskoe Shosse, Moscow 125993, Russia

\*Zinaida.potapova@gmail.com

### Abstract

The work outlines a new information technology for evolutionary coordination of decisions for organizing effective group work. The coordination of group work is carried out in a self-organizing way through the use of genetic algorithms. The use of the Rush model and the principle of equal pay for equal work made it possible to introduce a universal unit for measuring the intellectual complexity of a task and the intellectual strength of actors - INT and to find the dependence of these quantities on the model parameters. A technique is proposed for objectively measuring the creative abilities of actors and determining the integral assessment of the quality of the actor's work, as well as the relative values of the cost of solving problems and remuneration. The optimal number of actors was found to provide a cost-effective solution to the problem.

**Keywords:** genetic algorithms, metrology, collective intelligence, decision coordination, Rush model, labor rationing, digital economy, preparedness, task difficulty, design, testing.

**For citation:** Potapova Z.E., Protasov V.I. Metrology of Systems of Evolutionary Coordination of Decisions and Rationing of Intellectual Work. *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie* = Modern Information Technologies and IT-Education. 2019; 15(4):1047-1055. DOI: 10.25559/SITI-TO.15.201904.1047-1055



## Введение

Отличительной особенностью нашего времени является то, что происходит существенная перестройка способа производства – старые индустриальные способы заменяются способами, присущими экономике знаний. Человеческий капитал и знания, на развитие которых тратится постоянно возрастающая часть мировых финансов, становятся движущими силами прогресса. Возникают новые информационные технологии, помогающие одиночным специалистам или их группам эффективно решать усложняющиеся задачи. Но в развивающейся экономике знаний до сих пор не определены такие базовые величины, как интеллектуальная сложность задачи и интеллектуальная сила специалиста. Отсутствие единиц измерения и объективной системы измерений этих величин не позволяет сравнивать различные системы коллективного интеллекта и оценивать изменения, вносимые в процедуры функционирования этих систем для повышения их эффективности, а также осуществлять объективное нормирование труда специалистов. Последнее особенно важно, поскольку все большее число специалистов участвует в массовой творческой работе. Вопросы справедливой оплаты их труда и экономии интеллектуальных ресурсов выходят на один из главных планов развивающейся цифровой экономики.

К настоящему времени на базе теории принятия решений разработано большое количество методов получения консолидированных решений в группах экспертов, предназначенных для применения в различных предметных областях [2-8]. Но присущие им недостатки и ограничения, связанные с трудностями настройки на предметную область, отсутствием универсальности и стандартизации, единообразного понимания информации экспертами, затрудняют использование этих методов в практике. Для каждой вновь возникшей задачи требуется занимающее длительное время процедура подбора из большого количества разработанных методов и настройки их на специфику новой проблемы [17,18].

Большое количество работ и подходов посвящено устранению этих недостатков. Так, применение математических моделей, и аналитических методов позволило в ряде случаев упростить процедуры настройки на предметную область и получить ряд важных критериев, позволяющих оптимизировать процедуры принятия решений [1,9-11]. Использование нечеткой логики [21] позволило получить процедуры нахождения оптимальных решений при решении трудно формализуемых задач. Различные комбинированные технологии [20], включающие, например, эволюционные стратегии и генетические алгоритмы также конструировались для устранения приведенных выше ограничений.

Открытыми на сегодняшний день остаются вопросы определения стоимости интеллектуальной работы в зависимости от ее трудности, а также вопросы справедливой оплаты труда отдельных акторов и групп акторов при решении интеллектуальных задач. Важной является также процедура нормирования интеллектуального труда, позволяющая ответить на вопрос, каким образом нужно набирать группы специалистов или отдельных специалистов в зависимости от их креативных способностей для решения задач известной трудности с заранее заданной вероятностью правильности ее решения?

Существующее положение тормозит проведение разработок методов групповой работы, позволяющих гарантированно ре-

шать сложные задачи, выдвигаемые практикой и создавать соответствующие сетевые программные продукты для осуществления этих целей.

Как показывают экспериментальные и теоретические исследования, проведенные нами, такие средства могут быть созданы на базе разрабатываемой нами теории систем эволюционного согласования решений (СЭСР) и соответствующих средств измерения [12,14,16]. В основе систем коллективного интеллекта, рассматриваемых нами, лежит метод эволюционного согласования решений (МЭС) [16], основанный на применении генетических алгоритмов в качестве координатора коллективной работы группы акторов. Под актором в этих системах понимаются носители как естественного, так и искусственного интеллекта, выступающие в двух ролях – генераторов решений или частей решений и экспертов-оценителей чужих решений или их частей.

## Постановка задачи исследования

Для систем коллективного интеллекта, использующих метод эволюционного согласования решений, необходимо решить проблему измерения затрат интеллектуального труда в зависимости от количества акторов, уровня их подготовленности и трудности задач. Для этого необходимо:

- Найти зависимость интеллектуальной силы акторов и их групп от их уровня подготовленности.
- Найти зависимость интеллектуальной сложности задачи от ее трудности.
- Обосновать и ввести единицы измерения интеллектуальной силы акторов и групп акторов, а также интеллектуальной сложности задач исходя из принципа равной оплаты за равный труд.
- Найти оптимальный размер группы акторов, обеспечивающий экономически эффективные затраты труда на решение задачи с заданной вероятностью ее правильного решения.

Рассмотрим по порядку основные компоненты СЭСР и метрологическое обеспечение этих систем.

## Метод эволюционного согласования решений

Метод эволюционного согласования решений, обсуждаемый в настоящей работе, является сетевым методом, в котором координаторами групповой работы акторов выступают генетические алгоритмы (ГА).

Определим этот метод следующим образом. МЭС [14] – способ организации коллективной работы акторов над проектом с заранее заданной целью по правилам, основанным на принципах классического ГА. Проект разбивается на отдельные слоты, подлежащие заполнению. Акторы в соответствии со своими знаниями (умениями) заполняют слоты правильными или неправильными ответами, либо, если они не знают ответ, оставляют их не заполненными. Правила по организации работы акторов и их взаимодействия выглядят следующим образом:

1. сформулированы цели проекта;
2. определяется состав акторов и способ их взаимодействия;
3. задается каркас проекта – перечень слотов, подлежащих заполнению;

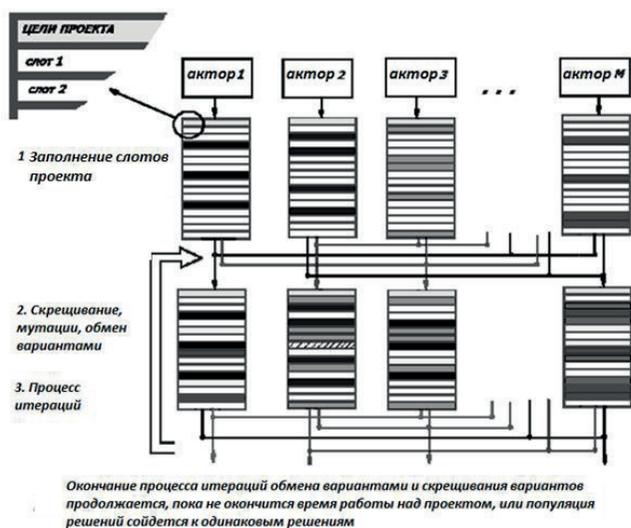


4. находятся первые варианты решений, возможно неполные;
5. проводится обмен вариантами решений;
6. проверяются критерии окончания работы;
7. из полученных решений составляются новые решения (скрещивание);
8. в новые решения вносятся изменения (мутация);
9. осуществляется переход на п.5.

В соответствии с правилами взаимодействия разрабатываются инструкции для коллективной работы с учётом особенностей конкретной задачи, коммуникационной среды, способностей и квалификации акторов.

Метод устроен следующим образом (см. рис. 1).

Акторы на нулевой итерации заполняют слоты проекта в соответствии со своими знаниями. На рисунке такие слоты помечены темными прямоугольниками. На итерациях согласования каждый актор проверяет чужие варианты и выбирает из них правильные на его взгляд слоты, заполняя ими пустые ячейки своего варианта. После проведения нескольких итераций процесс сходится к популяции одинаково заполненных слотов. Для ускорения этого процесса можно принять следующее правило – слот считается заполненным, если больше половины акторов приняли одинаковое решение.



Р и с 1. Схема метода эволюционного согласования решений

F i g. 1. Scheme of the evolutionary decision matching method

Установлено, что вероятность правильного решения задачи при составлении популяции возможных решений (стадия генерации решений) определяется математической моделью, связанной с теоремой Кондорсе о присяжных[19]. В соответствии с этой теоремой вероятность  $Q_0$  правильного решения группой из  $M$  акторов при вероятности правильного решения  $G_R$  у одного актора, определяется формулой

$$Q_0 = \sum_{i=0}^{M-1} C_M^i G_R^{M-1} (1 - G_R)^i. \quad (1)$$

Из (1) следует, что

$$\lim_{M \rightarrow \infty} Q_0 = \begin{cases} 1, & \text{если } G_R > 0.5 \\ 0.5, & \text{если } G_R = 0.5 \\ 0, & \text{если } G_R < 0.5. \end{cases}$$

Следовательно, если вероятность получения правильного решения у отдельного актора  $G_R < 0.5$ , то коллектив акторов не сможет решить поставленную задачу с приемлемой вероятностью на стадии генерации решений или, выражаясь другими словами, преодолеть «барьер Кондорсе». Более того, вероятность правильного решения задачи групповым актором становится меньше, чем у одного актора и применение процедуры коллективного решения в этом случае становится бессмысленным.

Преодолеть «барьер Кондорсе» групповой актор может только на стадиях эволюционного согласования и получить правильное решение с вероятностью, приближающейся к единице, даже в случае, если на стадии генерации решений каждый актор заполнит правильными ответами меньше половины слотов проекта.

## Термины и определения

В работе использованы следующие термины и определения: Считается, что задача, подлежащая решению (**проект**), имеет четко сформулированную цель и может быть разбита на части – **слоты**, имеющие свои частичные цели. Число слотов при этом может быть равно одному и более. При работе над проектом слот может иметь правильное или неправильное заполнение, либо остаться незаполненным (ответ – «не знаю»). **Задача** – в узком смысле этого слова – вопрос из тестовой базы с неизвестными актору ответами. В широком смысле задача – проблема, проект локального уровня и т.п. с неизвестным для акторов решением, удовлетворяющий поставленной цели. Вводится понятие **группового актора 1-го ранга**, или просто **группового актора** – группы акторов, решающих задачу или работающих над проектом с заданной целью, и **группового актора n-го ранга**, состоящего из групповых акторов n-1 ранга.

Предполагается, что все акторы обладают знаниями и умениями, позволяющие им решать задачи в определенной области или некоторой совокупности областей знаний. Считается, что совокупность таких акторов составляет некоторый **цех**, и внутри него акторы могут быть ранжированы по своим способностям. Эти способности могут быть измерены при помощи специальных процедур в единицах, обоснованных в настоящей работе. **Знания цеха** – совокупность знаний акторов, совпадающих у большинства, и знаний, относящихся к специфике цеха, зафиксированных в различных источниках, считающихся истинными на данный момент времени. **Коллективный интеллект** – способность группы акторов находить решения задач более эффективные, чем лучшее индивидуальное решение в этой группе. Эта способность зависит как от способностей отдельных акторов, входящих в группу, так и от правил или процедуры взаимодействия акторов в процессе работы над задачей (проектом). **Интеллектуальная сила актора** – величина, связанная с затратами труда, направленными на решение задачи, и подготовленностью актора. **Интеллектуальная сложность задачи** – мера трудности задачи, связанная с затратами интеллектуального труда на ее решение. **Система эволюционного согласования решений** – совокупность инструментальных средств и процедур, позволяющих при соблюдении определенных условий организовать коллективную работу акторов по решению задачи или заполнению слотов проекта правильными решениями.



Процесс заполнения слотов на стадиях согласования продолжается до тех пор, пока больше половины акторов по каждому слоту не получат одинаковые решения, или число итераций достигнет заранее заданного числа. Если по каким-либо слотам не будет набран больше половины одинаковых решений, то считается, что по данному слоту групповой актер дал ответ «не знаю». В зависимости от трудности задачи и квалификации акторов, следовательно, группой может быть получен либо правильный ответ, либо ответ «не знаю», либо неправильный ответ. В случае ответа «не знаю» задача может быть передана группе более подготовленных акторов.

## Модель Георга Раша

Для целей метрологического обеспечения СЭСР используется однопараметрическая модель Георга Раша [19], как наиболее простая модель, связывающая вероятность получения правильного ответа  $G_R$  испытываемого с уровнем его подготовленности (компетентности)  $\theta$  и трудностью задания  $\beta$ .

Вероятность  $G_R$  правильного заполнения слота трудности  $\theta$  определяется по формуле Раша:

$$G_R = \frac{1}{1 + e^{\beta - \theta}} \quad (2)$$

В [15] приведена методика определения параметров модели Раша исходя из результатов тестирования акторов с использованием заранее подготовленной базы тестовых заданий и их обработки с использованием метода максимального правдоподобия.

Необходимым условием для измерения уровня подготовленности, не зависящего от трудности задачи, является наличие тестовой базы, состоящей из большого числа вопросов разного уровня трудности. Как показывают оценки, исходя из закона больших чисел и результатов компьютерного моделирования, полученные в [15], чтобы охватить диапазон измерения подготовленностей от  $-8$  до  $8$  логит с точностью  $\pm 0.1$ , необходимо заранее подготовить тестовую базу порядка тысячи вопросов с уровнями трудности от  $-8$  до  $8$  логит. Здесь возникает чисто методологическая трудность. Как правило, существующие базы тестов не охватывают такое количество вопросов, а, главное, они предназначены только для какой-либо сравнительно однородной группы акторов. С другой стороны, трудно себе представить, чтобы акторы смогли выделить время для ответа на сотни вопросов. В [15] приведена адаптивная процедура, снижающая число задаваемых вопросов на порядок и позволяющая за небольшое время провести одновременные измерения подготовленностей акторов и трудности тестовых заданий. Поскольку в (2) входит разность величин  $\beta - \theta$ , то для получения абсолютной шкалы измерения подготовленностей акторов и трудности тестовых заданий вводится понятие среднего актора цеха, подготовленность которого в единицах модели Раша – логитах считается равной нулю.

## Теоремы об акторах. Единицы измерения интеллектуальной сложности задачи и интеллектуальной силы акторов

На основе положений теории вероятностей и модели Раша, докажем ряд теорем, а также выведем формулы, позволяющие количественно определять такие понятия, как интеллектуальная сложность задачи, интеллектуальная сила актора, и обосновать систему единиц измерений этих величин [13,15]. Здесь и далее будем считать задачей, предлагаемый актору, вопрос из тестовой базы с неизвестными актору ответами.

Введем переменную  $x$ , равную разности трудности задачи и подготовленности актора:  $x = \beta - \theta$ ,

$Q$  – вероятность правильного решения задачи группой из  $M$  акторов,

$M_0$  – число акторов, решающих задачу с вероятностью  $Q$  при  $x=0$ .

Допустим, что выполняется предположение: если хотя бы один из акторов группы правильно решил задачу, считается, что и групповой актер решил ее и вероятность  $Q$ , следовательно, можно определить по формуле:

$$Q = 1 - (1 - G_R)^M \quad (3)$$

Затраты труда, направленные на решение задачи с заданной вероятностью  $Q$ , измерим в единицах интеллектуального труда (ИИТ),

1 ИИТ – затраты интеллектуального труда одного актора с подготовленностью  $\theta=0$  при решении задачи трудности  $\beta=0$  с вероятностью 0.5;

$Z(\theta)$  – интеллектуальная сила актора, эквивалентная затратам труда актора с подготовленностью  $\theta$ , измеряется в ИИТ, следовательно по определению  $Z(0)=1$  ИИТ;

$S(\beta)$  – интеллектуальная сложность задачи трудности  $\beta$ , измеряется в ИИТ, очевидно, что если затраты труда одного актора составляют 1 ИИТ, то затраты труда  $M_0$  акторов, решающих правильно задачу трудности  $\beta=0$  с вероятностью  $q$ , или интеллектуальная сложность задачи составят

$$S(0) = M_0 \text{ ИИТ.}$$

$F(x)$  – отношение фактических затрат на решение задачи трудности  $\beta$ , определяемых из суммарных затрат интеллектуального труда  $M$  акторов с подготовленностью  $\theta$ , к интеллектуальной сложности задачи  $S(\beta)$ .

Покажем, что если  $\beta = \theta$ , то для правильного решения задачи с вероятностью  $q$  число необходимое число акторов

$$M_0 = - \frac{\ln(1-Q)}{\ln 2} \quad (4)$$

Для этого подставим  $G_R$  из (2) в (3), и после преобразований получим выражение для  $M$ :

$$M = - \frac{\ln(1-Q)}{\ln(1 + e^{-x})} \quad (5)$$

При  $x=0$  получаем выражение (4).

Из (4) и (5) получим выражение для  $M$ , которое понадобится в дальнейшем:

$$M = M_0 \frac{\ln 2}{\ln(1 + e^{-x})} \quad (6)$$



Покажем также, что при  $x \rightarrow 0$  (6) можно заменить показательной функцией вида  $M = M_0 C^x$  (7)

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

Действительно, если мы возьмем предел от функции  $\left(\frac{\ln 2}{\ln(1+e^{-x})}\right)^{\frac{1}{x}}$  при  $x \rightarrow 0$ , то получим:

$$\lim_{x \rightarrow 0} \left(\frac{\ln 2}{\ln(1+e^{-x})}\right)^{\frac{1}{x}} = e^{\frac{1}{2 \ln 2}}$$

Поскольку этот предел равен константе, то в окрестностях абсциссы  $x \rightarrow 0$  (6) ведет себя как показательная функция, и ее можно заменить (7).

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

$$S(\beta) = \frac{\ln \frac{1}{1-Q}}{\ln 2} C^\beta = M_0 C^\beta \quad (8)$$

**Теорема 2.** Интеллектуальная сила актора с подготовленностью  $\theta$  равна  $Z(\theta) = C^\theta$  (9)

#### Доказательство

Зависимости  $S(\beta)$  и  $Z(\theta)$  с учетом возможности замены (6) выражением (7) можно получить из следующего итерационного процесса вывода, учитывающего принцип равной оплаты за равный труд и справедливого для некоторого ряда величин  $\alpha, 2\alpha, \dots, n\alpha$  при  $\alpha \rightarrow 0$ . Этот процесс представлен в таблице 1.

Таблица 1. Итерационный процесс вывода формул (2.10) и (2.11)  
Table 1. The iterative process for deriving formulas (2.10) and (2.11)

Итерация	$\beta$	$\theta$	$x$	$M = M_0 C^x$	$S(\beta)$	$Z(\theta) = S(\beta) / M$
0	0	0	0	$M_0$	$M_0$	1
1	$\alpha$	0	$\alpha$	$M_0 C^\alpha$	$M_0 C^\alpha$	1
2	$\alpha$	$\alpha$	0	$M_0$	$M_0 C^\alpha$	$C^\alpha$
3	$2\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$M_0 C^\alpha$	$M_0 C^{2\alpha}$	$C^\alpha$
4	$2\alpha$	$2\alpha$	0	$M_0$	$M_0 C^{2\alpha}$	$C^{2\alpha}$

Рассмотрим нулевую итерацию. По определению  $Z(0)=1$  ИНТ и для того, чтобы правильно решить задачу с вероятностью  $Q$  при  $x=0$  согласно (7) необходим труд  $M_0$  акторов. Затраты на решение задачи составят  $M_0$  ИНТ. При увеличении трудности задачи на  $\alpha \rightarrow 0$  логит (1-я итерация) число акторов с подготовленностью 1 ИНТ нужно увеличить согласно (7) до  $M_0 C^\alpha$  и затраты на решение задачи возрастут, следовательно, тоже до  $M_0 C^\alpha$ . На второй итерации трудность задачи осталась той же, но ее уже решают акторы с более высокой подготовленностью и при  $x=0$  их требуется меньше, чем на первой, а именно  $M_0$  акторов. Поделив затраты на решение задачи  $M_0 C^\alpha$  на их число, получим интеллектуальную силу актора с подготовленностью  $\alpha$  логит, что составит величину  $C^\alpha$  ИНТ. Перемещаясь подобным образом по итерациям, на четвертой итерации мы получим для задачи трудности  $2\alpha$  затраты на ее решение (или ее интеллектуальную сложность)  $M_0 C^{2\alpha}$  ИНТ, а интеллектуальная сила актора с подготовленностью  $2\alpha$  составит  $C^{2\alpha}$  ИНТ.

В итерационном процессе мы всегда двигаемся в окрестности  $x=0$ , последовательно увеличивая  $\beta$  и  $\theta$ , и точно также можно перемещаться в противоположную сторону, последовательно уменьшая  $\beta$  и  $\theta$ . Следовательно, для целых  $n$ , положительных и отрицательных, получим

$$S(n\alpha) = M_0 C^{n\alpha} \text{ и } Z(n\alpha) = C^{n\alpha},$$

или для произвольных  $\beta$  и  $\theta$

$$S(\beta) = M_0 C^\beta \text{ и } Z(\theta) = C^\theta$$

что и доказывает теоремы 1 и 2.

Оптимальное число акторов, решающих некоторую задачу с известной величиной трудности с заранее заданной вероятностью  $Q$  ее правильного решения с минимально возможными затратами, можно определить с использованием следующей теоремы:

**Теорема 3.**

Если  $x=0$  и число акторов определено из выражения

$$M_0 = -\frac{\ln(1-Q)}{\ln 2},$$

то затраты на решение задачи являются минимальными, и  $F(0)=1$ .

Если  $|x| \rightarrow \infty$ , то  $F(x) \rightarrow \infty$ .

Если  $|x| < 1$ , то  $F(x) < 1.1$ .

Число акторов в этом случае можно определить из выражения

$$M = M_0 \frac{\ln 2}{\ln(1+e^{-x})}$$

#### Доказательство

Если  $x \uparrow 0$ , то замена (6) показательной функцией (7)

является некорректной, и для расчета затрат на решение задачи группой из  $M$  акторов нужно применять выражение (6). Сравним эти затраты с затратами, полученными из выражений (8) и (9). Для этого представим функцию затрат  $F(x)$ , введенную выше, следующим образом:

$$F(x) = \frac{M C^\theta}{M_0 C^\beta} = \frac{e^{-\frac{x}{\ln 2}} \ln 2}{\ln(1+e^{-x})} \quad (10)$$

Эта функция обладает следующими свойствами:

$F(x) > 0$  во всем диапазоне изменения  $x$  от  $-\infty$  до  $\infty$

Производная функции равна:

$$F'(x) = -\ln 2 \frac{e^{-\frac{x}{\ln 2}} ((1+e^x) \ln(1+e^{-x}) - \ln 4)}{\ln 4 (1+e^x) \ln^2(1+e^{-x})} \quad (11)$$

Приравняв производную к нулю, определяем единственное значение  $x=0$ , где функция  $F(x)$  имеет минимум, а сама функция  $F(0)=1$ . Следовательно, пункт а) утверждения доказан.

Применяя к (11) правило Лопиталья, и определяя пределы отношения производных от функций числителя и знаменателя при  $x \rightarrow \infty$  и  $x \rightarrow -\infty$ , доказываем справедливость пункта б) утверждения.

Для доказательства пункта с) утверждения решаем уравнение  $F(x)=1.1$  и находим два корня  $x_1 = -1.07698 \dots$  и  $x_2 = 1.2545 \dots$ . Поскольку у функции  $F(x)$  между этими точками находится единственный минимум, то зона оптимального решения зада-



чи с небольшим превышением затрат над минимально возможными, попадает в диапазон, задаваемый неравенством в пункте с) теоремы.

## Оценочные расчеты

Для анализа полученных закономерностей и проведения приближенных оценочных расчетов значение константы  $C$  можно заменить на  $C=2$  [15]. Тогда при  $Q \geq 0.9990235$  и  $\theta=\beta$ , число актеров будет равно 10. При уменьшении трудности задачи на один логит для ее правильного решения с такой же вероятностью число таких актеров нужно уменьшить вдвое, а при увеличении трудности задачи на один логит соответственно увеличить вдвое.

Также можно показать, что задачу трудности  $\beta$  с одинаковыми затратами могут решить 20 актеров с подготовленностью  $\theta=\beta-1$ , 10 актеров с  $\theta=\beta$ , и 5 актеров с  $\theta=\beta+1$ .

В таблице 2 для разных величин  $\theta$  и  $\beta$  в верхней части клетки приведено количество актеров  $M$ , решающих задачу с вероятностью не меньше 0.9990235.

Таблица 2. Оценочные расчеты  
Table 2. Assessment calculations

	$\beta$	-7	-1	0	1	7
	$S(\beta)$	0.078125	5.0	10.0	20.0	1280.0
$\theta$	$Z(\theta)$					
-7	0.0078125	10 0.0078125	2800 0.00179	7605 0.00131	20666 0.000968	8355822 0.000153
-1	0.5	2 0.0391	10 0.5	20 0.5	55 0.36364	20666 0.061937
0	1.0	1 0.078125	5 1.0	10 1.0	20 1.0	7605 0.16831
1	2.0	1 0.078125	4 1.25	5 2.0	10 2.0	2800 0.4571
7	128.0	1 0.078125	1 1.25	1 10.0	2 10.0	10 128.0

В нижней части клетки столбца  $\beta$  строки  $\theta$  таблицы 2 приводится величина вклада актора подготовленностью  $\theta$  при решении в составе группы актеров задачи трудности  $\beta$ . Вклад актора определяется как отношение интеллектуальной сложности задачи  $S(\beta)$  к числу актеров  $M$  и измеряется в ИНТ.

## Обсуждение результатов

Анализ результатов, полученных для различных комбинаций параметров  $\theta$  и  $\beta$  при заданной вероятности правильного решения, не меньшей, чем 0.9990235, показывает, что любому актору с подготовленностью  $\theta$  невыгодно участвовать в решении простых задач при  $\beta < \theta - 1$  одному, или в составе малой группы. Так же невыгодно работать в составе больших групп над решением трудных задач с  $\beta > \theta + 1$ . Выгоднее всего работать в группах от 5 до 20 актеров над решением задач, трудность которых находится в пределах от  $\theta - 1$  до  $\theta + 1$ . Количество актеров, как это было показано выше, можно рассчитать по формуле (5).

Анализ этой таблицы также показывает, что интеллектуальная сила акторов различной подготовленности может изменяться в значительных пределах. Так, например, интеллектуальная сила акторов с подготовленностью -7 логит меньше, по крайней мере, в  $2^{14}$  раз по сравнению с актерами, обладающими подготовленностью в 7 логит.

Оценим, исходя из (2) и (9) выгодно ли актору повышать свою подготовленность [15]. Допустим, что в отрасли знаний актора, для решения задач трудности  $\beta=0$  нужно знать и уметь применить  $N$  фреймов знания, а актер уверенно освоил лишь половину из них, то есть его подготовленность совпадает с трудностью задачи и он «зарабатывает» сумму, пропорциональную оплате 1 ИНТ. Допустим, что в результате обучения, он повысил свою подготовленность на 1 логит, это означает, что исходя из (2) вероятность правильного ответа возросла до 0.723, или, другими словами, число усвоенных им фреймов знаний возросло на 46% по сравнению с исходным состоянием. С другой стороны, исходя из (9), оценка его труда выросла вдвое. Можно сделать вывод, что обучение выгодно актору, поскольку для данного уровня трудности задач прирост знаний примерно в полтора раза приводит к повышению «стоимости» актора на рынке труда в два раза.

При производстве работ, связанных с применением ручного труда, увеличение мускульной силы в полтора раза приводит, как правило, к увеличению стоимости труда работника также в полтора раза, поэтому можно утверждать, что умственный труд и в этом случае выгоднее физического – рост интеллектуальной силы приводит к большему росту «стоимости» актора. Более того, у человека есть предел в физическом развитии, определяемый его биологической природой, а интеллектуальный рост пределов не имеет, ибо человек, обучаясь и переходя из одного класса трудности решаемых им задач в другой, более высокий, может наращивать свою интеллектуальную силу до бесконечности.

## Выводы

В результате проделанной работы можно сделать следующие выводы:

1. Новая информационная технологии эволюционного согласования решений позволяет преодолеть «барьер Кондорсе» при работе в группах и решать сложные задачи за приемлемое время.
2. Использование метода эволюционного согласования решений, модели Раша, методов определения трудности задач и подготовленности акторов, позволяет решить проблемы оценивания экономической эффективности акторов и их групп при решении трудных задач и нормирования интеллектуального труда.
3. Совместное использование модели Раша и концепции коллективной работы позволило ввести универсальную единицу измерения интеллектуальной сложности задачи и интеллектуальной силы акторов и получить фундаментальные соотношения между интеллектуальной сложностью задачи и ее трудностью и между интеллектуальной силой актора и его подготовленностью.
4. Становится возможным однозначное и объективное измерение креативных способностей специалистов, нахождение интегральной оценки качества работы актора, стоимости решения задач и размера справедливой оплаты труда.
5. Труд одиночек и слишком больших групп акторов экономически неэффективен и для решения задачи с известной трудностью существует оптимальное число акторов с подготовленностью, соответствующей этой трудности и составляющее от 5 до 20 акторов.
6. При увеличении трудности задачи на один логит интеллектуальная сложность и соответствующие затраты на ее решение возрастают, по меньшей мере, вдвое.



## Список использованных источников

- [1] Математические модели выбора и распределения ресурсов в информационных системах управления / С. В. Величко, С.А. Редкозубов, Ю.С. Сербулов. Воронеж: ВГУ, 2004. 217 с.
- [2] Нильсон Н. Принципы искусственного интеллекта. М: Радио и связь, 1985. 376 с.
- [3] Орлов А. И. Задачи оптимизации и нечеткие переменные. М.: Знание, 1980. 64 с.
- [4] Орлов А. И. Общий взгляд на статистику объектов нечисловой природы // Анализ нечисловой информации в социологических исследованиях / Отв. ред. В.Г. Андреенков, А.И. Орлов, Ю.Н. Толстова. Москва: Наука, 1985. С. 58-92. URL: <https://www.isras.ru/publ.html?id=6105> (дата обращения: 23.08.2019).
- [5] Орловский С. А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. М.: Наука, 1981. 206 с.
- [6] Андреев Э. П., Осипов Г. В. Методы измерения в социологии. М.: Наука, 1977. 183 с.
- [7] Осипов Г. С. Построение моделей предметных областей. Неоднородные семантические сети // Известия Академии наук СССР. Техническая кибернетика. 1990. № 5. С. 32-45. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20141183> (дата обращения: 23.08.2019).
- [8] Основы инженерной психологии / Под ред. Б.Ф. Ломова. М.: Высш. шк., 1986. 448 с.
- [9] Подиновский В. В., Гаврилов В. М. Оптимизация по последовательно применяемым критериям. М.: Сов. радио, 1975. 176 с.
- [10] Подиновский В. В. Об относительной важности критериев в многокритериальных задачах принятия решений // Многокритериальные задачи принятия решений / Под ред. С.В. Емельянова. М.: Машиностроение, 1978. С. 48-82.
- [11] Подиновский В. В. Коэффициенты важности критериев в задачах принятия решений. Порядковые или ординальные коэффициенты важности // Автоматика и телемеханика. 1978. № 10. С. 130-141. URL: [http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=at&paperid=9887&option\\_lang=rus](http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=at&paperid=9887&option_lang=rus) (дата обращения: 23.08.2019).
- [12] Протасов В. И., Карелин В. П. Новый метод коллективной разработки проектов в компьютерных сетях // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2002. № 2. С. 27-30.
- [13] Протасов В. И. Определение меры трудности заданий и уровня подготовленности экспертов при использовании метода эволюционного согласования решений // Педагогические измерения. 2015. № 2. С. 34-46.
- [14] Протасов В. И. Конструирование метасистемных переходов в интеллектуальных системах. М.: изд. Института физико-технической информатики, 2009. 186 с.
- [15] Протасов В. И., Потапова З. Е., Осипчук О. К. Сертификация экспертов и определение относительной цены задачи в зависимости от ее сложности // Информационные и математические технологии в науке и управлении. Труды XX Байкальской Всероссийской конференции. Часть 2. Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2015. С. 164-176. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24206546> (дата обращения: 23.08.2019).
- [16] Протасов В. И. Применение сетевого метода эволюционного согласования решений в управлении проектами // Управление проектами и программами. 2011. № 1. С. 22-35. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15706732> (дата обращения: 23.08.2019).
- [17] Saaty T. L. Decision making – the Analytic Hierarchy and Network Processes (AHP/ANP) // Journal of Systems Science and Systems Engineering. 2004. Vol. 13, Issue 1. Pp. 1-35. DOI: 10.1007/s11518-006-0151-5
- [18] Сегаран Е. Программируем коллективный разум. СПб: Символ-Плюс, 2008. 368 с.
- [19] Condorcet Jean Antoine Nicolas de Caritat Essai sur l'application de l'analyse à la probabilité des décisions rendues à la pluralité des voix / Par m. le marquis de Condorcet. Paris: Imprimerie Royale, 1785.
- [20] Veltman K. H. Computers and a New Philosophy of Knowledge // International Classification. 1991. Vol. 18. Pp. 2-12. URL: [http://www.sumscorp.com/img/file/1991\\_Computers\\_and\\_a\\_New\\_Philosophy\\_of\\_Knowledge.pdf](http://www.sumscorp.com/img/file/1991_Computers_and_a_New_Philosophy_of_Knowledge.pdf) (дата обращения: 23.08.2019).
- [21] Zadeh L. A. Fuzzy algorithms // Information and Control. 1968. Vol. 12, Issue 2. Pp. 94-102. DOI: 10.1016/S0019-9958(68)90211-8

Поступила 23.08.2019; принята к публикации 12.11.2019;  
опубликована онлайн 23.12.2019.

## Об авторах:

**Потапова Зинаида Евгеньевна**, доцент кафедры математической кибернетики, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) (125993, Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4), кандидат физико-математических наук, доцент, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2718-1556>, [Zinaida.potapova@gmail.com](mailto:Zinaida.potapova@gmail.com)

**Протасов Владислав Иванович**, доцент кафедры информационных технологий, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) (125993, Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4), кандидат физико-математических наук, доцент, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4783-7209>, [protvlad@gmail.com](mailto:protvlad@gmail.com)

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

## References

- [1] Velichko S.V., Redkozubov S.A., Serbulov Yu.S. *Matematicheskie modeli vybora i raspredeleniya resursov v informacionnyh sistemah upravleniya* [Mathematical models of selection and distribution of resources in information management systems]. VSU, Voronezh, 2004. (In Russ.)
- [2] Nilsson N.J. Principles of Artificial Intelligence. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1982. (In Eng.)
- [3] Orlov A.I. Optimization Problems and Fuzzy Variables. Znanie, Moscow, 1980. (In Russ.)
- [4] Andreenkov V.G., Orlov A.I., Tolstova Yu.N. (Eds.) *Analiz nechislovoj informacii v sociologicheskikh issledovaniyah* [Analysis of Non-Numerical Information in Sociologic Investigations]. Nauka, Moscow, 1985, pp. 58-92. Available at: <https://www.isras.ru/publ.html?id=6105> (accessed



- 23.08.2019). (In Russ.)
- [5] Orlovsky S.A. Problemy prinyatiya reshenij pri nechetkoj iskhodnoj informacii [Problems of Decision Making with Fuzzy Information]. Nauka, Moscow, 1981. (In Russ.)
- [6] Osipov G.S. Sociology: Problems of Theory and Method. University Press of the Pacific Paperback, 2001. (In Eng.)
- [7] Osipov G.S. Construction of domain models. Part I. Heterogeneous semantic networks // *Izv. AN SSSR, Tekhn. Kibern.* 1990; (5):32-45. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20141183> (accessed 23.08.2019). (In Russ.)
- [8] Lomov B.F. (ed.) Problems of Engineering Psychology. NASA, Washington, D.C., 1965. (In Eng.)
- [9] Podinovski V.V., Gavrilov V.M. *Optimizaciya po posledovatel'no primenyayemykh kriteriyam* [Optimization According to Criteria Applied Successively]. Sovetskoe Radio, Moscow, 1975. (In Russ.)
- [10] Podinovski V.V. On the Relative Importance of Criteria. In: Gvishiani D.M., Emel'yanov S.V. *Multicriteria Decision Making*. Mashinostroenie, Moscow, 1978. (In Russ.)
- [11] Podinovski V.V. Criterion importance coefficients in decision-making problems ordinal coefficients. *Automation and Remote Control*. 1979; 39(10):1514-1524. (In Eng.)
- [12] Protasov V.I., Karelin V.P. A new method for the collective development of projects in computer networks. *University News. North-Caucasian Region. Technical Sciences Series*. 2002; (2):27-30. (In Russ.)
- [13] Protasov V.I. *Opreделение mery trudnosti zadaniy i urovnya podgotovlennosti ekspertov pri ispol'zovanii metoda evolyucionnogo soglasovaniya reshenij* [Determining the measure of difficulty of tasks and the level of preparedness of experts when using the method of evolutionary coordination of decisions]. *Pedagogicheskie izmereniya*. 2015; (2):34-46. (In Russ.)
- [14] Protasov V.I. *Konstruirovaniye metasisistemnykh perekhodov v intellektual'nykh sistemakh* [Construction of metasytem transitions in intelligent systems]. ICPT, Moscow, 2009. (In Russ.)
- [15] Protasov V.I., Potapova Z.E., Osipchuk O.K. *Sertifikaciya ekspertov i opredeleniye otноситel'noj ceny zadachi v zavisimosti ot ee slozhnosti* [Certification of experts and determination of the relative price of a task depending on its complexity]. In: *Information and mathematical technologies in science and management. Proceedings*, vol. 2. ISEM SB RAS, Irkutsk, 2015, pp. 164-176. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24206546> (accessed 23.08.2019). (In Russ.)
- [16] Protasov V.I. Network method of evolutionary agreed solutions and its application in project management. *The Project Management Journal*. 2011; (1):22-35. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15706732> (accessed 23.08.2019). (In Russ. abstract in Eng.)
- [17] Saaty T.L. Decision making – the Analytic Hierarchy and Network Processes (AHP/ANP). *Journal of Systems Science and Systems Engineering*. 2004; 13(1):1-35. (In Eng.) DOI: 10.1007/s11518-006-0151-5
- [18] *Segaran T.* Programming Collective Intelligence. Building Smart Web 2.0 Applications. O'Reilly Media, 2007. (In Eng.)
- [19] Condorcet Jean Antoine Nicolas de Caritat Essai sur l'application de l'analyse à la probabilité des décisions rendues à la pluralité des voix. Par m. le marquis de Condorcet. Paris: Imprimerie Royale, 1785. (In French)
- [20] Veltman K.H. Computers and a New Philosophy of Knowledge. *International Classification*. 1991; 18:2-12. Available at: [http://www.sumscorp.com/img/file/1991\\_Computers\\_and\\_a\\_New\\_Philosophy\\_of\\_Knowledge.pdf](http://www.sumscorp.com/img/file/1991_Computers_and_a_New_Philosophy_of_Knowledge.pdf) (accessed 23.08.2019). (In Eng.)
- [21] Zadeh L.A. Fuzzy algorithms. *Information and Control*. 1968; 12(2):94-102. (In Eng.) DOI: 10.1016/S0019-9958(68)90211-8

Submitted 23.08.2019; revised 12.11.2019;  
published online 23.12.2019.

#### About the authors:

**Zinaida E. Potapova**, Associate Professor of the Department of Mathematical Cybernetics, Moscow Aviation Institute (National Research University) (4 Volokolamsk Highway, Moscow 125993, Russia), Ph.D. (Phys.-Math.), Associate Professor, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2718-1556>, [Zinaida.potapova@gmail.com](mailto:Zinaida.potapova@gmail.com)

**Vladislav I. Protasov**, Associate Professor of the Department of Information Technology, Moscow Aviation Institute (National Research University) (4 Volokolamsk Highway, Moscow 125993, Russia), Ph.D. (Phys.-Math.), Associate Professor, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4783-7209>, [protvlad@gmail.com](mailto:protvlad@gmail.com)

All authors have read and approved the final manuscript.

