

# Модель оптимизации системы показателей профессиональной эффективности научно-педагогических работников

А. Н. Полетайкин, Л. Ф. Данилова, Н. А. Двуреченская

Рассматривается математическая модель оптимизации системы показателей профессиональной эффективности научно-педагогических работников, включающая имитационный и оптимизационный компоненты. Модель реализована в AnyLogic и позволяет получать оптимальные значения рейтинговых показателей по социальным и экономическим критериям эффективности. При фиксированных показателях результативности для выбранных целевых критериев проведено пробное имитационное моделирование рассматриваемой технологии рейтингования.

*Ключевые слова:* гибридная математическая модель, генетические алгоритмы, оценивание эффективности решений, профессиональная эффективность.

## 1. Введение

Системы рейтинговой оценки деятельности научно-педагогических работников (НПР) в настоящее время в той или иной степени существуют практически в каждом учебном заведении [1]. Они всё глубже встраиваются в информационную систему вуза и, будучи инструментом стимулирования актуальных видов деятельности, являются основой эффективного контракта НПР, частью системы менеджмента качества организации либо просто позволяют ориентироваться на выполнение внешних требований директивного характера [2]. В России в настоящее время в области образования и науки действует государственная политика, которая направлена на вхождение и весомое присутствие образовательных организаций в мировых рейтингах, базах, системах [3]. С другой стороны, требования предъявляются со стороны профильных министерств, контролирующих органов, ВАК, а также определяются стратегией самой организации. Современные системы рейтинговой оценки, как правило, включают в себя показатели по видам деятельности: учебная и учебно-методическая, научная, инновационная, общественно-воспитательная [4]. Требования к эффективности профессиональной деятельности, которые предъявляются к вузу, налагаются и на НПР как на единицу, которая создает продукцию. Поэтому актуальной является задача стимулирования эффективной деятельности НПР.

## 2. Постановка задачи

В СибГУТИ начиная с 2015 действует система рейтинговой оценки деятельности НПР [5], которая регулярно модернизируется (меняются показатели и их веса) в зависимости от актуальных задач и условий. По результатам рейтингования преподаватели ежемесячно получают стимулирующую надбавку. Однако, несмотря на существующие меры, количество (напр., число публикаций, НИР) и качество (напр., тип публикации, база научного цитирова-

ния, объем НИР) создаваемой продукции является недостаточным. Возникает задача построения математической модели системы рейтинговой оценки НПП с целью увеличения количества и качества создаваемой продукции и минимизации затрат вуза.

Задачи оптимизации подобного рода, учитывающие динамику функционирования элементов системы, только в простейших случаях могут быть решены аналитическими методами. В более сложных случаях применяются имитационные модели, позволяющие учесть динамику исследуемой системы на этапе оптимизации итоговых решений. Учет динамических и стохастических аспектов функционирования систем на этапах оптимизации программ их развития приводит к необходимости совместного использования оптимизационных и имитационных моделей [5]. При этом последняя используется для вычисления целевой функции системы.

Показатели, используемые в СибГУТИ [6], показаны в табл. 1. Публикационная работа (показатели 1.1–1.8) рассматривается за последние пять лет и делится на число авторов. Также в течение пятилетнего периода анализируются данные по научному руководству (показатель 2.1) и повышению квалификации (показатель 3.1), причем последний учитывается по профилю читаемых учебных дисциплин. Все остальные показатели анализируются за отчетный год. По показателям 2.4 и 2.5 учитываются только те НИОКР, которые финансируются через СибГУТИ. Показатели, по которым учредитель требует ежегодной отчетности, являются обязательными и отмечены в табл. 1 в столбце «Обязательный».

Внешнее дополнение задачи выработки оптимальных значений показателей аккредитации показано на рис. 1. Изобилие внешних требований дает представление о степени внешнего влияния на задачу. Следует отметить наличие противоречивых требований (например, требование повышение объемов НИОКР при ограничении бюджетных средств), что вносит в решение задачи фактор неопределенности.



Рис. 1. Структура задачи выработки оптимальных значений показателей аккредитации

Ретроспективные данные за 5 лет фрагментарно показаны на рис. 2 с дифференциацией по должностям НПП. Общий объем накопленных данных за 5 лет функционирования аккредитационной системы составил 5697 записей.

Таблица 1. Показатели аккредитации НПР СибГУТИ [6]

Номер и наименование показателя	Единица измерения	Оценка в баллах	Обязательный
<b>1. Учебно-методическая и научная работа</b>			
1.1. Публикация / переиздание монографии	издание	1000 / 750	Да
1.2. Публикация / переиздание учебника или учебного пособия	печатный лист	30 / 20	
1.2.1. Публикация методических указаний	издание	30	
1.3. Публикация в международных научных изданиях Web of Science	статья, доклад	200	Да
1.4. Публикация в международных научных изданиях Scopus и др. МБД	статья, доклад	150	Да
1.6. Публикация статьи в изданиях из списка ВАК	статья	100	Да
1.7. Публикации в изданиях, индексируемых в РИНЦ	статья / доклад	25 / 10	Да
1.8. Прочие публикации	статья / доклад / тезисы	15 / 5 / 2	
1.9. Получение патента на изобретение, патента на полезную модель или промышленный образец, свидетельства о регистрации программы для ЭВМ (базы данных)	патент, свидетельство	300 / 200 / 100	Да
1.10. Проведение курсов повышения квалификации для ППС СибГУТИ	один курс	30	
1.11. Создание курса в ЭИОС	один курс	50	
<b>2. Научно-исследовательская работа</b>			
2.1.1. Результативное руководство работой аспиранта СибГУТИ (защита в течение 1 года после окончания аспирантуры или позже)	один чел.	150 300	Да
2.1.2. Результативное консультирование работника СибГУТИ, соискателя степени доктора наук	один чел.	500	Да
2.2. Защита научно-педагогическим работником университета диссертации докторской, кандидатской	диссертация	150 75	Да
2.3. Оформление и подача заявки и принятие её к рассмотрению (грант РФФИ, грант РНФ, участие в конкурсах, по нацпроектам)	заявка	40 / 80 / 50 / 100	
2.4. Руководство НИОКР или грантом. Объем: до 100 / 500 / 1000 / и более тыс. руб.	одна НИОКР, грант	80 / 200 / 400 / 600	Да
2.5. Участие преподавателя в х/д НИОКР; работе по гранту.		20	
2.6. Научное руководство программой аспирантуры, магистратуры	одна программа	100	
2.7. Занятие преподавателем призового места, получение медали, премии на международных / всероссийский конкурсах и выставках	диплом, медаль	20 / 10	
2.8. Руководство НИРС и УИРС: – публикация студентом научной работы в журнале ВАК / РИНЦ – публикация студентом по итогам научной конференции – завоевание студентом призового места на соревнованиях, олимпиадах, конкурсах междун. / общерос., рег. / гор. – участие в олимпиаде, конкурсе проф. мастерства и т.п.	статья доклад, тезисы грамота, премия, студент	50 / 25 5 / 2 50 / 25 / 15 / 5	
<b>3. Организационная работа и повышение квалификации</b>			
3.1. Повышение квалификации и переподготовка – ИПК, ФПК, стажировка / переподготовка – аспирантура / докторантура – утверждение в учёном звании доцента / профессора	один курс за весь период, за весь период	4 / 50 7 / 15 50 / 100	
3.2. Работа в комитетах конференций, редакционных советах научно-технических изданий международных / национальных / региональных		15 / 10 / 5	
3.3. Работа в диссертационных советах	один совет	100	
3.4. Работа в качестве эксперта по аккредитации образовательной деятельности (или надзора в области образования)		10	
3.5. Получение почетного звания, ордена, медали федерального уровня		100	
3.6. Получение премии государственного уровня		500	Да
<b>4. Воспитательная работа</b>			
4.1. Кураторство в студенческих группах	группа	15	
4.2. Организация и проведение внутри- и межвузовских олимпиад, конкурсов, спортивных соревнований	отчет зав. кафедрой	5	
4.3. Завоевание студентом (командой) призового места в соревнованиях международных / общероссийских, региональных / городских	грамота, кубок	50 / 25 / 10	
4.4. Участие в профориентационной работе школьников (организация и проведение конкурсов и олимпиад для абитуриентов, проведение экскурсий, открытых уроков, в т.ч. в школах)	мероприятие	15	

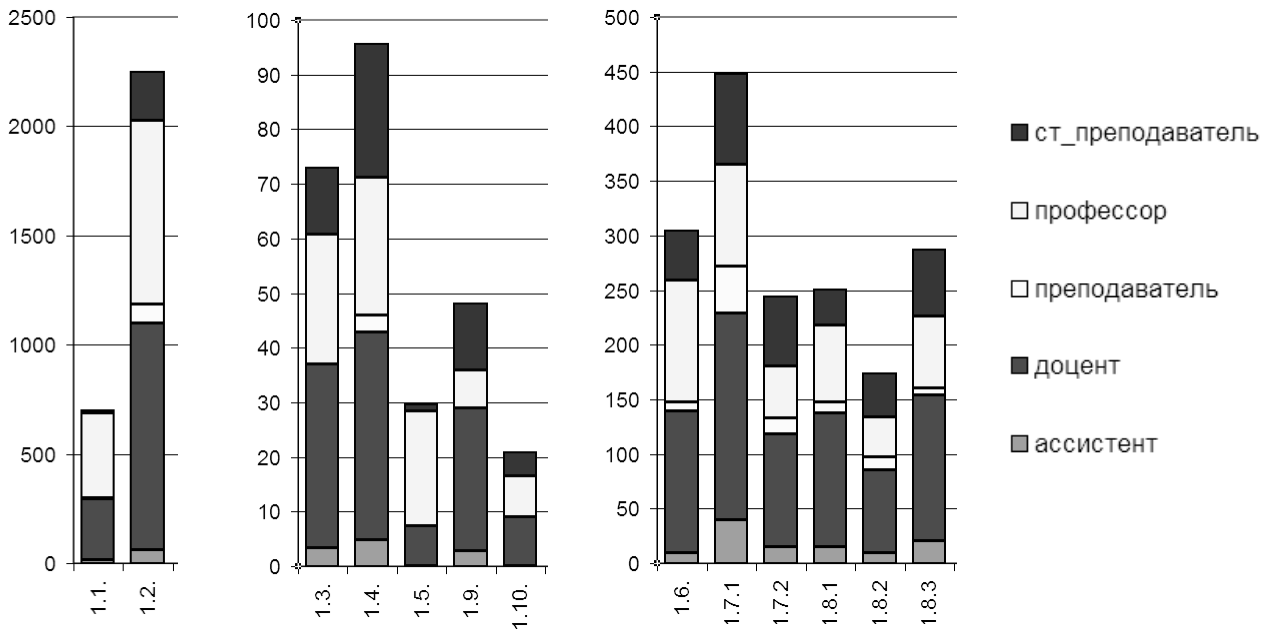


Рис. 2. Статистика по накопленным данным за 5 лет функционирования системы аккредитации: публикационная активность (секторы столбцов расположены по порядку согласно легенде, номера показателей соответствуют номерам в табл. 1)

### 3. Разработка оптимизационной модели

Структура имитационно-оптимизационной модели выработки оптимальных значений показателей аккредитации показана на рис. 3. Данная модель является гибридной и предполагает циклическое взаимодействие имитационной и оптимизационной составляющих. Имитационная модель осуществляет дискретно-событийное моделирование процесса производства научной и образовательной продукции с полученным набором параметров системы аккредитации. Последние вырабатываются оптимизационной моделью, реализованной на базе классического генетического алгоритма (ГА), который получает от имитационной модели интегральную оценку их качества. Такой замкнутый контур управления достаточно эффективен при гибридизации математических моделей, что было практически доказано в авторском исследовании [7].



Рис. 3. Структура имитационно-оптимизационной модели выработки оптимальных значений показателей аккредитации

Материалом для анализа является множество векторов в формате табл. 2, отражающих веса показателей эффективности. В общем виде это множество кортежей  $R_i\{w_1, \dots, w_N\}$ , атрибуты  $w_j \in OW$  которого отражают веса  $j$ -х показателей. Нулевые значения весов обозначают исключение соответствующего показателя из системы.

Таблица 2. Структура хромосомы ГА

Показатель	$w_1$	$w_2$	$w_3$	...	$w_{64}$
Вес				...	

В силу сложности моделируемого процесса, в который включен коллектив НПР численностью несколько сотен человек, формализация динамических и статических аспектов этого процесса может быть адекватно осуществлена лишь средствами математического моделирования [5]. Так, при формировании начальной популяции значения показателей  $w_j$  формируются как псевдослучайные числа, подчинённые нормальному закону распределения с математическим ожиданием  $M_X$  в соответствии с установленной оценкой согласно табл. 1. Такие параметры распределения, как среднеквадратическое отклонение  $s_X$  и эксцесс  $E_X$ , задаются произвольно в качестве начальных параметров модели.

Реализация фитнес-функции ГА осуществляется посредством статистического дискретно-событийного моделирования. В качестве потока заявок рассматривается поток активностей НПР в контексте показателей из табл. 1. Модель генерирует псевдослучайным образом по экспоненциальному закону распределения процесс выполнения сотрудниками аккредитационных показателей и дальнейшее участие в процедуре аккредитации. Частота выполнения каждого из показателей задается псевдослучайным образом вероятностями возникновения события, рассчитанными на основе ретроспективных данных (см. рис. 1). Собственно, модель воспроизводит текущий объем работы. Пример реализации селектора для должности «Профессор» показан на рис. 4.

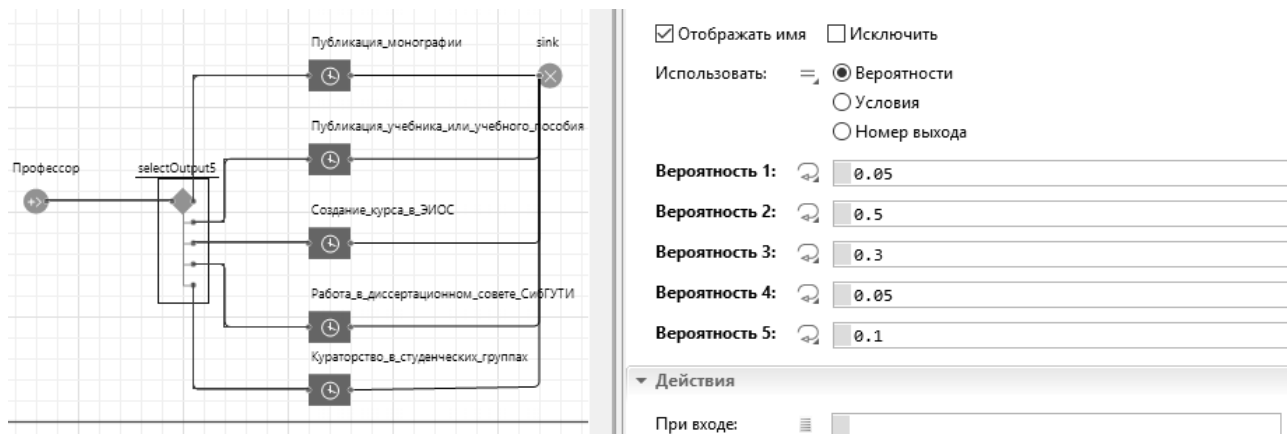


Рис. 4. Элемент выбора selectOutput5 для должности «Профессор»

Временное измерение происходит в минутах. При этом общее время выполнения модели составляет один час. В соизмерении с реальным временем это один год, на протяжении которого ведется учет деятельности НПР. При нормировании в рамках модели примерно 2–3 человека в месяц выполняют некоторую работу, которая согласно показателям аккредитации, декодированным из кортежа  $R_i$ , оценивается определенным числом баллов. Расчёт баллов происходит в объекте *Delay* (см. рис. 5), представляющем задержку для каждого показателя. Рассчитанная величина  $B$  в соотношении с заданным суммарным числом баллов  $B_i$  представляет собой значение фитнес-функции хромосомы, которое передается по обратной связи в оптимизационную модель (см. рис. 3) для дальнейшего использования в ГА.

$$B = \sum_{i=1}^{N_d} nb_i \quad \text{®} \quad \max . \tag{1}$$

Здесь  $N_d$  – число НПП, подавших заявки на аккредитацию;  $nb_i$  – число баллов, полученных  $i$ -м НПП с учётом объема продукции  $i$ -го НПП по  $j$ -му показателю аккредитации  $x_{ij}$   $O R$ ,  $x_{ij} \geq 0$  ( $j = \overline{1, M}$ ):

$$nb_i = \sum_{j=1}^M w_j x_{ij} .$$

Следует заметить, что такое простое понимание целевой функции трактуется противоречиво: с точки зрения организации (равно как и НПП) функцию следует максимизировать. При конвертации же баллов в денежные суммы возникает задача их минимизации с целью экономии бюджета и максимизации удовлетворения наибольшего числа НПП, участвующих в процедуре аккредитации.

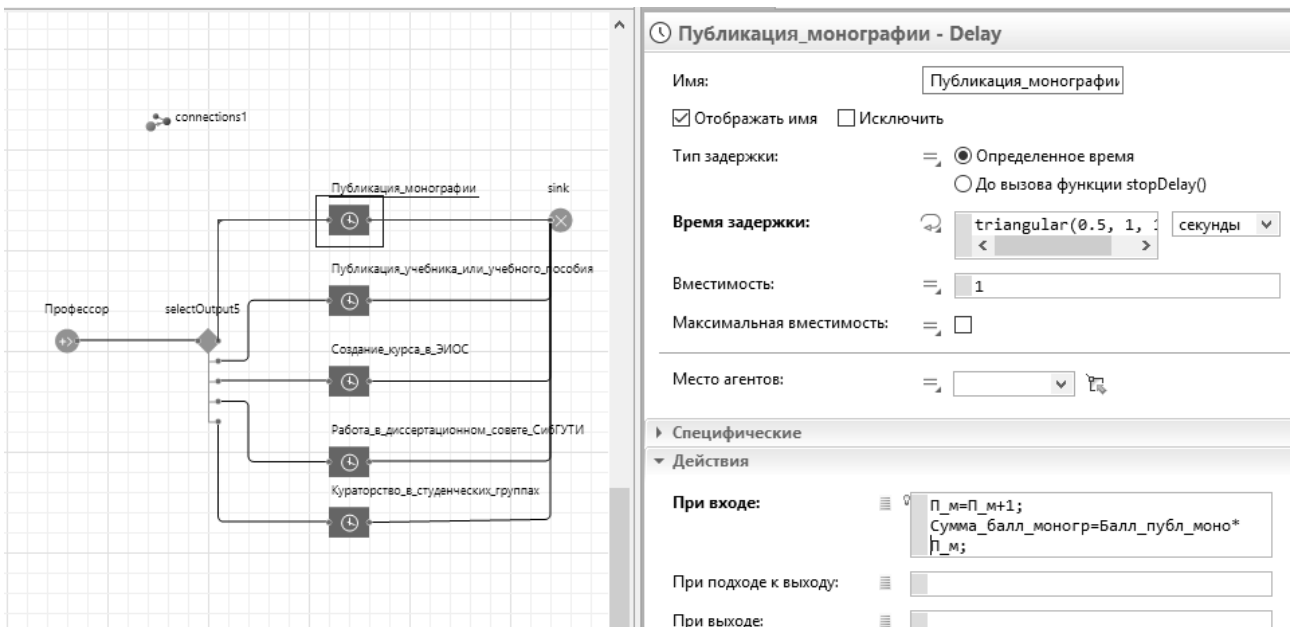


Рис. 5. Объекты Delay для группы показателей 1.1–1.9 (см. табл. 1)

Таким образом, наряду с суммарным числом баллов  $B$  (1) должны быть введены такие параметры качества решения, как полнота покрытия  $C$  и суммарные затраты организации  $E$ . В этом случае ИМ должна не только дифференцировать суммарные баллы по конкретным НПП, но и рассчитать предварительную результатную картину распределения НПП по категориям I, II, III, IV. Это, в свою очередь, требует включения в структуру хромосомы (табл. 2) генома  $b_k$ ,  $k = 1, 3$ , ответственного за граничные значения баллов, разделяющих указанные категории. При формировании начальной популяции данные показатели задаются аналогично показателям  $w_j$  посредством нормального распределения с параметром  $M_x$ , установленными на предыдущих циклах аккредитации:  $b_1 = 250$ ,  $b_2 = 450$ ,  $b_3 = 1350$ .

Полнота  $C$  покрытия коллектива НПП, определяемая как отношение числа аккредитованных НПП  $N_a$  к числу НПП, подавших заявки на аккредитацию  $N_d$ :

$$C = \frac{N_a}{N_d} \quad \text{®} \quad \max . \tag{2}$$

При этом решается задача оптимизации  $C \text{ ® } \max$  при ограничении  $N_a \text{ J } N_d$  при фиксированном числе  $N_d$ .

При расчете затрат организации месячные затраты  $E$  задаются общим объемом средств  $V_T$ , выделенных из бюджета организации на аккредитационные выплаты ННР в предстоящие 12 месяцев, а также предварительной суммой  $V_0$  ежемесячной выплаты в рублях по I категории. Для предварительного расчета ежемесячной выплаты по каждой из 4-х категорий принимается следующая формула, где  $k = 1, 3$  – порядковые номера категорий II, III, IV соответственно:

$$V_k = 1.2 \cdot V_{k-1}, \quad k = \overline{1, 3}.$$

Тогда общие затраты организации за год определяются следующим выражением:

$$E = 12 \sum_{i=1}^{N_d} \sum_{j=0}^3 e_j V_j z_{ij}, \quad \text{где } z_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } nb_i \in [b_j, b_{j+1}) \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases} \quad (3)$$

При этом принимается  $b_0 = 0$ , а  $b_4 = \infty$ , и решается задача оптимизации  $E \text{ ® } \min$  при ограничении  $V_T - E \geq 0$ . Если данное ограничение не соблюдается, то параметр  $V_0$  корректируется в сторону уменьшения, и расчет проводится заново. Впоследствии для принятого оптимального решения вычисляется годовая разность  $dV = V_T - E_{\text{fact}}$  и выполняется уточнение сумм ежемесячных выплат приращением величины  $dV/48$ .

Кроме того, существует ряд показателей, обозначенных как обязательные (см. последний столбец в табл. 1) при формировании системы показателей аккредитации в рамках внешних требований (см. рис. 1). Обозначим подмножество этих показателей  $W_O \text{ H } W$ . Всего таких показателей 13 из 64. Соответственно, вводится ограничение " $w_j \text{ O } W_O : w_j > 0$ ".

Таким образом, фактически имеет место трехкритериальная задача оптимизации:

$$\begin{aligned} B \text{ ® } \max (1), \\ C \text{ ® } \max (2), \\ E \text{ ® } \min (3), \\ x_{ij} \text{ O } R, \quad x_{ij} > 0, \quad N_a \text{ J } N_d, \quad E \text{ J } V_T, \\ w_j \text{ O } R, \quad w_j \geq 0, \quad "w_j \text{ O } W_O : w_j > 0. \end{aligned}$$

В силу взаимной противоречивости указанных критериев возникает задача устранения наличествующей критериальной неопределенности. Решение этой задачи предлагается реализовать с помощью метода функции расстояния, который основан на сравнении фактических значений частных критериев  $F_i^H(x)$ , приведенных к единому масштабу, с заданными значениями  $Y_i \in [0; 1]$  согласно выражению в евклидовой метрике размерности  $r$ :

$$F(x) = \left( \sum_{i=1}^k \left| F_i^H(x) - Y_i \right|^r \right)^{1/r},$$

где  $k$  – число частных критериев ( $k = 3$ ),  $F_i^H(x)$  – значение  $i$ -го частного критерия  $F_i(x)$ , нормированное к величине единичного отрезка относительно заданных граничных значений для этого критерия  $Y_{i\min}$  и  $Y_{i\max}$ :

$$F_i^H(x) = \frac{F_i(x) - Y_{i\min}}{Y_{i\max} - Y_{i\min}}.$$

Данный подход апробирован в [7] на примере задачи оптимизации продаж по множеству частных социальных и экономических критериев. С учетом этого параметрическая целевая функция ГА строится как сумма квадратов разностей по частным критериям (1)–(3), которую предполагается устремить к минимуму, достигая так оптимального решения.

$$F^* = \sqrt{\sum_{i=1}^3 K_{E_i} \left( par_{i_{зад.}} - par_{i_{рез.}} \right)^2} \rightarrow \min_{par_{i_{рез.}}} .$$

В этой функции  $K_{E_i}$  – коэффициент значимости  $i$ -го параметра,  $par_{i_{зад.}}$  – заданные пользователем значения параметров;  $par_{i_{рез.}}$  – нормированные значения параметров оптимизации, выделенные из очередного решения ГА путем имитационного моделирования. Параметры нормирования и наилучшие значения для критериев представлены в табл. 3. Верхняя граница интервала нормирования для критерия (1) выбрана с запасом исходя из ретроспективных данных за прошлые годы. При необходимости она может быть увеличена. Значения критерия (2) находятся в пределах единичного отрезка и нормированию не подлежат. Значения критерия (3) нормируются относительно заданного общего объема средств  $V_T$ . Значения коэффициентов значимости могут быть уточнены, например, посредством метода анализа иерархий, основывающегося на формальной экспертизе значимости частных критериев.

Таблица 3. Задание параметров целевой функции для оптимизационной модели

Код	Параметр	Интервал нормирования		Задание $par_{i_{зад.}}$	Коэф. $K_{E_i}$
		$Y_{i_{min}}$	$Y_{i_{max}}$		
1	Суммарное число баллов	0	$10^6$	1.00	0.25
2	Полнота покрытия коллектива	0	1	1.00	0.25
3	Затраты организации за год	0	$V_T$	0.01	0.50

Решение данной задачи позволит получить оптимальный состав набора  $W$  показателей аккредитации с оптимальными значениями  $w_j \in R$ , а также оптимальные значения  $b_k \in R$ , разграничивающие 4 категории распределения выплат НПП, при максимальном суммарном объёме начисленных баллов (1), наибольшей полноте аккредитационного покрытия коллектива НПП (2) и минимальных финансовых затратах на выплаты по аккредитации (3).

#### 4. Заключение

В работе предложен прототип гибридной математической модели, реализованный в AnyLogic, который учитывает текущие требования организации к показателям эффективности и оптимизационным параметрам. Предметом дальнейших исследований является алгоритмизация и полноценная программная реализация модели, а также проверка результатов моделирования на достоверность в ключе применения других методов дискретной оптимизации наряду с генетическими алгоритмами. Запланированная информатизация процедуры аккредитации НПП средствами ИТ-инфраструктуры СибГУТИ позволит более эффективно настраивать и исследовать модель для её применения по назначению в 2021 году.

#### Литература

1. Васильева Е. Ю., Граничина О. А., Трапицын С. Ю. Рейтинг преподавателей, факультетов и кафедр в вузе: метод. пособие. СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2007. 159 с.



2. *Хлебович Д. И.* Кадровая политика вуза в условиях институциональных изменений: магистерская диссертация. URL: [https://www.hse.ru/data/2014/02/16/1331052701/VKR\\_Magistratura\\_Khlebovich\\_Last\\_Version.docx](https://www.hse.ru/data/2014/02/16/1331052701/VKR_Magistratura_Khlebovich_Last_Version.docx) (дата обращения: 15.09.2020).
3. Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2012 № 599 «О мерах по реализации государственной политики в области образования и науки».
4. *Рождественская Е. А.* Рейтинговая система оценивания деятельности преподавателей вуза // NovaInfo.Ru. 2019. № 96. С. 187–191. URL: <https://novainfo.ru/article/16125> (дата обращения: 15.09.2020).
5. *Акинфиев В. К., Цвиркун А. Д.* Оптимизационно-имитационные методы в задачах управления развитием крупномасштабных систем // XII всероссийское совещание по проблемам управления (ВСПУ-2014), Москва, 16–19 июня 2014 г. С. 5690–5696.
6. Аккредитация профессорско-преподавательского состава / Официальный сайт СибГУТИ. URL: <https://sibsutis.ru/science/akkreditatsiya-pps/> (дата обращения: 15.09.2020).
7. *Полетайкин А. Н.* Гибридный подход к построению системы поддержки принятия решений при продвижении товаров на региональный рынок // Вестник СибГУТИ. 2015. № 1. С. 45–59.

*Статья поступила в редакцию 10.11.2020;  
доработанный вариант – 21.12.2020.*

**Полетайкин Алексей Николаевич**

к.т.н., доцент; доцент кафедры информационных технологий КубГУ (350040, Краснодар, ул. Ставропольская, 149), e-mail: alex.poletaykin@gmail.com.

**Данилова Любовь Филипповна**

к.т.н., доцент кафедры математического моделирования бизнес-процессов СибГУТИ (630102, Новосибирск, ул. Кирова, 86), e-mail: lubermolenko@yandex.ru.

**Двуреченская Надежда Александровна**

директор центра содействия научно-инновационной деятельности СибГУТИ (630102, Новосибирск, ул. Кирова, 86), e-mail: dvurechenskaya@sibguti.ru.

**Optimization model of the professional efficiency indicators system of scientific and pedagogical workers**

**A. Poletaikin, L. Danilova, N. Dvurechenskaya**

A mathematical optimization model of the professional efficiency indicators system of scientific and pedagogical workers, including simulation and optimization components is considered. The model is implemented in AnyLogic and allows you to obtain optimal values of rating indicators based on social and economic performance criteria. With fixed performance indicators for the selected target criteria, a trial simulation of the rating technology under consideration with fixed performance indicators for the selected target criteria was carried out.

*Keywords:* hybrid mathematical model, genetic algorithms, evaluation of the effectiveness of decisions, professional efficiency.