

# МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ MODELING AND OPTIMIZATION

УДК 519.7

Ю. А. Зак, д-р техн. наук, научный эксперт и консультант,  
Аахен, Германия, e-mail: yuriy\_zack@hotmail.com

## Математические модели эффективного подбора персонала для выполнения инновационных проектов

*Показатели эффективности кандидатов на предлагаемые вакансии могут быть представлены термами лингвистических переменных или значениями различных числовых шкал. Разработаны алгоритмы преобразования этих данных в числовые значения в диапазоне  $f_i \in [0, 1]$ . Предложена математическая модель подбора персонала в виде одно- и многокритериальной модели линейного булевого программирования, которая предусматривает ограничения на выделенные компанией объемы заработной платы. Рассмотрены методы решения сформулированной многокритериальной задачи.*

**Ключевые слова:** кандидаты на предложенные вакансии, лингвистические термы и числовые шкалы, нечеткие множества, критерии эффективности, многокритериальные модели булевого программирования, оптимальный выбор из множества альтернатив

### Введение

Методика, математическая модель и алгоритм наиболее эффективного выбора состава квалифицированных специалистов для выполнения инновационных проектов среди множества представивших свои резюме претендентов на занимаемую должность обеспечат работу компании на необходимом и конкурентоспособном научно-техническом уровне, позволят сократить сроки и себестоимость выполняемых инновационных проектов, сократят расходы на поиск, отбор и обучения персонала, обеспечат здоровый производственный климат в коллективе, исключая сложные взаимоотношения между исполнителями.

Рассматриваются кандидаты, претендующие на данное вакантное место и подавшие свои резюме по форме, разработанной данной компанией, а также сотрудники, претендующие на повышение в должности или на дополнительный бонус.

Руководством компании и службой подбора и управления персоналом должны быть выбраны основные показатели, определяющие эффективность рассматриваемых кандидатов на каждую из предлагаемых вакансий, установлены наиболее приемлемые и граничные значения каждого из этих показателей, позволяющие провести отсев не соответствующих этим требованиям кандидатов, определены веса каждого из этих показателей в соответствии с выдвинутыми компанией требованиями к каждой предлагаемой вакансии.

Отметим, что многие из этих показателей могут быть представлены не только числовыми значения-

ми, но и термами лингвистических переменных или показателями числовых шкал. Для построения математических моделей и разработки алгоритмов принятия эффективных решений необходимо преобразование этих данных в действительные числа и представление их в виде значений отдельных полей записей базы данных множества всех претендентов. На основе полученной информации персональным отделом компании может быть сформирован банк данных потенциальных кандидатов, поля которого должны быть представлены некоторыми термами количественных или лингвистических переменных (показатели числовой шкалы, степень принадлежности к некоторому качественному интервалу). Это позволит в дальнейшем принимать основанные на математических методах анализа и с меньшей степенью субъективизма решения.

В существующих методиках по подбору персонала (см., например, работы [1–6]) были рассмотрены вопросы выбора и обоснования показателей, определяющих эффективность рассматриваемых кандидатов на занимаемую должность, форм представления резюме, проведения тестирования, телефонных переговоров и интервьюирования в целях определения уровня квалификации и опыта работы, личностных качеств, инициативности, умения работать в коллективе, заинтересованности в работе в данной компании, стремления карьерного роста и других качеств потенциальных кандидатов. Вопросам преобразования представленных в резюме и полученных по результатам интервьюирования данных о качественных показателях претендентов в форме термов лингвистических переменных в

числовую форму и построения формальных математических моделей формирования эффективного коллектива, способного успешно выполнять инновационные проекты в условиях ограниченных стоимостных ресурсов данной компании не уделялось должного внимания. В данной работе определен перечень показателей, характеризующих эффективность каждого кандидата, многие из которых могут быть представлены термами лингвистических переменных или значениями различного вида числовых шкал. С использованием методов нечеткой логики предложены алгоритмы преобразования этих данных в значения действительных переменных. На основе установленных допустимых граничных значений для каждого из показателей проводится отсев кандидатов, не соответствующих установленным компанией требованиям. На основе установленных требуемых уровней значений каждого из рассматриваемых (или целой группы) показателей сформулирована математическая модель выбора множества претендентов и формирования наиболее эффективного творческого коллектива в условиях ограничений на суммарный фонд оплаты труда в виде одно- и многокритериальной задачи булевого линейного программирования. Обсуждаются методы решения сформулированных задач.

### 1. Необходимый объем информации о потенциальных кандидатах

Представляется целесообразным многие сведения о потенциальных кандидатах, в отличие от традиционных форм представления резюме, сформулировать в виде перечня необходимых вопросов, ответы на каждый из которых могут быть даны в виде выбора одной из предлагаемых возможных альтернатив, приведенных в форме предлагаемого резюме. На основе полученной информации персональным отделом компании может быть сформирован банк данных потенциальных кандидатов, поля которого должны быть представлены некоторыми термами количественных или лингвистических переменных (показатели числовой шкалы, степень принадлежности к некоторому качественному интервалу).

Кроме информации, содержащейся в резюме в предлагаемой стандартной форме, для принятия предварительных решений осуществляется сбор информации о кандидате от других людей и с прежних мест работы, а также осуществляется контакт с кандидатами по телефону. В процессе сбора и анализа информации определяются такие черты личности, как самооценка, коммуникабельность и умение работы в команде, уровень личностной зрелости, склонность к риску, самоконтроль, эмоциональная устойчивость, наличие психологических отклонений, склонность к лидерству и др.

К числу показателей, определяющих эффективность научной и производственной деятельности

принимаемых на работу и работающих в коллективе сотрудников, относятся следующие частные показатели [1–6]:

$f_1$  — уровень квалификации, образования, знание иностранных языков, составляющими которого являются:

$f_1^1$  — уровень образования (доктор, кандидат наук, мастер, бакалавр, среднее специальное образование, абитуриент);

$f_1^2$  — университет или высшее учебное заведение, которое окончил претендент;

$f_1^3$  — средний балл диплома по всем или важнейшим для данного профиля работы дисциплинам;

$f_1^4$  — знание языков программирования;

$f_1^5$  — владение пакетом программ Office;

$f_1^6$  — степень владения необходимыми для работы иностранными языками;

$f_2$  — эффективность научной и теоретической деятельности;

$f_2^1$  — сложность, степень участия и количество выполненных по предполагаемому профилю работ, проектов;

$f_2^2$  — стаж работы в направлении;

$f_3$  — практическая эффективность выполненных разработок;

$f_4$  — инициативность в постановке новых задач, выдвигении новых идей и подходов;

$f_5$  — коммуникабельность, способность и эффективность работать в коллективе;

$f_6$  — исполнительская дисциплина и персональная ответственность;

$f_7$  — предпосылки, стремление и возможности повышения квалификационного уровня;

$f_8$  — возможность и желание работы во внеурочное время;

$f_9$  — возраст, состояние здоровья, количество дней (или процент времени отсутствия на рабочем месте по различным причинам в течение года);

$f_{10}$  — отношение к служебным командировкам и т.д.;

$f_{11}$  — нетрудовая деятельность (спорт, культура, проведение досуга и т.д.);

$f_{12}$  — выдвигаемые претендентом требования по заработной плате.

Каждый оцениваемый показатель, который может рассматриваться и как частный критерий эффективности  $f_i$ ,  $i = 1, \dots, n$ , характеризуется целой еще не предусмотренной в данной системе показателей совокупностью факторов. Например, научно-теоретическая деятельность сотрудника определяется на основе таких факторов, как подго-

товка книг, брошюр, монографий, число, качество и объем публикаций, число ссылок на них, участие в научно-исследовательских работах, выступления с докладами на симпозиумах, конференциях и семинарах, руководство аспирантами, работа с магистрами, научно-экспертная деятельность и т. д. Уровень квалификации претендента на данную должность определяется опытом работы и полученными научно-практическими результатами в данной области, соответствующими дипломами, научными степенями и квалификационными категориями, престижностью и средним баллом оканчиваемого вуза, знаниями иностранных языков, владением смежными специальностями. Практическая эффективность выполненных разработок определяется использованием их результатов различными фирмами и компаниями, а также количеством и объемом финансирования заключенных на коммерческой основе договоров. Перечисление примеров многофакторности каждого из этих показателей можно продолжить.

На 1-м этапе анализа частные показатели эффективности каждого кандидата могут быть представлены как количественными данными (действительные числа или показатели количественных шкал), так и некоторыми качественными оценками. Эксперты, опираясь на свой опыт и интуицию, предпочитают давать оценки на качественном уровне. Использование нечетких словесных понятий ("мало", "много", "значительно", "несколько", "большинство" и т. д.), которыми оперирует человек, дает возможность ввести в рассмотрение качественные описания и лингвистические переменные, а также учесть те факторы, которые не поддаются точному количественному описанию. Как правило, люди плохо воспринимают излишне детализированные шкалы значений признаков и предпочитают не более 7–10 градаций на шкале некоторого признака. Учитывая все вышеизложенное, естественно, неизбежны наличие неопределенности, субъективизма, нечетких данных.

Объективное принятие эффективных решений в этих условиях осложняется следующими факторами:

- влияния различных частных критериев и показателей эффективности работы отдельных сотрудников на комплексный критерий эффективности работы предприятия неравноценны, т.е. вносят разный вклад в интегральную оценку работы коллектива, и поэтому должны быть учтены с различными относительными весами;
- мнения отдельных экспертов относительно оценки отдельных показателей и частных критериев каждого претендента на занимаемую должность могут существенно различаться;
- иерархичность оценок частных критериев, выраженная в том, что каждый отдельный критерий верхнего уровня основывается на агрегировании ряда показателей нижнего уровня и т. д.

## 2. Алгоритмы преобразования термов лингвистических переменных в числовые значения

Для решения сформулированной задачи можно использовать представление лингвистических переменных и числовых шкал нечеткими множествами [7, 8]. Значение лингвистической переменной описывается функцией принадлежности  $\mu_{f_i}[f_i(A^k)]$ ,  $i = 1, \dots, n, k = 1, \dots, K$ , которая индивидуальна для каждого отдельного претендента и (или) исполнителя. В качестве функций принадлежности для показателей и локальных критериев, выраженных в форме действительных чисел или числовых шкал, могут быть использованы, например, функции принадлежности, представленные на рис. 1–6. При этом могут быть использованы различные виды числовых шкал, представленных на оси абсцисс (т.е. оси  $f_i(A^k)$ ), как, например,  $[-1; 1]$ ,  $[0; 1]$ ,  $[0; 10]$ ,  $[0; 5]$ ,  $[0; 7]$ ,  $[0; 100]$ , и др. Для показателей, представленных лингвистическими переменными, можно рассматривать функции принадлежности, аналогичные приведенным на рис. 1–6, которые могут быть представлены также и семью или десятью узловыми точками.

Функция принадлежности, приведенная на рис. 3, используется для показателей, у которых минимальные значения наиболее приемлемы для характеристики кандидата, например желаемый уровень заработной платы.

Характеристики узловых точек и соответствующие им значения лингвистической переменной, ис-

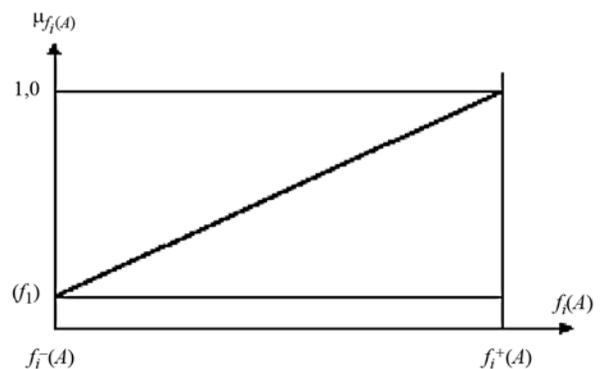


Рис. 1. Линейная функция принадлежности

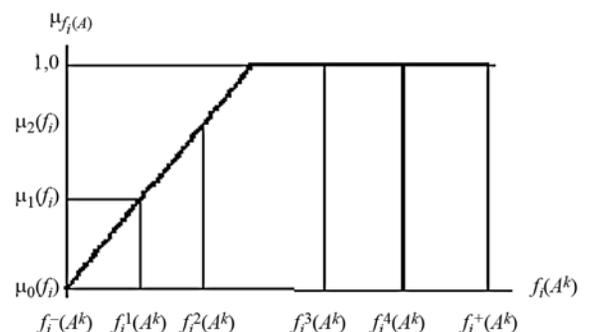


Рис. 2. Трапециевидная функция принадлежности

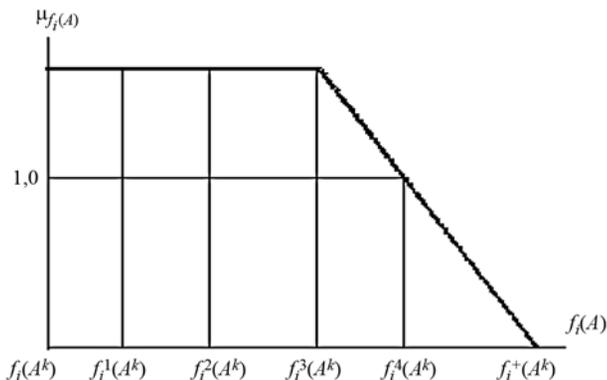


Рис. 3. Функция принадлежности трапецевидного вида

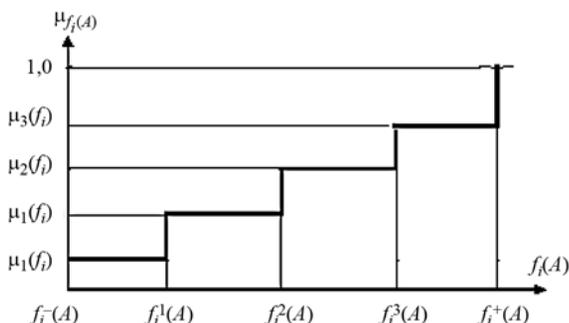


Рис. 4. Функция принадлежности с различными значениями для отдельных термов

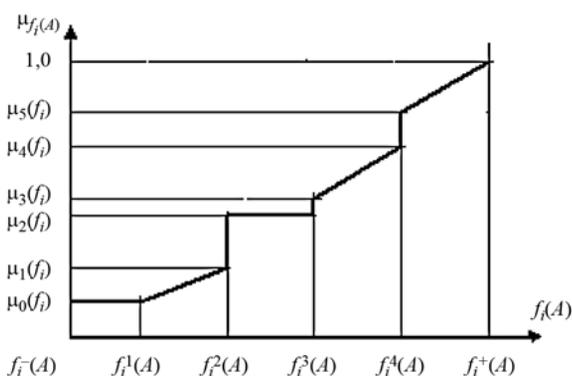


Рис. 5. Линейная функция принадлежности, различная для отдельных лингвистических термов

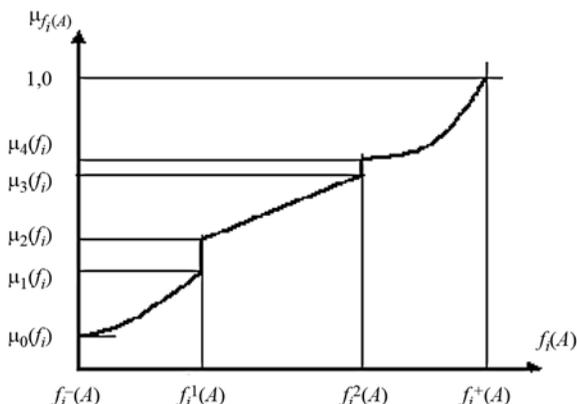


Рис. 6. Нелинейная функция принадлежности, различная для отдельных лингвистических термов

Характеристика узловых точек функции принадлежности

Точки	Значение $\mu_{f_i}[f_i(A^k)]$	Качественная характеристика объекта
1	0,0	Абсолютно неприемлемый
2	0,2	Низкий уровень
3	0,35	Минимально допустимый
4	0,5	Удовлетворительный уровень
5	0,65	Средний, вполне приемлемый
6	0,8	Очень высокое значение
7	1,0	Наивысший уровень

пользуемые для оцифровывания лингвистических термов и определяющие значения параметров уровня рассматриваемого показателя, могут быть также представлены, например, в таблице.

Следует отметить, что если некоторый частный показатель определяется несколькими локальными составляющими (например,  $f_1$  — уровень квалификации претендента или  $f_2$  — эффективность научной и теоретической деятельности), то числовое значение такого частного показателя на основе всех локальных показателей может определяться по одной из приведенных ниже формул операторов нечеткой логики:

$$\mu_{f_i}[f_i(A)] = \sum_{t=1}^T \vartheta^t \mu_{f_i}[f_i^t(A)], \quad (1)$$

где  $0 < \vartheta^t < 1, t = 1, \dots, T$ , — весовые коэффициенты,  $\sum_{t=1}^T \vartheta^t = 1$ ;

$$\mu_{f_i}[f_i(A)] = \delta^1 \min_{1 \leq t \leq T} \mu_{f_i}[f_i^t(A)] + \delta^2 \max_{1 \leq t \leq T} \mu_{f_i}[f_i^t(A)], \quad (2)$$

$$\mu_{f_i}[f_i(A)] = \delta^1 \min_{1 \leq t \leq T} \mu_{f_i}[f_i^t(A)] + \delta^2 \sum_{t=1}^T \vartheta^t \mu_{f_i}[f_i^t(A)], \quad (3)$$

$$\mu_{f_i}[f_i(A)] = \delta^1 \prod_{t=1}^T \mu_{f_i}[f_i^t(A)] + \delta^2 \sum_{t=1}^T \vartheta^t \mu_{f_i}[f_i^t(A)], \quad (4)$$

где  $0 < \delta^1 < 1$  и  $0 < \delta^2 < 1$  — весовые коэффициенты,  $\delta^1 + \delta^2 = 1$ .

Значения частных показателей, учитывающих мнения всей группы экспертов, рассчитывают по следующим формулам:

$$\bar{\mu}_{f_i}[f_i(A)] = \sum_{m=1}^M \beta_{m,i} \mu_{f_i}[f_i(A^k)|m], \quad (5)$$

где  $0 < \beta_{m,i} \leq 1, m = 1, \dots, M$ , где  $\sum_{m=1}^M \beta_{m,i} = 1$  — веса,

учитывающие мнения каждого эксперта при оценке  $i$ -го частного показателя,  $i = 1, \dots, n$ .

### 3. Математическая модель задачи

Рассмотрим в условиях установленных ограничений на суммарный фонд оплаты труда математическую модель задачи выбора множества претендентов и формирования наиболее эффективного творческого коллектива.

Введем следующие обозначения:

$s = 1, \dots, S$  — число предлагаемых вакансий;

$i = 1, \dots, n$  — число рассматриваемых показателей эффективности каждого претендента;

$B^s$  — число специалистов, которые должны быть приняты на  $s$ -ю вакансию;

$\tilde{R}^s = \{1, \dots, r^s, \dots, R^s\}$  — множество кандидатов, претендующих на  $s$ -ю вакансию;

$r = 1, \dots, \dots, \bar{R}$  — общее число рассматриваемых претендентов;

$\lambda_i = \mu_{f_i}(A)$  — числовая переменная, определяющая  $i$ -й показатель эффективности претендента;

$\lambda_i^r = \mu_{f_i}(A^r)$  — значение  $i$ -го показателя эффективности  $r$ -го претендента;

$\bar{\lambda}_i^s$  — требуемое значение показателя эффективности, необходимое для  $s$ -й вакансии;

$c(r^s)$  — требуемый объем заработной платы  $r$ -го кандидата, претендующего на  $s$ -ю вакансию;

$g^s$  и  $\bar{g}^{s, \max}$  — установленный компанией средний и максимально допустимый уровень заработной платы для  $s$ -й вакансии;

$G$  — суммарный объем допустимой выплаты заработной платы компании;

$0 \leq w_{n+1} \leq 1$  — весовой коэффициент учета отклонения заработной платы от установленного компанией среднего уровня;

$w_i^s$  — вес, придаваемый  $i$ -му качественному признаку требований претендента на  $s$ -ю вакансию:

$$0 \leq w_i^s \leq 1, s = 1, \dots, S, \sum_{i=1}^n w_i^s + w_{n+1} = 1. \quad (6)$$

Все множество показателей эффективности  $\tilde{I} = \{1, \dots, n\}$  может быть разбито на  $m$  различных по степени важности групп

$$\tilde{I}_1, \tilde{I}_2, \dots, \tilde{I}_l, \dots, \tilde{I}_m,$$

где  $\bigcup_{l=1}^m \tilde{I}_l = \tilde{I}$ ;  $\tilde{I}_l \cap \tilde{I}_p = \emptyset, l, p = 1, \dots, m, l \neq p$  (7)

каждая из которых может содержать один или несколько показателей.

Недостаточно высокое значение некоторых показателей эффективности, входящих в одну и ту же группу, или комплексного показателя эффективности (КПЭФ) одной из групп, может компенсироваться высоким значением ряда других показателей этой же группы либо высоким значением КПЭФ других групп. Так, например, недостаточный опыт работы претендента или стаж работы в направлении деятельности компании, недостаточ-

ный уровень компьютерной грамотности могут компенсироваться высоким уровнем образования, возрастом, стремлением и потенциальными возможностями повышения квалификационного уровня. В связи с этим для определения значения КПЭФ группы показателей  $\tilde{I}_l = \{i_{l1}, \dots, i_{lp}, \dots, i_{ln}\}$  могут быть использованы следующие выражения:

$$\begin{aligned} \lambda_1^r(\tilde{I}_l) &= \min(\lambda_{i_{l1}}^r, \lambda_{i_{l2}}^r, \dots, \lambda_{i_{ln}}^r), \\ \lambda_2^r(\tilde{I}_l) &= \max(\lambda_{i_{l1}}^r, \lambda_{i_{l2}}^r, \dots, \lambda_{i_{ln}}^r), \\ \lambda_3^r(\tilde{I}_l) &= \frac{1}{\eta} \sum_{\rho=1}^{\eta} \lambda_{i_{l\rho}}^r, \\ \lambda_4^r(\tilde{I}_l) &= \min\left(\frac{1}{\delta} \sum_{\rho=1}^{\delta} \lambda_{i_{l\rho}}^r; \lambda_{i_{l(\delta+1)}}^r, \lambda_{i_{l(\delta+2)}}^r, \lambda_{i_{ln}}^r\right). \end{aligned} \quad (8)$$

Обозначим  $h^s(\tilde{I}_l)$  и  $\bar{h}^{s, \min}(\tilde{I}_l)$  — соответственно требуемое и минимально необходимое значение КПЭФ группы показателей  $\tilde{I}_l$ , для  $s$ -й вакансии;

$v^s(\tilde{I}_l)$  — вес, придаваемый значению КПЭФ группы показателей  $\tilde{I}_l$  претендента на  $s$ -ю вакансию;

$$0 \leq v^s(\tilde{I}_l) \leq 1, \sum_{l=1}^m v^s(\tilde{I}_l) + w_{n+1} = 1, l = 1, \dots, m.$$

При этом

$$\begin{aligned} L^s(\tilde{I}_l) &= \max[0; h^s(\tilde{I}_l) - \lambda_{g^s}^s(\tilde{I}_l)], \\ g &= 1, 2, 3, 4, s = 1, \dots, S, l = 1, \dots, m. \end{aligned} \quad (9)$$

Введем булевы переменные:

$$x^s, r = \begin{cases} 1, & \text{если } r\text{-й претендент займет} \\ & \text{s-ю вакансию} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (10)$$

$$r^s = 1, \dots, R^s, s = 1, \dots, S.$$

Определим

$$\varphi_i^{s,r} = \max(0; \bar{\lambda}_i^s - \lambda_i^r), r^s = 1, \dots, R^s, s = 1, \dots, S; \quad (11)$$

$$\bar{c}(r^s) = \max(0, c(r^s) - g^s), s = 1, \dots, S. \quad (12)$$

Необходимо предусмотреть следующую систему ограничений.

Каждый из претендентов может быть принят не более чем на одну вакансию:

$$\sum_{s=1}^S x^s, r \leq 1, r = 1, \dots, \dots, \bar{R}. \quad (13)$$

На каждую  $s$ -ю вакансию должно быть принято  $B^s$  человек

$$\sum_{r \in \tilde{R}^s} x^s, r = B^s, s = 1, \dots, S. \quad (14)$$

Суммарный объем выплаты заработной платы всех принятых специалистов не должен превышать допустимой выплаты денежных средств компании  $G$ :

$$\sum_{r=1}^{\bar{R}} c(r^s) x^{s,r} \leq G. \quad (15)$$

Если для некоторого претендента не выполняются условия

$$c(r^s) > \bar{g}^{s, \max} \quad \text{или} \quad \lambda_{i, \vartheta}^r(\tilde{I}_l) < \bar{h}^{s, \min}(\tilde{I}_l),$$

где  $\vartheta = 1, 2, 3, 4$ , (16)

то полагаем  $x^{s,r} = 0$ .

Определим  $\tilde{\Omega}$  — подмножество булевых ограничений, не удовлетворяющих установленной минимальной системе ограничений (16).

Решение поставленной задачи рассматривается как выбор из допустимого множества альтернатив.

Наиболее эффективное решение (выбор значений булевых переменных  $x^{s,r}$ ,  $r \in \tilde{R}^s$ ,  $s = 1, \dots, S$ ) может быть получено в результате решения однокритериальной задачи, связанной с выбором значений булевых переменных, удовлетворяющих системе ограничений (8)—(16), и минимизирующего критерия оптимальности (17):

$$E = \sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^n \sum_{r \in \tilde{R}^s} (w_i^s \varphi_i^{s,r} + w_{n+1} \bar{c}^{s,r}) x^{s,r} \rightarrow \min. \quad (17)$$

Решение сформулированной проблемы может быть представлено также в виде решения многокритериальной задачи линейного булевого программирования

$$F_l = \sum_{s=1}^S \sum_{r \in \tilde{R}^s} (v^s(\tilde{I}_l) L^s(\tilde{I}_l) + w_{n+1} \bar{c}^{s,r}) x^{s,r} \rightarrow \min,$$

$l = 1, \dots, m$ , (18)

или

$$\Psi_l = \sum_{l=1}^n \sum_{r \in \tilde{R}^s} (v^s(\tilde{I}_l) L^s(\tilde{I}_l) + w_{n+1} \bar{c}^{s,r}) x^{s,r} \rightarrow \min,$$

$s = 1, \dots, S$ , (19)

в условиях системы ограничений (8)—(16).

#### 4. Обсуждение алгоритмов решения задачи

Однокритериальная задача булевого линейного программирования (8)—(17) может быть решена известными и достаточно подробно описанными в литературе [10—12] методами.

Одним из методов решения этой многокритериальной задачи является введение некоторого обобщенного (комплексного) критерия оптимальности

на основе линейной свертки локальных критериев с различными весовыми коэффициентами

$$\Phi_1 = \sum_{l=1}^m \sigma_l F_l = \sum_{l=1}^L w_l \sum_{s=1}^S \sum_{r \in \tilde{R}^s} (v^s(\tilde{I}_l) L^s(\tilde{I}_l) + w_{n+1} \bar{c}^{s,r}) x^{s,r} \rightarrow \min, \quad (20)$$

где  $0 \leq \sigma_l \leq 1$ ,  $l = 1, \dots, m$ ,  $\sum_{l=1}^m \sigma_l = 1$  — весовые ко-

эффициенты важности каждой группы критериев, значения которых определяются лицом, принимающим решение, и экспертами.

Сформулированная задача (20) в условиях ограничений (8)—(16) может быть решена алгоритмами булевого линейного программирования.

Другим подходом к решению сформулированной задачи является лексико-графическое упорядочение по степени важности на  $Q$  групп показателей:  $\tilde{U} = \{\tilde{U}_1, \dots, \tilde{U}_q, \dots, \tilde{U}_Q\}$ . Причем каждая из этих групп может содержать один или несколько равных по степени важности показателей.

Задача для 1-й по степени важности группы критериев формулируется и решается алгоритмами линейного булевого программирования

$$\Phi_1^2 = \sum_{s=1}^S \sum_{i \in \tilde{U}_1} \sum_{r \in \tilde{R}^s} (w_i^s \varphi_i^{s,r} + w_{n+1} \bar{c}^{s,r}) x^{s,r} \rightarrow \min \quad (21)$$

в условиях системы ограничений (8)—(16). Затем делается некоторая уступка  $e_1 > 1$  по значению критерия оптимальности 1-й группы показателей, формулируется и решается относительно булевых переменных следующая задача:

$$\Phi_2^2 = \left\{ \sum_{s=1}^S \sum_{i \in \tilde{U}_2} \sum_{r \in \tilde{R}^s} (w_i^s \varphi_i^{s,r} + w_{n+1} \bar{c}^{s,r}) x^{s,r} \mid \Phi_1^2 \leq e_1 \Phi_1^2 \right\} \rightarrow \min$$

в условиях системы ограничений (8)—(16).

Следовательно, установив значения уступок по критериям оптимальности для каждой группы показателей  $e_q > 1$ ,  $q = 1, \dots, (Q-1)$ , на каждом этапе принятия решений формулируют и решают следующие задачи в условиях системы ограничений (8)—(16):

$$\Phi_q^2 = \sum_{s=1}^S \sum_{i \in \tilde{U}_2} \sum_{r \in \tilde{R}^s} (w_i^s \varphi_i^{s,r} + w_{n+1} \bar{c}^{s,r}) x^{s,r} \rightarrow \min,$$

$q = 2, \dots, Q$ , (22)

$$\sum_{s=1}^S \sum_{i \in \tilde{U}_{(q-1)}} \sum_{r \in \tilde{R}^s} (w_i^s \varphi_i^{s,r} + w_{n+1} \bar{c}^{s,r}) x^{s,r} \leq e_{(q-1)} \Phi_{(q-1)}^2, \quad q = 2, \dots, Q. \quad (23)$$

Все сформулированные задачи (22), (23) могут также решаться алгоритмами булевого линейного программирования. Результат, полученный на  $Q$ -м шаге, принимается в качестве решения задачи.

В качестве 3-го подхода может рассматриваться процесс последовательного подбора специалистов для каждой вакансии. Все рассматриваемые вакансии упорядочим в некоторую последовательность по степени их важности:

$$\tilde{V} = \{v_1, \dots, v_\eta, \dots, v_S | v_\eta > v_{\eta-1}, v = 2, \dots, S\}. \quad (24)$$

На некотором  $\eta$ -м шаге решения задачи определяются наиболее эффективные наборы кандидатов на  $\eta$ -ю вакансию в результате решения следующей задачи булевого линейного программирования:

$$\Psi_\eta = \sum_{l=1}^m \sum_{r \in \tilde{R}(v_\eta)} (v^\eta(\tilde{I}^l) L^\eta(\tilde{I}^l) + w_{n+1} \bar{c}^{\eta,r}) x^{\eta,r} \rightarrow \min \quad (25)$$

в условиях ограничений (8)–(16), а также дополнительного ограничения на оставшийся неиспользованным объем заработной платы:

$$\sum_{r \in \tilde{R}(v_\eta)} c(r^\eta) x^{\eta,r} \leq \bar{G}_\eta, \quad \eta = 1, \dots, S, \quad (26)$$

где

$$\bar{G}_1 = G, \quad \bar{G}_\eta = \bar{G}_{(\eta-1)} - \sum_{r \in R(v_{(\eta-1)})} c(r^{(\eta-1)}) \bar{x}^{(\eta-1),r}, \quad \eta = 2, \dots, S; \quad (27)$$

$\bar{x}^{\eta,r}$  — значения булевых переменных, которые в результате решения задачи (24), (25) определены как равные 1, т.е.  $\bar{x}^{\eta,r} = 1$ . При решении задачи (24), (25) переменные  $\{x^s, r, s = v_{(\eta+1)}, v_{(\eta+2)}, \dots, v_S | \bar{x}^t, r = 1, t = v_1, v_2, \dots, v_\eta\} = 0$ , т.е. исключаются из рассмотрения.

Полученные на каждом этапе 3-го подхода решения значения булевых переменных  $\bar{x}^{\eta,r} = 1$  определяют выполненный подбор кандидатов на каждую объявленную вакансию.

### Заключение

Выбраны основные показатели, определяющие эффективность рассматриваемых на предлагаемые вакансии кандидатов и определены веса каждого из этих показателей в соответствии с выдвинутыми

компаниями требованиями для выполнения инновационных и наукоемких проектов. Так как многие из этих показателей могут быть представлены не только числовыми значениями, но и терминами лингвистических переменных или показателей числовых шкал, приведены алгоритмы преобразования этих данных в значения функций принадлежности нечетких множеств, лежащих в одном и том же диапазоне значений  $[0, 1]$ , которые могут рассматриваться как значения отдельных полей записей базы данных каждого из претендентов.

Предложена математическая модель подбора персонала на объявленные компанией вакансии для выполнения инновационных проектов среди подавших свои резюме кандидатов в виде одно- и многокритериальной модели линейного булевого программирования, которая предусматривает ограничения на выделенные компанией объемы заработной платы.

Предложены различные подходы к решению сформулированных многокритериальных задач, учитывающие конкретную специфику рассматриваемой проблемы.

Полученные в работе результаты направлены на обеспечение работы компании на необходимом и конкурентоспособном научно-техническом уровне, повышение качества выполнения, сокращение сроков и себестоимости выполняемых инновационных проектов, уменьшение расходов на поиск, отбор и обучение персонала, создание здорового творческого и производственного климата в коллективе.

### Список литературы

1. **Кинан К.** Подбор персонала. М.: Эксмо, 2006. 80 с.
2. **Ульрих Д.** Эффективное управление персоналом: новая роль HR-менеджера в организации. М.: Вильямс, 2006. 304 с.
3. **Berthel Ju., Becker F. G.** Personal-Management. Grundzüge für Konzeptionen betrieblicher Personalarbeit. 9. Auflage. Schäffer-Poeschel, Stuttgart, 2010. 754 s.
4. **Schmeisser W., Andresen M., Kaiser St.** Personalmanagement — UVK Verlags-gesellschaft mbH/UTB, München, 2012. 230 s.
5. **Scholz Ch.** Grundzüge des Personalmanagements. 1. Auflage. — Vahlen Verlag, Bern/ Stuttgart/Wien, 2011. 656 s.
6. **Hentze J., Kammel A.** Personal wirtschaftslehre 1, 7. Aufl. — Vahlen Verlag, Bern/Stuttgart/ Wien, 2001. 189 s.
7. **Зак Ю. А.** Принятие решений в условиях размытых и нечетких данных. М.: URSS, 2013. 352 с.
8. **Kahraman C.** Fuzzy Multi-Criteria Decision Making. Theorie and Applications with Recent Developments. New York: Springer, 2008.
9. **Книп Р. Л., Райфа Х.** Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. М.: Радио и связь, 1981.
10. **Зак Ю. А.** Прикладные задачи многокритериальной оптимизации. М.: Экономика, 2014. 455 с.
11. **Корбут А. А., Финкельштейн Ю. Ю.** Дискретное программирование. М.: Наука, 1969. 368 с.
12. **Зак Ю. А.** Об одном классе задач целочисленного линейного программирования с булевыми переменными // Автоматика и вычислительная техника. 1977. № 6. С. 26—33.

## An Algorithm for Selecting a Plurality of Experts to Carry out Innovative Projects among the Many Contenders for the Position Held

*Performance indicators proposed candidates for the job can be represented by terms of linguistic variables or values of different numeric scales. The algorithms convert the data into numeric values in the range. A mathematical model of recruitment as a single- and multicriteria models of linear Boolean programming, which provides for restrictions on the selected company payroll amounts. The methods of solving formulated multiobjective tasks.*

**Keywords:** candidates for job offers, linguistic terms and numerical scale, fuzzy sets, performance criteria, multicriteria Boolean programming model, the optimal choice of many alternatives

### References

1. **Kinan K.** *Podbor personala*, Moscow, Eksmo, 2006, 80 p.
2. **Ulrih D.** *Effektivnoje upravljenje personalom: novaja rol HR-menedzhera v organizaciji*. Moscow, Vilijams, 2006, 304 p.
3. **Berthel Ju, Becker F. G.** *Personal-Management. Grundzüge für Konzeptionen betrieblicher Personalarbeit*. 9. Auflage. Schäffer-Poeschel, Stuttgart, 2010, 754 s.
4. **Schmeisser W., Andresen M., Kaiser St.** *Personalmanagement — UVK Verlags-gesellschaft mbH/UTB, Mü nchen*, 2012, 230 s.
5. **Scholz Ch.** *Grundzüge des Personalmanagements*. 1. Auflage. — Vahlen Verlag, Bern/ Stuttgart/Wien, 2011, 656 s.
6. **Hentze J., Kammel A.** *Personalwirtschaftslehre* 1, 7. Aufl. — Vahlen Verlag, Bern/Stuttgart/ Wien, 2001, 189 s.
7. **Zack Yu. A.** *Prinyatije reshenij v uslovijach razmitich i nechet-kich dannich*. Moscow, URSS, 2013. 352 p.
8. **Kahraman C.,** *Fuzzy Multi-Criteria Decision Making. Theorie and Applications with Recent Developments*, New York, Springer, 2008.
9. **Kini R. L., Rajfa Ch.** *Prinyatije reshenij pri mnogich kriterijach: predpochtenija i zameschenija*. Moscow, Radio i svyaz, 1981.
10. **Zack Yu. A.** *Prikladnije zadachi mnogokriterialnoj optimisaziji*. Moscow, Ekonomika, 2014, 455 p.
11. **Korbut A. A., Finkelstein Yu. Yu.** *Diskretnoje programirovanije*. Moscow, Nauka, 1969, 368 p.
12. **Zack Yu. A.** Ob odnom klasse zadach zelochislennogo linejnogo programirovanija s bulevimi peremennimi, *Automatika i vychislitel'naja tehnika*, 1977, no. 6, pp. 26—33.

УДК 519.7

**А. Ф. Валеева**, д-р техн. наук, проф., e-mail: aida\_val2004@mail.ru;

**Ю. А. Гончарова**, аспирант, **Р. С. Валеев**, канд. техн. наук, доц.,  
Уфимский государственный авиационный технический университет

## Об одном подходе к решению задач операционного планирования по доставке однородной продукции различным клиентам. Часть 1

*Рассматривается решение задач операционного планирования, возникающих при доставке однородного продукта (заказа) различным клиентам — управления запасами и поиска рациональных маршрутов для доставки этого заказа. Представлены алгоритмы поиска наилучшей стратегии управления запасами и модифицированный алгоритм муравьиной колонии, позволяющий получать рациональные маршруты доставки однородного продукта (заказа) различным клиентам с одновременным учетом различных ограничений, таких как грузоподъемность транспортного средства (ТС), временные окна, период планирования, множество депо, раздельная доставка, неоднородный парк ТС, возможность возврата заказа, а также позволяющий учитывать рациональное размещение груза (заказа) в ТС во время построения рациональных маршрутов доставки.*

**Ключевые слова:** управление запасами, маршрутизация, размещение заказа в автомобильные транспортные средства, алгоритм муравьиной колонии, основанный на популяции

### Введение

У предприятия, специализирующегося на выпуске определенного вида продукции, для удовлетворения спроса клиентов на его доставку точно в срок, возникает ряд проблем, требующих принятия эффективных логистических решений. В работе [2] предложен подход для принятия таких реше-

ний, представляющий иерархическую схему, на верхнем, стратегическом уровне которой определяются цели и требования клиентов, на нижнем, операционном уровне возникает потребность в решении таких прикладных задач, как управление запасами, поиск оптимальных маршрутов транспортных средств (ТС) для доставки заказа клиентам, складирования и ряд других.