

# Информатика, вычислительная техника и управление

УДК 519.816

## СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ НА ПРИМЕРЕ САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ

*Д.В. Иванова*

Самарский государственный технический университет  
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

E-mail: darya.i@inbox.ru

***Аннотация.** Исследуется деятельность генерирующих предприятий не только в производственном, но и в экологическом аспекте, отражающем влияние энергетики на окружающую среду. Построена структурная модель регионального промышленного комплекса, демонстрирующая многочисленные связи предприятий энергосистемы с промышленными предприятиями городского округа Самара и Самарской области. Региональная энергетика требует рассмотрения деятельности в совокупности с этими производственно-экономическими системами. Разработан алгоритм работы системы поддержки принятия решений для функционирования энергосистемы во взаимосвязи с производственно-экономическими системами городского и областного уровней. Проведено математическое моделирование деятельности энергосистемы на основе производственных функций Кобба – Дугласа. Построена двухконтурная имитационная система управления, позволяющая исследовать пути повышения экономической и экологической эффективности функционирования энергосистемы. Проведен анализ сценариев поведения энергосистемы и ее влияния на экологию. Предложены рекомендации для использования как на уровне отрасли промышленности (региональная энергосистема), так и на общепромышленном уровне региона (региональный промышленный комплекс).*

***Ключевые слова:** эффективность, энергосистема, системный анализ, математическое моделирование, производственная функция, система управления.*

Процессы сжигания органического топлива, применяемые для получения тепловой энергии в энергетических установках, вносят существенный вклад в загрязнение атмосферы. Ежегодно предприятиями на десятки экологических мероприятий направляются миллионы рублей [1; 2].

Одной из важных задач предприятий энергетики является минимизация негативного воздействия энергосистем на окружающую среду. В связи с ужесточением экологической политики в РФ и существенной неопределенностью условий развития промышленности актуальным является анализ эффективности энергетических производств с учетом их производственно-экономических пока-

зателей и проводимых экологических мероприятий.

Объект управления «региональная энергосистема» может быть представлен в виде многоэлементной производственно-экономической системы с разветвленной сетью внутренних и внешних связей. В работе в качестве типового примера рассматривается коммерческая структура: филиал ПАО «Т плюс» в Самарской области, объединяющий крупные энергетические генерирующие объекты региона. На функционирование энергосистемы оказывают влияние результаты деятельности производственно-экономических систем промышленности города и региона, поведение ее внешнего окружения и взаимодействие с муниципальными образованияами и отраслями.

Теплоэнергетика как одна из отраслей промышленности входит в региональный промышленный комплекс (РПК) Самарской области, объединяющий все отрасли промышленности региона, в т. ч. основных потребителей продукции энергосистемы – предприятия химической, нефтехимической, металлургической, автомобильной и машиностроительной промышленности.

Энергосистема Самарской области включает в себя семь теплоэлектроцентралей и несколько мощных отопительных котельных, которые снабжают крупные города Самарской области – Самару, Тольятти, Сызрань, Новокуйбышевск – тепловой энергией и частично электрической, выработанной по теплофикационному циклу.

Изначально ТЭЦ строились на окраинах городов, в настоящее время они вошли в городскую черту всех городов области. Вредные выбросы энергетических предприятий оказывают влияние на экологию как городских округов, так и Самарской области.

Некоторые районы г.о. Самара, такие как Самарский и Куйбышевский, находятся на близком расстоянии от энергетических предприятий города Новокуйбышевска (5–15 км), значительно ухудшающих экологическую обстановку сразу в нескольких городах области [3, 4, 5].

Для оценки действительного негативного влияния энергетических производств на атмосферный воздух необходимо наблюдение за концентрацией вредных веществ в атмосфере, наиболее актуальным в силу расположения производственных мощностей является исследование промышленно-экономической системы (ПЭС) городского округа Самара [3, 4].

Для адекватного анализа теплоэнергетической системы (ТЭС) Самарской области ее функционирование необходимо рассматривать вместе с деятельностью связанных с ней систем. Функционирование регионального промышленного комплекса Самарской области на агрегированном уровне представлено в виде структуры на рис. 1.

В структурной модели выделены три производственно-экономические подсистемы: ПЭС города Самара, РПК Самарской области, ТЭС Самарской области, взаимосвязанные между собой:

- используемыми ресурсами – капитальными, трудовыми, топливными;
- результатами функционирования энергетических предприятий – тепловой и электрической энергией;
- результатами деятельности всех промышленных предприятий, включая и экологические – выбросы вредных веществ в окружающую среду;
- совместной инвестиционной деятельностью – финансированием экологических мероприятий по улучшению экологической обстановки в регионе.

Регион является поставщиком капитальных  $K$  и трудовых ресурсов  $L$  для

энергосистемы и ПЭС г.о. Самара, и механизмы его функционирования следует учитывать при системном анализе энергетических производств.

Энергетический комплекс входит в первую десятку отраслей по доле вклада в выпуск региональной продукции. Объем производимой энергосистемой продукции ежегодно составляет 5–7 % от объема промышленного производства Самарской области. Электроэнергия в объеме  $Y_e$  поставляется на общероссийский рынок сбыта, и результат ее реализации в виде экономического дохода становится частью валового регионального продукта  $H$ . Вырабатываемая энергосистемой тепловая энергия  $Y_t$  поставляется для города Самары и всего региона. От состояния регионального спроса на продукцию энергосистемы зависит нагрузка энергетических предприятий, спрос на энергоресурсы влияет на эффективность функционирования энергетики и, следовательно, на региональную экологическую эффективность [6].

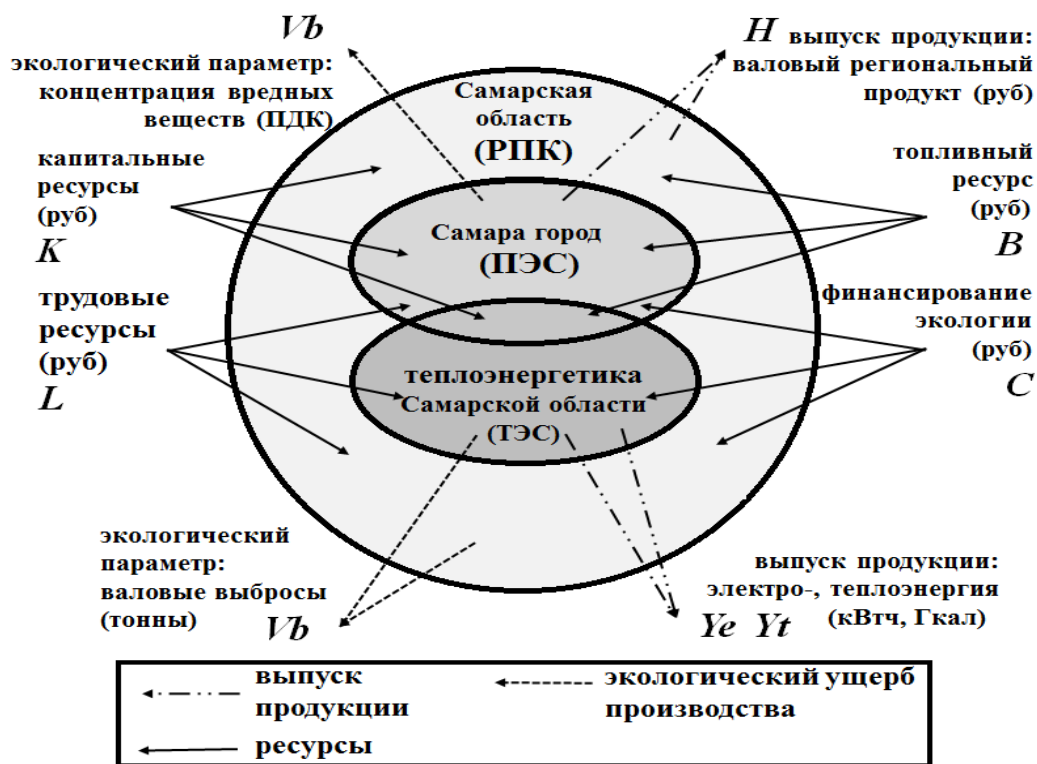


Рис. 1. Структурная модель регионального промышленного комплекса

При оценке влияния промышленности на экологию необходимо принимать во внимание экологический параметр  $V_b$  в виде величины валовых выбросов вредных веществ, измеряемый в тоннах вредных веществ, отходящих от промышленных установок в атмосферный воздух. Экологический параметр характеризует величину воздействия производственных предприятий на состояние атмосферного воздуха.

Для сокращения вредного влияния промышленных производств на окружающую среду ежегодно проводятся экологические мероприятия, которые финан-

сируются как самими отраслями промышленности, так и бюджетом города и региона. В качестве показателя финансирования экологических мероприятий *С* учтены инвестиции в основной капитал, направленные на охрану окружающей природной среды и рациональное использование природных ресурсов, включающие затраты на новое строительство, расширение, а также на реконструкцию и модернизацию объектов, которые приводят к увеличению экологической эффективности функционирования региона.

Структурная модель регионального промышленного комплекса Самарской области, в которой РПК представлен в виде многоуровневой зависимой системы отраслей промышленности, энергетики и территориальных образований – регион, городской округ, позволила выделить важные характеристики функционирования промышленности отдельных уровней и взаимосвязи между ними.

В целях повышения экологической эффективности энергетических производств разработан алгоритм работы системы поддержки принятия решений для функционирования энергосистемы, изображенный на рис. 2 [8].

Согласно алгоритму, выработка решений для функционирования энергосистемы происходит в результате итерационного процесса, поскольку по входным параметрам – капитальным, трудовым, топливным ресурсам и инвестиционной составляющей, а также по выходным параметрам – произведенной тепловой и электрической энергии, экологическому параметру энергосистема связана с промышленно-экономической системой городского округа Самара и региональным промышленным комплексом Самарской области.

Алгоритм работы системы поддержки принятия решений для функционирования теплоэнергетической системы (ТЭС) реализуется последовательностью процессов, которые включают в себя следующие этапы:

- 1) определение цели и применяемых методов системного анализа;
- 2) сбор и статистический анализ характеристик и показателей функционирования производственно-экономических систем;
- 3) математическое моделирование протекающих процессов;
- 4) исследование свойств полученных моделей и конструирование на их основе системы управления производственно-экономическими объектами;
- 5) имитационное моделирование протекающих в системах управления процессов и построение прогнозов функционирования объекта управления.

Применение представленного алгоритма возможно для каждой из систем – РПК, ПЭС – в отдельности аналогично этапам алгоритма работы системы поддержки принятия решений для функционирования ТЭС.

В работах [8–13] исследованы вопросы целеполагания, определены методы исследования, исследован объект управления, структурированы его связи с другими системами, проведено математическое моделирование деятельности энергосистемы, РПК и ПЭС на основе производственных функций Кобба – Дугласа. В процессе исследования экологической эффективности энергетических производств использованы методы системного анализа, в том числе разработка математических моделей, адекватно описывающих многоплановую деятельность производственных комплексов. Описанные в алгоритме работы системы принятия решений процедуры позволили получить характеристики функционирования предприятий промышленности всех трех уровней, определяющие их влияние на экологию всего региона и отдельных его районов. Результаты расчетов сопоставлены со статистическими данными по Самарской области и городскому округу Самара.

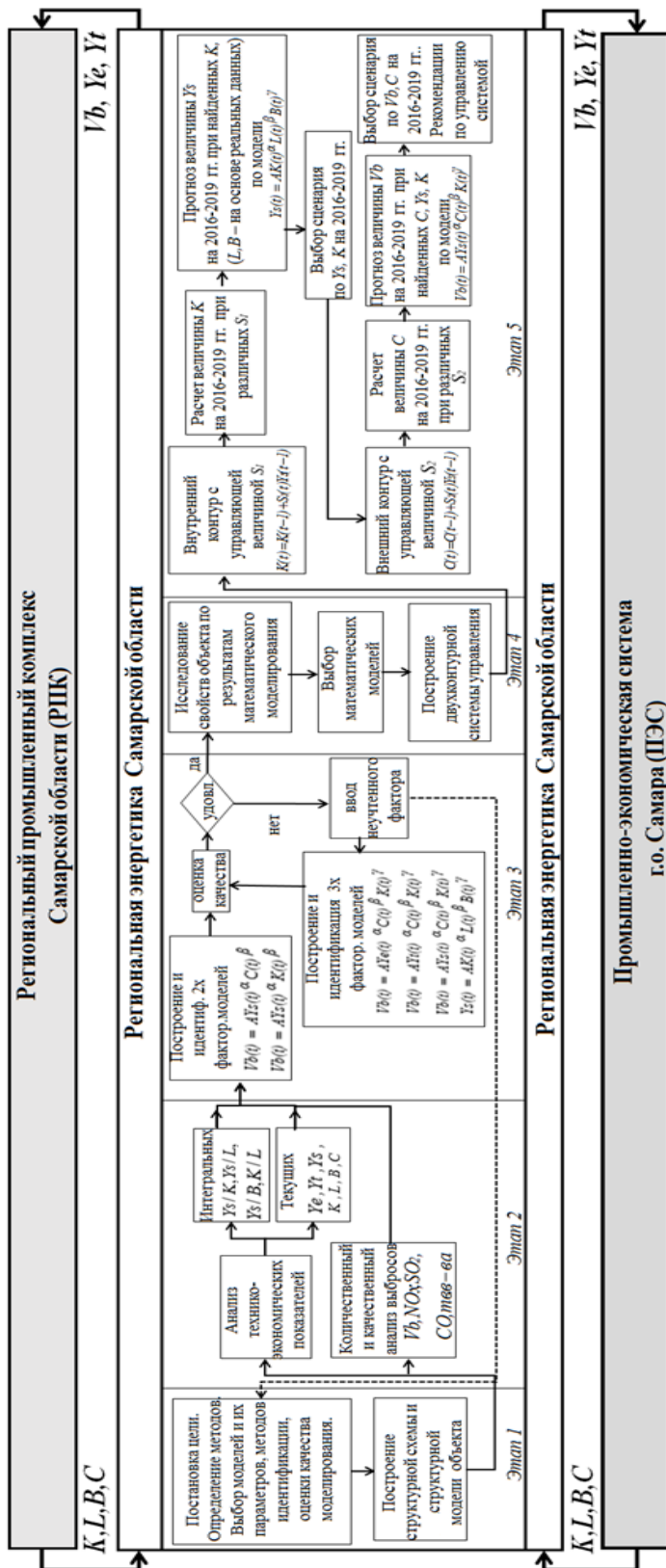


Рис. 2. Алгоритм работы системы поддержки принятия решений для функционирования энергосистемы Самарской области

В работах [8–10] подробно рассмотрены вопросы построения математических моделей в форме степенных производственных функций типа Кобба – Ду-гласа, приведены примеры идентификации их параметров по статистическим данным функционирования энергетической системы Самарской области. В моделях в качестве выходной величины принята величина выпускаемой продукции, а входными являются величины используемых материальных, трудовых и топливных ресурсов.

В общем виде производственные функции (ПФ) описаны уравнением

$$Y = f(X, Z), \quad (1)$$

где  $f$  – производственная функция, описывающая процесс преобразования входных величин  $X, Z$  в выходную величину системы  $Y$ .

Математические модели функционирования энергетической системы для экологического параметра  $V_b$  с входными воздействиями в виде выпуска продукции – суммарной энергии  $Y_s$ , электрической энергии  $Y_e$  и тепловой энергии  $Y_t$  и используемых ресурсов – величины финансирования экологии  $C(t)$ , основных фондов  $K(t)$  приняли вид:

$$V_b = AY_s^\alpha C^\beta K^\gamma; \quad (2)$$

$$V_b = AY_e^\alpha C^\beta K^\gamma; \quad (3)$$

$$V_b = AY_t^\alpha C^\beta K^\gamma, \quad (4)$$

где  $A$  – масштабный коэффициент, характеризующий интегральную эффективность;

$\alpha, \beta$  и  $\gamma$  – коэффициенты эластичности по соответствующим входным воздействиям.

Коэффициенты построенных моделей  $A, \alpha, \beta, \gamma$  идентифицировались методом наименьших квадратов (МНК) по статистическим данным функционирования самарской энергосистемы за 2001–2016 гг. [1; 2].

В основе метода МНК лежит минимизация квадратичного отклонения модельных зависимостей  $V_b$  от статистических данных  $V$ :

$$\sum_{t=1}^T \varepsilon_t^2 = \sum_{t=1}^T (V(t) - V_b(t))^2 \rightarrow \min, \quad (5)$$

где  $\varepsilon(t) = V(t) - V_b(t)$  – невязка статистических и расчетных значений;  $[t, T]$  – временной интервал статистической совокупности исходных данных.

Качество построенных моделей оценивалось по следующим критериям: коэффициенту детерминации  $R^2$ ,  $F$ -критерию Фишера, среднеквадратичному отклонению  $\sigma$ ,  $t$ -критериям Стьюдента и критерию Дарбина – Уотсона  $DW$  [14; 15; 16].

Общее качество уравнений линейной регрессии оценивалось коэффициентом детерминации  $R^2$ , который является квадратом коэффициента множественной корреляции:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T \varepsilon_t^2}{\sum_{t=1}^T (V - V_{cp})^2}, \quad (6)$$

где  $V_{cp} = \frac{\sum_{t=1}^T V_t}{T}$ . Коэффициент детерминации  $R^2$  определяет аппроксимативные свойства модели, для хорошего качества уравнения регрессии коэффициент должен быть близок к единице.

Статистическая значимость коэффициента детерминации проверяется нулевой гипотезой для  $F$ -статистики Фишера:

$$F = \frac{R^2}{1-R} \cdot \frac{T-n-1}{n}. \quad (7)$$

Погрешность расчетов по моделям характеризовалась среднеквадратичной ошибкой  $\sigma$ :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^T \varepsilon_t^2}{(T-2) \sum_{t=1}^T (x_t - x_{cp})^2}}, \quad (8)$$

где  $X_t = \{Y_\lambda(t), C(t), K(t)\}$  – текущее значение входных воздействий,  $\lambda = s; e; t$ ;

$$X_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^M x_i(t)}{M} \text{ – среднее значение входных воздействий;}$$

$M$  – количество входных воздействий,  $i = 1, 2, \dots, M$ .

Оценка статистической значимости коэффициентов регрессионного уравнения проводилась на основе расчета  $t$ -статистики. Полагалось, что величины ошибок  $\varepsilon_t$ , меры разброса зависимой переменной относительно линии регрессии имеют распределение Стьюдента с  $(T - n - 1)$  степенями свободы, где  $T$  – число наблюдений,  $T \geq n + 1$ ,  $n$  – число коэффициентов множественной линейной регрессии. Если число степеней свободы не менее 8–10, то при 5%-м уровне значимости и двусторонней альтернативной гипотезе критическое значение  $t$ -статистики равняется практически двум. Если  $t \in [2; 3]$ , то значения коэффициента признаются весьма значимыми. Если  $t$ -статистика по модулю меньше единицы, то значение полученного коэффициента является малозначимым.

Для анализа независимости отклонений фактических данных и расчетных по модели применяют статистику Дарбина – Уотсона:

$$DW = \frac{\sum_{t=1}^{T-1} (\varepsilon_t - \varepsilon_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^T \varepsilon_t^2}. \quad (9)$$

Статистика Дарбина – Уотсона применяется для проверки гипотезы об отсутствии автокорреляции остатков  $\varepsilon_t$  первого порядка. Если статистика Дарбина – Уотсона близка к двум, то отклонения от регрессии считают случайными и автокорреляция остатков отсутствует. Это означает в целом высокое качество полученных уравнений, и построенные в этом случае модели обладают не только удовлетворительными аппроксимативными характеристиками, но и хорошими прогнозными свойствами.

Результаты идентификации параметров моделей (2), (3), (4) приведены в таблице. Значения коэффициентов детерминации  $R^2$  свидетельствуют о достаточно хорошем качестве уравнений регрессии. Все оценки расчетов значимы по  $F$ -статистике. Согласно  $t$ -статистике значения полученных коэффициентов  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  являются достаточно значимыми. Сопоставление модельных и статистических динамических характеристик производства приведены в относительных единицах на рис. 3.

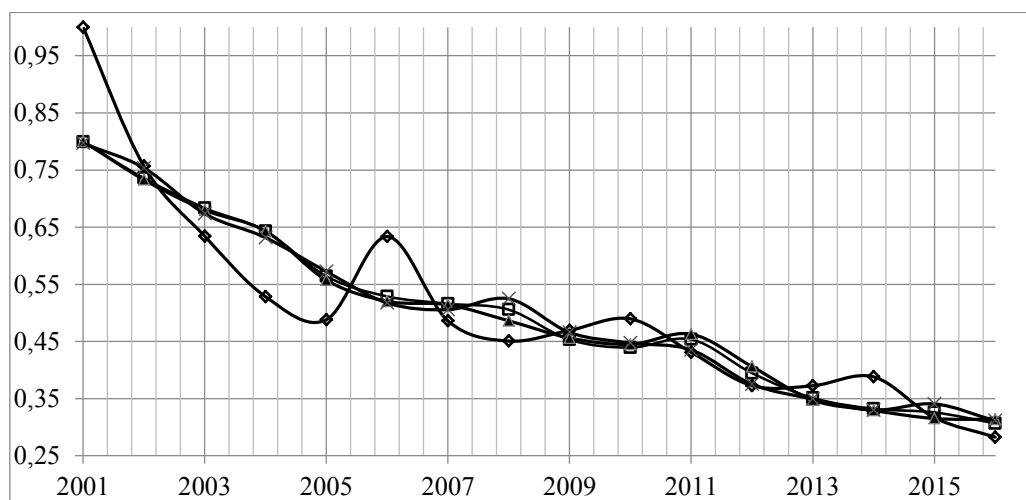


Рис. 3. Изменение экологического параметра в период 2001–2016 гг.: статистические данные  $V$  (◆), модельные данные  $V_b$  для ПФ с входным воздействием в виде выпуска суммарной энергии (■), электрической энергии (×), тепловой энергии (▲)

#### Значения параметров и показателей качества моделей (2), (3), (4)

Параметр	Модель (2)	Модель (3)	Модель (4)
$A$	0,41	0,36	0,41
$\alpha$	1,36	0,77	1,33



Параметр	Модель (2)	Модель (3)	Модель (4)
$\beta$	-0,29	-0,26	-0,31
$\gamma$	-0,24	-0,46	-0,18
$R^2$	0,86	0,85	0,86
$F$	25,10	23,68	24,16
$\sigma$	0,13	0,13	0,13
$t$ -критерий для А	-5,27	-9,04	-4,69
$t$ -критерий для $\alpha$	2,00	1,37	1,96
$t$ -критерий для $\beta$	-2,63	-2,20	-2,74
$t$ -критерий для $\gamma$	-0,84	-2,00	-0,56
$DW$	1,32	1,42	1,32

Анализ параметров моделей выявил, что экологический параметр  $V_b$  в виде величины выбросов наиболее чувствителен к изменению выпуска продукции ( $\alpha_1=1,36$ ;  $\alpha_2=0,77$ ;  $\alpha_3=1,33$ ). Значения коэффициентов эластичности свидетельствуют о прогрессивном росте выбросов с увеличением производства любого вида энергии.

Согласно значениям коэффициента эластичности  $\beta$  имеющиеся финансовые вложения в экологию слабо влияют на величину вредных выбросов в атмосферу. Таким образом, улучшение экономической ситуации в регионе и рост выпуска суммарной энергии приводят к значительному увеличению величины выбросов вредных веществ, что отрицательно сказывается на экологии. Повышение нагрузки на энергосистему при имеющемся финансировании экологии неумолимо повлечет за собой ухудшение экологической ситуации как в городе Самаре, так и в области.

Полученные результаты позволяют применить сконструированные математические модели (2), (3), (4) в качестве имитационных для построения систем управления и определения необходимых объемов финансирования экологии.

Этап имитационного моделирования, представленный заключительным в алгоритме, позволяет строить прогнозы и исследовать механизмы улучшения экологической ситуации и повышения экономической эффективности энергетики [17–19].

На основе полученных в предыдущем этапе математических моделей представим имитационную двухконтурную систему управления энергосистемой Самарской области на рис. 4.

Во внутреннем контуре системы моделируется выработка продукции суммарной энергии  $Y_s = Y_e + Y_t$  при использовании входящих ресурсов: объема основных фондов  $K$ , численности трудовых ресурсов  $L$ , количества топливных ресурсов  $B$  согласно исследованной в работе [10] трехфакторной математической модели вида

$$Y_s = AK^\alpha L^\beta B^\gamma. \quad (10)$$

Также в этом контуре моделируется накопление инвестиций на обновление

капитальных ресурсов  $K$  за счет ежегодной доли прибыли от выпуска продукции  $Y_s$ ,  $s_I$  является управляющей величиной.

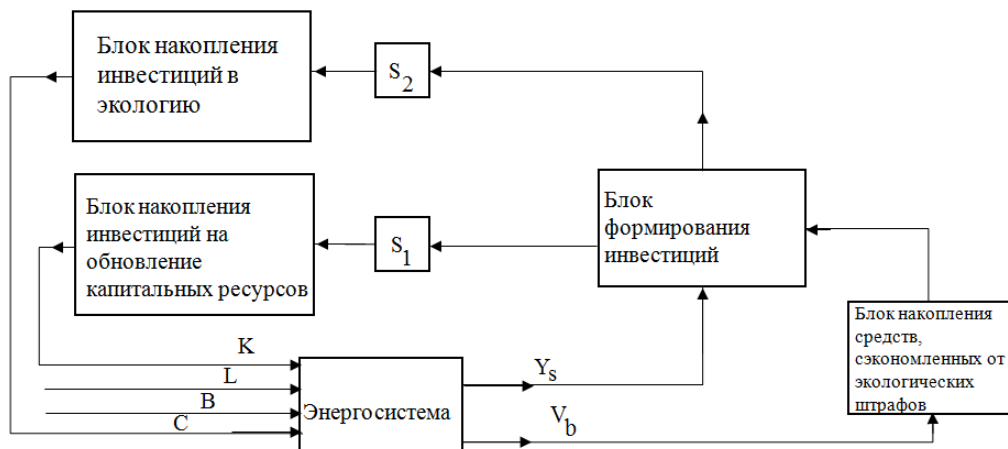


Рис. 4. Имитационная система управления энергосистемой Самарской области

Во внешнем контуре согласно построенной ранее трехфакторной математической модели (2) моделируется экологический параметр в зависимости от капитальных ресурсов, количества произведенной энергии и величины финансирования экологии. Управляющей величиной  $s_2$  принята доля инвестиций в экологию, в зависимости от которых меняется и выходная характеристика  $V_b$ .

Таким образом, в системе управления в качестве управляющих переменных учтены относительная доля промышленных инвестиций  $s_1$  на обновление капитальных ресурсов во внутреннем контуре системы и величина отчислений на экологические мероприятия  $s_2$  во внешнем контуре системы.

Согласно алгоритму работы системы поддержки принятия решений, представленному на рис. 2, на этапе имитационного моделирования во внутреннем контуре на основе математической модели (10) и статистических данных функционирования энергосистемы при различных выбранных величинах управляющего воздействия  $s_I$  рассчитывались прогнозы по величине изменения основных фондов энергетики  $K$  и по выпуску суммарной энергии  $Y_s$ .

Полученные прогнозные значения по величине основных фондов и выпуску продукции далее используются для имитационного моделирования во внешнем контуре, моделирующем функционирование объекта в экологическом аспекте. В зависимости от прибыли энергосистемы за предыдущий год формируются инвестиции в экологию  $s_2$ , которые являются управляющим воздействием во внешнем контуре. Для имитационного моделирования во внешнем контуре использовалась модель (2) и статистические данные функционирования энергосистемы.

Следует отметить, что построенные ранее модельные прогнозы поведения энергосистемы на 2016–2019 гг. на основе имитационной математической модели (2), (10) и статистических данных за 2001–2015 гг. не оправдываются в пол-

ной мере [10]. Установлено, что при величине отчислений на экологию не менее 5 % от прибыли энергосистемы за предыдущий год в региональной энергосистеме будет наблюдаться рост выпуска продукции на 3,5 %, незначительный рост (удорожание или замена оборудования на новое) основных фондов при одновременном уменьшении вредных выбросов в атмосферу на 8 %. Таким образом, будет повышена как экологическая, так и экономическая эффективность производства тепловой и электрической энергии. При этом полученные статистические данные за 2016 г. показывают, что по сравнению с 2015 г. величина валовых выбросов вредных веществ энергосистемой уменьшилась на 10,7 % при уменьшении величины выработки продукции на 4,95 %, что связано с уменьшением объема используемого топлива. Величина финансирования экологии все еще остается недостаточной. Необходимо либо кардинальное изменение величины инвестиций, либо изменение механизмов реализации экологических мероприятий.

### **Заключение**

1. Построена структурная агрегированная модель регионального промышленного комплекса на примере Самарской области, рассмотрены вопросы использования основных ресурсов производственно-экономических систем и влияние их на экологические и экономические показатели функционирования энергосистемы.

2. Разработан алгоритм работы системы поддержки принятия решений для функционирования энергосистемы Самарской области с учетом показателей функционирования и проводимых экологических мероприятий.

3. Поставлена и решена задача математического моделирования деятельности энергосистем с помощью производственных функций. Анализ показателей эффективности энергосистемы, полученных в виде коэффициентов эластичности моделей, показал низкую эффективность финансирования экологии для снижения вредного влияния на окружающую среду.

4. Построена двухконтурная имитационная система управления энергосистемой, исследованы механизмы повышения экономической и экологической эффективности функционирования промышленности. Ретроспективный анализ известных прогнозов показал, что экологическая эффективность энергосистемы низка, увеличение производства тепловой и электрической энергии при имеющихся механизмах функционирования энергосистемы повлечет за собой ухудшение экологической ситуации как в городе Самаре, так и в области.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Годовые отчеты Открытого акционерного общества «Волжская территориальная генерирующая компания» по результатам 2010, 2011, 2012, 2013, 2014 финансового года. <http://www.myenergy.ru/>
2. Годовой отчет Публичного акционерного общества «Т плюс» по результатам деятельности за 2015, 2016 год. <http://www.tplusgroup.ru/org/ktk/ir/year-reports/>
3. *Лебедева Е.А.* Охрана воздушного бассейна от вредных технологических вентиляционных выбросов: учеб. пособие. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2009. – 196 с.
4. *Безуглая Э.Ю.* Мониторинг состояния загрязнения атмосферы в городах. – Ленинград: Гидрометеоздат, 1986. – 116 с.
5. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» № 7-ФЗ от 10 января 2002 г.
6. *Дилигенский Н.В., Гаврилова А.А., Цапенко М.В.* Построение и идентификация математических моделей производственных функций. – Самара: Офорт, 2005. – 126 с.
7. *Ларин Е.А., Долотовский И.В., Долотовская Н.В.* Энергетический комплекс газоперерабатывающих предприятий. Системный анализ, моделирование, нормирование. – М.: Энергоатомиздат, 2008. – 440 с. ISBN 978-5-283-03274-0.

8. Гаврилова А.А., Салов А.Г., Иванова Д.В. Исследование экономических характеристик регионального промышленного комплекса методами статистического и модельного анализа. – М.: Научное обозрение, 2015. – № 15. – С. 327–333.
9. Гаврилова А.А., Салов А.Г., Иванова Д.В. «System Model Analysis of the Management Effectiveness of the Territorial Producing Company and Considering the Interrelations with the Macroevironment» 2016 2nd International-Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM).
10. Гаврилова А.А., Салов А.Г., Иванова Д.В. Система управления деятельностью региональной энергетики с учетом влияния на экологию. – Тольятти: Мат. XIV Международной науч.-практ. конф. «Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики», 2017. – С. 110–114.
11. Гаврилова А.А., Салов А.Г., Саксонова В.В., Иванова Д.В. Комплексный анализ и имитационное моделирование загрязнения атмосферного воздуха города Самары // Инфокоммуникационные технологии. – 2013. – Т. 12, № 2. – С. 50–54.
12. Гаврилова А.А., Салов А.Г., Иванова Д.В. Имитационное моделирование эффективности функционирования макроэкономического объекта по экологическому критерию // Инфокоммуникационные технологии. – 2015. – Т. 13, № 2. – С. 176–182.
13. Гаврилова А.А., Салов А.Г., Иванова Д.В. Комплексный анализ природоохранной деятельности промышленных систем регионального уровня // Промышленная энергетика. – 2014. – № 12. – С. 45–48.
14. Зоркальцев В.И. Метод наименьших квадратов: геометрические свойства, альтернативные подходы, приложения. – Новосибирск: Наука, 1995. – 220 с.
15. Диллигенский Н.В., Гаврилова А.А., Цапенко М.В. Построение и идентификация математических моделей производственных функций. – Самара: СамГТУ, 2005. – 126 с.
16. Замков О.О., Толстопятенко А.В., Черемных Ю.Н. Математические методы в экономике. – М.: МГУ, изд-во «ДИС», 1997. – 368 с.
17. Васильев С.Н. Моделирование и управление процессами регионального развития. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 432 с.
18. Имитационный подход к изучению больших систем энергетики. – Иркутск: СЭИ, 1986. – 171 с.
19. Диллигенский Н.В., Салов А.Г., Гаврилова А.А. Модельный анализ устойчивости региональной энергетической системы в условиях формирования рыночных отношений. – Казань: Тр. IX между. симпозиума «Энергоресурсоэффективность и энергосбережение», ч. II, 2008. – С. 305–312.

*Статья поступила в редакцию 13 сентября 2018 г.*

## **SYSTEM ANALYSIS AND MODELING OF ENVIRONMENTAL EFFICIENCY OF REGIONAL POWER GRID: THE CASE OF SAMARA REGION**

***D.V. Ivanova***

Samara State Technical University  
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

***Abstract.*** Study of power grid activity has been mainstreamed not only in terms of productive, but also in environmental aspect, reflecting the impact of power grid on environmental. Analysis of infrastructural model of Samara region industrial system showed, that enterprises of power grid have multiple connections with industrial enterprises of Samara city and Samara region. This fact highlights the need for exploration of power grid activity in conjunction with this manufacturing and economic systems. A control algorithm for the activity of a regional power grid system of Samara in conjunction with region and city manufacturing and economic systems was developed. The mathematical modelling of power grid activity was carried out with the help of Cobb-Douglas production functions. Double loops simulation control system which allows to explore ways of enhancing the economic and environment efficiency of regional power grid has been built. Proposed scenarios of power grid functioning and their environmental impact were analyzed. Recommen-

*dations on the management of activity of object could be applied on industry branch (region power grid) level as well as on industry region level (regional industrial complex).*

**Keywords:** *efficiency, power grid system, system analysis, mathematical modeling, production function, control system.*

#### REFERENCES

1. The annual reports of Open Joint Stock Company «Volzhskaya territorial'naya generiruyushchaya kompaniya» for 2010, 2011, 2012, 2013, 2014 financial years, <http://www.myenergy.ru/>.
2. The annual reports of Public Joint-Stock Company «T plus» for 2015, 2016 financial years, <http://www.tplusgroup.ru/org/ktk/ir/year-reports/>.
3. *Lebedeva E.A.* «Protection of atmospheric air against of harmful technological vent emissions». – Nizhny Novgorod: study guide, State Architectural and Engineering University NNGASU, 2009 – 196 p.
4. *Bezuglaya E.Y.* «Pollution monitoring from urban air». – Leningrad: Gidrometeoizdat, 1986. – 116 p.
5. Federal law «On environmental protection» № 7-FZ 10.01.2002.
6. *Diligensky N.V., Gavrilova A.A., Tsapenko M.V.* «The development and identification of mathematical models of manufacturing functions». – Samara: Ofort Publishing House, 2005, p. 126.
7. *Larin E.A., Dolotovskij I.V., Dolotovskaya N.V.* «Fuel and eberg complex gazopererabatyvaiuschih predpriyatiei. Systemnyei analiz, modelirovanie, normirovanie». – Moscow: Energoatomizdat, 2008. – p. 440. ISBN 978-5-283-03274-0.
8. *Gavrilova A.A., Salov A.G., Ivanova D.V.* «A study of economic characteristics of a regional industrial complex by the methods of statistical and model analysis». – Moscow, Nauchnoe Obozrenie Journal, 2015. – Issue No. 15. – p. 327–333.
9. *Gavrilova A.A., Salov A.G., Ivanova D.V.* «System Model Analysis of the Management Effectiveness of the Territorial Producing Company and Considering the Interrelations with the Macro Environment». – Chelyabinsk: 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 2016.
10. *Gavrilova A.A., Salov A.G., Ivanova D.V.* «Control system for regional power grid taking into account the influence on environment». – Togliatti: mat. XIV International scientifically-practical conference «Tatishchevskie chteniya: aktualnye problemy nauki i praktiki», 2017. – p. 110–114.
11. *Gavrilova A.A., Salov A.G., Saksonova V.V., Ivanova D.V.* «Complex analysis and simulation modelling of atmospheric air pollution in Samara city». – Samara: «Infokommunikacionnye tekhnologii» Science and Technology, Information and Analytical periodical, 2013. – Part 12, № 2. – p. 50–54.
12. *Gavrilova A.A., Salov A.G., Ivanova D.V.* «Simulation modelling of efficiency of macroeconomic subject activity on environmental criteria». – Samara: «Infokommunikacionnye tekhnologii» Science and Technology, Information and Analytical periodical, 2015. – Part 13, № 2. – p. 176–182.
13. *Gavrilova A.A., Salov A.G., Ivanova D.V.* «Complex analysis of environmental activity of regional industrial systems». – Samara: «Promyshlennaya ehnergetika» Science and Technology periodical, 2014. – Part № 12. – p. 45–48.
14. *Zorkalcev V.I.* «Least square method: geometric properties, alternative approaches, applications». – Novosibirsk: VO «Nauka», 1995. – 220 p.
15. *Diligensky N.V., Gavrilova A.A., Tsapenko M.V.* «Mathematical modeling and identification of production functions». – Samara: SamGTU, 2005. – 126 p.
16. *Zamkov O.O., Tolstopyatenko A.V., Cheremnyh Y.N.* «Mathematical methods in economic». – Moscow: MGU, publishing house «DIS», 1997. – 368 p.
17. *Vasilev S.N.* «Modeling and control of regional development processes». – Moscow: FIZMATLIT, 2001. – 432 p.
18. «Simulation approach to studying of large power grid systems». – Irkutsk: SEI, 1986. – 171 p.
19. *Diligensky N.V., Salov A.G., Gavrilova A.A.* «Model analysis of sustainability of regional power grid system in an emerging of market economy». – Kazan: materials of International Symposium on «Energy-resource effectiveness u energy conservation», Part II, 2008. – p. 305–312.

УДК 620.193

## ПРИМЕНЕНИЕ ENO-АЛГОРИТМОВ СПЛАЙНОВОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА НЕФТЕЙ

*С.Б. Коныгин, Д.А. Крючков*

Самарский государственный технический университет  
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы интерполяции фракционных составов нефтей и нефтепродуктов при моделировании технологических процессов в нефтегазовой отрасли. Для аппроксимации разгонок с небольшим количеством экспериментальных точек предложено использовать ENO-сплайны. Их применение позволяет исключить возникновение осцилляций и появление псевдокомпонентов с отрицательным содержанием. Данный подход был реализован в программной платформе для моделирования и расчета процессов и аппаратов «МиР ПиА». Продемонстрировано использование ENO-сплайнов на конкретном примере разгонки нефти. Показано хорошее совпадение результатов интерполяции с имеющимися экспериментальными данными. Также продемонстрировано использование ENO-сплайнов для решения обратной задачи – построения кривых кипения по компонентному составу потоков.

**Ключевые слова:** моделирование технологических процессов, фракционный состав нефтей, ENO-сплайны.

В настоящее время расчет и проектирование технологических установок подготовки и переработки нефти тесно связаны с использованием различных программных продуктов, позволяющих моделировать технологические процессы [1–3]. Одной из существенных проблем при моделировании является формирование адекватных исходных данных. Применительно к процессам переработки нефти ключевым моментом является создание моделей фракционного состава.

Проблема заключается в том, что в паспортах качества нефти и нефтепродуктов преимущественно используется разгонка по ГОСТ 2177-99. Данный стандарт рекомендует проводить измерения температур начала кипения, конца кипения, точек 5 и 95 % отгона, а также при кратном 10%-ном отгоне от 10 до 90 % включительно. Однако для проведения точных технологических расчетов желательно использовать фракционный состав с более узким разбиением на фракции (с шагом порядка 10 °С), которые в современных программных продуктах моделируются с помощью псевдокомпонентов.

В существующих программных продуктах указанная проблема решается с помощью различных методов аппроксимации кривых фракционного состава [4]. Существуют подходы, использующие как линейную аппроксимацию, так и полиномы различных степеней. Существенным недостатком указанных методов является возможность появления осцилляций, т. е. участков разгонки, на которых с ростом температуры доля отгона уменьшается (рис. 1). При использова-

---

*Коныгин Сергей Борисович (д.т.н., доцент), заведующий кафедрой «Машины и оборудование нефтегазовых и химических производств».*

*Крючков Дмитрий Александрович (к.т.н.), доцент кафедры «Машины и оборудование нефтегазовых и химических производств».*

нии такой аппроксимации разбиение разгонки будет содержать псевдокомпоненты с отрицательной долей.

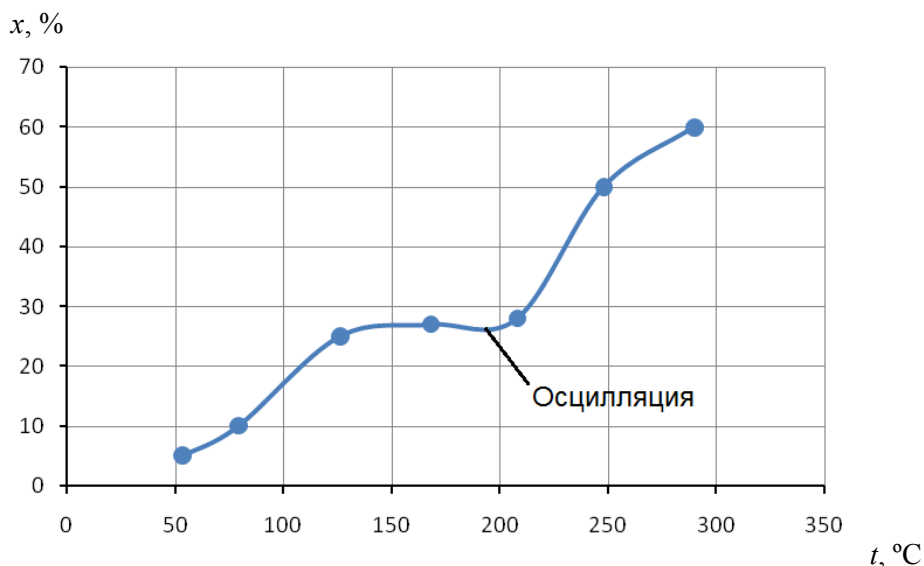


Рис. 1. Пример осцилляции, возникающей при аппроксимации фракционного состава

Все вышесказанное ставит задачу поиска альтернативных алгоритмов аппроксимации фракционного состава нефтей.

Для решения данной проблемы авторами данной статьи предлагается использовать ENO-алгоритмы сплайновой интерполяции (Essentially NonOscillating – существенно неосциллирующие) [4–11]. Данные подходы к сплайновой интерполяции позволяют избежать осцилляций внутри аппроксимируемого интервала.

Исходная разгонка представляет собой совокупность точек  $[x_i, t_i]$ , где  $x_i$  – доля отгона, а  $t_i$  – соответствующая температура выкипания. При этом на каждом интервале для аппроксимации кривой кипения используется выражение [5]

$$t(x) = t_{i-1} \left( 1 - 3\xi^2 + 2\xi^3 \right) + t_i \left( 3\xi^2 - 2\xi^3 \right) + \left[ v_{i-1} \left( \xi - 2\xi^2 + \xi^3 \right) + v_i \left( \xi^3 - \xi^2 \right) \right] h_{i-1/2}, \quad (1)$$

где  $\xi = \frac{x - x_{i-1}}{h_{i-1/2}}$ .

Значения коэффициентов  $v_i$ ,  $v_{i-1}$ ,  $h_{i-1/2}$  находятся путем решения системы линейных уравнений [5]

$$\begin{aligned} & \frac{v_{i-1} p_i}{h_{i-1/2}} + (3 - p_i) z_i v_i + \frac{v_{i+1} p_i}{h_{i+1/2}} = \\ & = 3MM \left( \gamma \delta_{i+1/2} z_i, \frac{\delta_{i-1/2}}{h_{i-1/2}} + \frac{\delta_{i+1/2}}{h_{i+1/2}}, \gamma \delta_{i-1/2} z_i \right). \end{aligned} \quad (2)$$

Данная система может быть решена с помощью метода прогонки. Величины, входящие в систему (2), определяются формулами

$$MM(a, b, c) = \max[-d, \min(b, d)], \quad d = \min(|a|, |c|), \quad (3)$$

$$z_i = \frac{1}{h_{i-1/2}} + \frac{1}{h_{i+1/2}}, \gamma = \sqrt{2}, \quad (4)$$

$$p_i = \min \left[ 1, \frac{\gamma \min(|\delta_{i+1/2}|, |\delta_{i-1/2}|) z_i}{\frac{|\delta_{i+1/2}|}{h_{i+1/2}} + \frac{|\delta_{i-1/2}|}{h_{i-1/2}}} \right] \quad (5)$$

$$h_{i+1/2} = x_{i+1} - x_i, h_{i-1/2} = x_i - x_{i-1}, \quad (6)$$

$$\delta_{i+1/2} = \frac{t_{i+1} - t_i}{h_{i+1/2}}, \delta_{i-1/2} = \frac{t_i - t_{i-1}}{h_{i-1/2}}. \quad (7)$$

Описанный подход к аппроксимации фракционного состава был реализован в программной платформе «МиР ПиА», которая предназначена для моделирования технологических процессов подготовки и переработки нефти и газа [12–15]. Полученная реализация ENO-алгоритмов позволила существенно повысить точность математического моделирования технологических установок и прогнозирования качества получаемых продуктов.

В рамках данной статьи рассмотрено сравнение результатов разбиения фракционного состава нефти в программной платформе «МиР ПиА» с экспериментальными данными [16]. Исходная углеводородная смесь характеризовалась плотностью 809 кг/м<sup>3</sup> и фракционным составом ИТК (истинная температура кипения), представленным в табл. 1.

Таблица 1

**Фракционный состав исходной смеси [16]**

%, масс.	ИТК, °С
5	52,9
10	79,0
20	125,9
30	168,2
40	208,3
50	248,4
60	290,3
70	335,8
80	386,6
90	444,6
96	483,4
98	497,1

На основании данного состава в программной платформе «МиР ПиА» была создана модельная разгонка, представляющая собой совокупность псевдокомпонентов. На рис. 2 представлено соответствующее окно для ввода исходных данных по фракционному составу.



Разгонка (Разгонка-1)

Параметры разгонки    Компоненты    График

Общие параметры

Параметр	Значение	Ед. изм.
Тип разгонки	ИТК (масс.)	
Состав легких компонентов	Нет	
Стандартная плотность	809	кг/м3
Вязкость при температуре 1		мПа.с
Температура 1		С
Вязкость при температуре 2		мПа.с
Температура 2		С
Количество псевдокомпонентов	50	

Состав легких компонентов

Название компонента	Темп. кипения	Учет	Доля
	С		% масс.

Кривые фракционного состава и свойств

Доля отгона  
 Плотность

Температура	Значение величины
С	%
52.9	5
79	10
125.9	20
168.2	30
208.3	40
248.4	50
290.3	60

Модели псевдокомпонентов

Параметр	Метод расчета

Создать    ОК    Отмена

Рис. 2. Диалоговое окно для ввода исходных данных по фракционному составу

Разгонка (Разгонка-1)

Параметры разгонки    Компоненты    График

	Название компонента	Доля, % мол.	Темп. кипения, С	Крит. темп., С	Крит. давл., кгс/см2	Ацентр. фактор	Молек. масса, г/моль	Станд. плотн., кг/м3	Динам. вязк., мПа.с
1	ПК-1-15	2.2224	15.468	180.138	42.356	0.205	63.381	670.940	0.204
2	ПК-1-25	2.5759	25.428	192.434	40.784	0.217	67.326	678.572	0.218
3	ПК-1-35	2.7693	35.389	204.491	39.289	0.229	71.392	686.035	0.235
4	ПК-1-45	3.3444	45.350	216.325	37.867	0.243	75.582	693.339	0.254
5	ПК-1-55	4.3006	55.310	227.952	36.513	0.257	79.901	700.493	0.275
6	ПК-1-65	3.8835	65.271	239.387	35.223	0.271	84.349	707.503	0.299
7	ПК-1-75	2.9738	75.231	250.642	33.993	0.286	88.933	714.378	0.326
8	ПК-1-85	2.8312	85.192	261.729	32.818	0.302	93.653	721.122	0.357
9	ПК-1-95	3.2060	95.152	272.658	31.696	0.318	98.516	727.743	0.391
10	ПК-1-105	3.6428	105.113	283.440	30.623	0.334	103.524	734.245	0.430
11	ПК-1-115	3.9219	115.074	294.082	29.597	0.351	108.681	740.634	0.474
12	ПК-1-125	3.7478	125.034	304.594	28.614	0.369	113.993	746.914	0.524
13	ПК-1-135	3.3569	134.995	314.983	27.672	0.386	119.463	753.091	0.581
14	ПК-1-145	3.0950	144.955	325.255	26.770	0.404	125.097	759.168	0.646
15	ПК-1-155	2.9324	154.916	335.417	25.904	0.423	130.899	765.150	0.720
16	ПК-1-165	2.8508	164.877	345.475	25.073	0.442	136.874	771.039	0.806
17	ПК-1-175	2.8217	174.837	355.435	24.275	0.461	143.029	776.840	0.905
18	ПК-1-185	2.7778	184.798	365.300	23.508	0.480	149.367	782.555	1.019
19	ПК-1-195	2.7044	194.758	375.076	22.770	0.499	155.895	788.188	1.152
20	ПК-1-205	2.6004	204.719	384.768	22.060	0.519	162.620	793.742	1.308

Создать    ОК    Отмена

Рис. 3. Результаты разбиения разгонки на псевдокомпоненты

Для возможности сравнения результатов моделирования с экспериментальными данными модельная разгонка была разбита на 50 псевдокомпонентов. Шаг выкипания модельных узких фракций (псевдокомпонентов) определялся через температуры начала  $t(0)$  кипения и конца  $t(1)$  кипения смеси и количество псевдокомпонентов  $N$  следующим образом:

$$\Delta t = \frac{t(1) - t(0)}{N}. \quad (8)$$

Для определения содержания отдельных псевдокомпонентов проводилась еще одна процедура интерполяции  $x(t)$  по формулам (1) – (7), но уже совокупности точек  $[t_i, x_i]$ . В результате доля  $i$ -го псевдокомпонента вычисляется через зависимость  $x(t)$  по формуле

$$m_i = x(t_{ki}) - x(t_{ni}), \quad (9)$$

где температуры начала и конца кипения узких фракций равны

$$t_{ni} = t(0) + (i - 1)\Delta t; \quad (10)$$

$$t_{ki} = t(0) + i\Delta t. \quad (11)$$

Температура кипения псевдокомпонента определялась как среднее значение между началом и концом кипения узкой фракции:

$$T_i = \frac{t_{ki} + t_{ni}}{2}. \quad (12)$$

Это позволило получить модельные узкие фракции с шагом выкипания  $10^\circ\text{C}$ . Данные по полученным псевдокомпонентам представлены на рис. 3.

К настоящему моменту определенной проблемой остается экстраполяция начальных и конечных участков кривых разгонки для случаев, когда не заданы точки начала и конца кипения. Такая ситуация, например, зачастую возникает при моделировании установок подготовки нефти, когда данные по фракционному составу исходной нефти весьма ограничены.

В рамках реализованного подхода данную экстраполяцию предлагается проводить с помощью квадратичной зависимости  $t(x)$ . Значения ее коэффициентов определяются из условий непрерывности аппроксимирующей функции  $t(x)$  и ее первой производной  $dt/dx$  для крайних экспериментальных точек разгонки. Так, для экстраполяции начального участка кривой кипения используются следующие условия:

$$t(x_1) = t_1; \quad (13)$$

$$\frac{dt(x_1)}{dx} = \frac{t_2 - t_1}{x_2 - x_1}. \quad (14)$$

Результаты сплайновой итерполяции, полученные с помощью ENO-алгоритма, представлены на рис. 4. Также на нем нанесены исходные данные и сформированные псевдокомпоненты. Из рассмотрения рис. 3 видно, что полученная модельная кривая ИТК хорошо совпадает с исходными данными по фракционному составу смеси.

Для подтверждения адекватности аппроксимации было проведено сравнение содержания узких фракций, полученных экспериментально [16] и в результате

моделирования в программной платформе «МиР ПиА». Данные сравнительного анализа представлены в табл. 2. Из рассмотрения данных табл. 2 можно сделать вывод о хорошем согласовании между расчетными и экспериментальными данными.

Помимо разбиения разгонки на псевдокомпоненты очень часто необходимо решение обратной задачи – построение кривой кипения по известному компонентному составу. Здесь процедура интерполяции проводится по формулам (1) – (7) для совокупности точек  $[M_j, T_j]$ . Здесь  $j$  – номера псевдокомпонентов, отсортированных в порядке возрастания температуры кипения  $T_j$ . Величина  $M_j$ , равная суммарному содержанию псевдокомпонентов до  $j$ -го включительно, определяется по формуле

$$M_j = \sum_{k=1}^j \frac{m_{k-1} + m_k}{2}, \quad m_0 = 0. \quad (15)$$

В качестве примера можно привести прогнозирование фракционных составов бензина, дизельного топлива и т. д., проводимое по результатам моделирования технологических установок.

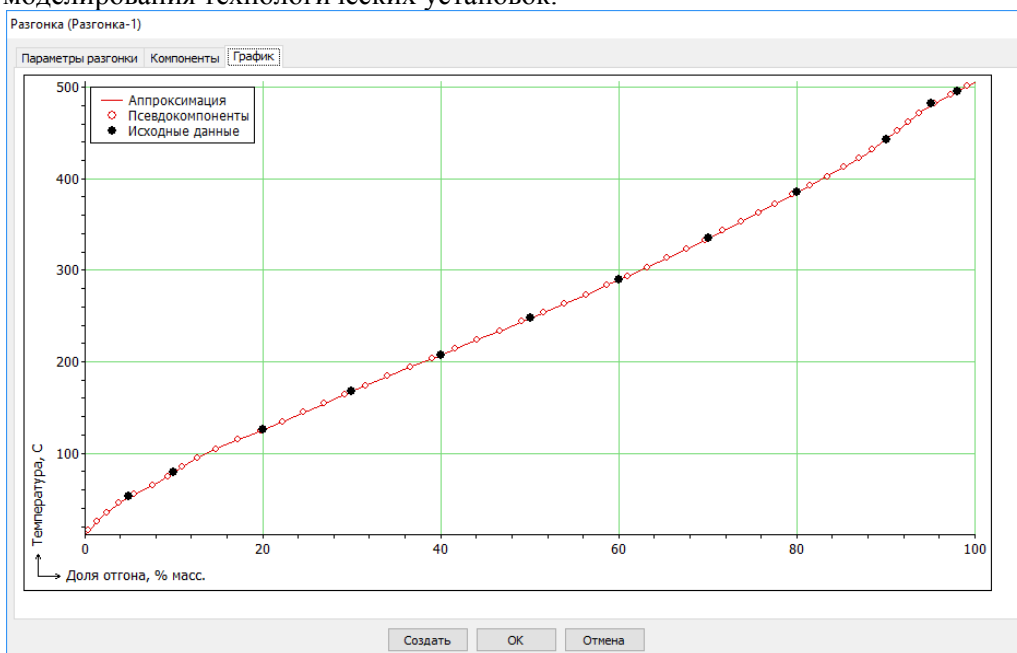


Рис. 4. Результаты сплайновой интерполяции, полученные с помощью ENO-алгоритма

Использование представленного ENO-алгоритма сплайновой интерполяции для решения данной задачи также приводит к хорошему совпадению кривой ИТК с долями псевдокомпонентов. На рис. 5 представлены результаты формирования кривых ИТК из индивидуальных псевдокомпонентов на примере процесса сепарации исходной смеси.

Кривые ИТК, полученные с помощью ENO-сплайнов, также могут быть пересчитаны в другие типы разгонок, используемых в процессах переработки нефти (рис. 5).

## Результаты сравнения экспериментальных [16] и расчетных данных

№	Фракция	Эксперимент		Расчет (МиР ПиА)			
		Выход, % масс.		Выход, % масс.		Абсолютная ошибка	Относительная ошибка
		Отд. фр.	Сумм.	Отд. фр.	Сумм.		
1	НК–60	5,570	5,570	6,639	6,639	1,069	0,192
2	60–70	1,510	7,080	1,962	8,601	1,521	0,215
3	70–80	1,760	8,840	1,584	10,185	1,345	0,152
4	80–90	2,130	10,970	1,588	11,773	0,803	0,073
5	90–100	2,600	13,570	1,892	13,665	0,095	0,007
6	100–110	2,840	16,410	2,259	15,924	0,486	0,030
7	110–120	2,780	19,190	2,553	18,477	0,713	0,037
8	120–130	2,610	21,800	2,559	21,036	0,764	0,035
9	130–140	3,030	24,830	2,402	23,438	1,392	0,056
10	140–150	3,080	27,910	2,319	25,757	2,153	0,077
11	150–160	2,860	30,770	2,299	28,057	2,713	0,088
12	160–170	2,540	33,310	2,337	30,394	2,916	0,088
13	170–180	2,280	35,590	2,417	32,811	2,779	0,078
14	180–190	2,450	38,040	2,485	35,297	2,744	0,072
15	190–200	2,270	40,310	2,525	37,822	2,488	0,062
16	200–210	2,110	42,420	2,533	40,355	2,065	0,049
17	210–220	2,060	44,480	2,515	42,870	1,610	0,036
18	220–230	2,070	46,550	2,493	45,362	1,188	0,026
19	230–240	2,390	48,940	2,470	47,832	1,108	0,023
20	240–250	2,290	51,230	2,447	50,279	0,951	0,019
21	250–260	2,190	53,420	2,422	52,701	0,719	0,013
22	260–270	2,140	55,560	2,394	55,095	0,465	0,008
23	270–280	2,190	57,750	2,363	57,458	0,292	0,005
24	280–290	2,220	59,970	2,329	59,787	0,183	0,003
25	290–300	2,450	62,420	2,291	62,079	0,341	0,005
26	300–310	2,400	64,820	2,244	64,323	0,497	0,008
27	310–320	2,890	67,710	2,188	66,510	1,200	0,018
28	320–330	2,910	70,620	2,124	68,635	1,985	0,028
29	330–340	2,860	73,480	2,057	70,691	2,789	0,038
30	340–350	2,210	75,690	1,997	72,688	3,002	0,040
31	350–360	2,080	77,770	1,958	74,646	3,124	0,040
32	360–370	1,990	79,760	1,938	76,585	3,175	0,040
33	370–380	2,120	81,880	1,936	78,520	3,360	0,041
34	380–390	2,090	83,970	1,949	80,469	3,501	0,042
35	390–400	2,100	86,070	1,951	82,420	3,650	0,042
36	400–450	–	–	6,768	89,188	–	–
37	Остаток	13,930	100,000	10,812	100,000	–	–
Сумма	100,000		100,000	–	–	–	–

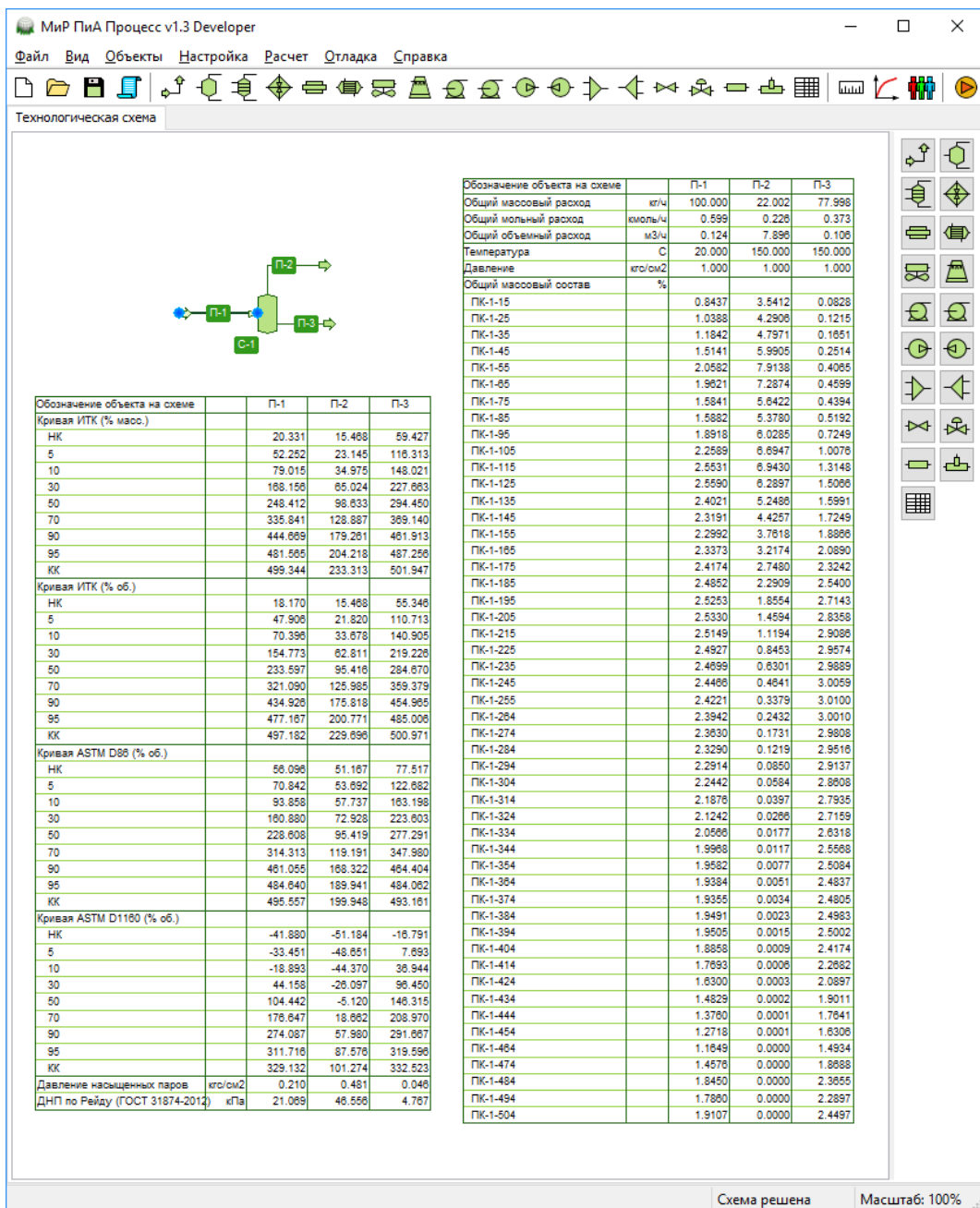


Рис. 5. Результаты формирования кривых кипения материальных потоков, полученные с помощью ENO-алгоритма

Опыт моделирования технологических процессов в программной платформе «Мир ПиА» показал, что использованный ENO-алгоритм характеризуется хорошим быстродействием. Это позволяет использовать его при моделировании сложных технологических установок с большим количеством материальных потоков и разбиением фракционного состава углеводородного сырья на большое количество псевдокомпонентов. Все сказанное позволяет сделать вывод о целесообразности использования ENO-алгоритмов сплайновой интерполяции в про-

граммных продуктах для моделирования технологических процессов нефтегазовой отрасли.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Николаев Е.В., Харламов С.Н. Исследование сепарационных процессов углеводородных многокомпонентных систем в режимах функционирования оборудования предварительной подготовки нефти // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2016. – Т. 327. – № 7. – С. 84–99.
2. Щербинин И.А., Уржумова А.М., Суллагаев А.В. Моделирование процессов подготовки конденсата в среде HYSYS // Нефтяное хозяйство. – 2004. – № 3.
3. Чернышев С.В., Фахретдинов И.З., Тарасов М.Ю., Иванов С.С. Особенности расчетов материально-тепловых балансов процессов сбора, подготовки и транспорта нефти и газа в среде HYSYS // Нефтяное хозяйство. – 2014. – № 10. – С. 118–120.
4. Квасов Б.И. Методы изогеометрической аппроксимации сплайнами. – М.: Физматлит, 2006. – 306 с.
5. Пинчуков В.И. ENO- и WENO-алгоритмы сплайновой интерполяции // Вычислительные технологии. – 2009. – Т. 14. – № 4. – С. 100–107.
6. Pizatella R.M., Stanco F., Santaera C. ENO/WENO Interpolation methods for the zooming of digital images // Communications to SIMAI Congress. – Vol. 1 (2006).
7. Andrew K. Henrick, Tariq D. Aslam, Joseph M. Powers. Mapped weighted essentially non-oscillatory schemes: Achieving optimal order, Journal of Computational Physics 207 (2005), pp. 542–567.
8. Carlini E., Ferretti R., Russo G. A Weighted Essentially Non-oscillatory, large time-step scheme for Hamilton–Jacobi Equations, SISC, Vol. 27 Issue 3 (2005), pp. 1071–1091.
9. Steve Bryson, Doron Levy. High-Order Central Weno Schemes for multidimensional Hamilton-Jacobi equations, SIAM J. NUMER. ANAL. Vol. 41, No. 4 (2003), pp. 1339–1369.
10. Wang Z.J., Chen R.F. OWENO Schemes for Linear Waves with Discontinuity, Journal of Computational Physics 174 (2001), pp. 381–404.
11. Chi-Wang Shu. Essentially Non-Oscillatory and Weighted Essentially Non-Oscillatory Schemes for Hyperbolic Conservation Laws, in Advanced Numerical Approximation of Nonlinear Hyperbolic Equations, edited by B. Cockburn, C. Johnson, C.-W. Shu, and E. Tadmor, Lect. Notes in Math. (Springer-Verlag, Berlin/New York, 1998), Vol. 1697, p. 325.
12. Коныгин С.Б., Крючков Д.А. Моделирование и расчет процессов и аппаратов (МиР ПиА). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015613176.
13. Иваняков С.В., Игнатенков Ю.И., Коноваленко Д.В. Моделирование работы пластинчатых теплообменников в системе двухконтурного водоснабжения // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2017. – № 2(54). – С. 196–199.
14. Иваняков С.В., Крючков Д.А. Применение программного продукта «МиР ПиА» для компьютерного моделирования систем сепарации нефти // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2018. – № 1(57). – С. 168–172.
15. Коныгин С.Б. Моделирование регулирующих клапанов в программном продукте «МиР ПиА» // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2018. – № 2(58). – С. 166–170.
16. Быстров А.И., Деменков В.Н., Хайрудинов И.Р. Подготовка и проведение расчетов процессов переработки нефтяного сырья. – Уфа: Изд-во ГУП ИНХП РБ, 2014. – 288 с.

Статья поступила в редакцию 14 сентября 2018 г.

## USING ENO ALGORITHMS OF SPLINE INTERPOLATION FOR OIL BOILING CURVES MODELING

**S.B. Konygin, D.A. Kryuchkov**

Samara State Technical University  
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

---

*Sergey B. Konygin (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.  
Dmitriy A. Kryuchkov (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.*

**Abstract.** This paper is about oil boiling curves interpolation used in the gas and oil refining processes modeling. Authors of this paper offer to use ENO splines for the approximation of boiling curves with few experimental points. It allows to exclude oscillations of the interpolation polynomial and the occurrence of components with the negative fractions. This idea was realized in the program platform for modeling and calculation of the processes and devices “MiR PiA”. The testing of these ENO algorithms using one example has shown the convergence between the modeling results and the experimental data. Furthermore, ENO splines can be used for creating the boiling curves from the stream compositions.

**Keywords:** modeling of technological processes, oil distillation curves, ENO splines

#### REFERENCES

1. Nikolayev E.V., Kharlamov S.N. Research of multicomponent hydrocarbon systems separation in modes of functioning of oil preliminary preparation equipment // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 2016. V. 327. 7. 84–99.
2. Scherbinin I.A., Urzhumova A.M., Sullagaev A.V. Modeling of the condensate threatening process using HYSYS // Oil industry, 2004. – № 3.
3. Chernyshov S.V., Fakhretdinov I.Z., Tarasov M.Yu., Ivanov S.S. Features of calculations of heat and material balances of the collection, treatment and transportation of oil and gas in the environment of HYSYS // Oil industry, 2014. – № 10. – C. 118–120.
4. Kvasov B.I. Methods of shape preserving spline approximation. – M.: Fizmatlit, 2006. – 306 p.
5. Pinchukov V.I. ENO and WENO algorithms of spline interpolation // Computational technologies, 2009. – V. 14. – № 4. – p. 100–107.
6. Pizatella R.M., Stanco F., Santaera C. ENO/WENO Interpolation methods for the zooming of digital images // Communications to SIMAI Congress, Vol. 1 (2006).
7. Andrew K. Henrick, Tariq D. Aslam, Joseph M. Powers. Mapped weighted essentially non-oscillatory schemes: Achieving optimal order, Journal of Computational Physics 207 (2005), pp. 542–567.
8. Carlini E., Ferretti R., Russo G. A Weighted Essentially Non-oscillatory, large time-step scheme for Hamilton–Jacobi Equations, SISC, Vol. 27 Issue 3 (2005), pp. 1071–1091.
9. Steve Bryson, Doron Levy. High-Order Central Weno Schemes for multidimensional Hamilton–Jacobi equations, SIAM J. NUMER. ANAL. Vol. 41, No. 4 (2003), pp. 1339–1369.
10. Wang Z.J., Chen R.F. OWENO Schemes for Linear Waves with Discontinuity, Journal of Computational Physics 174 (2001), pp. 381–404.
11. Chi-Wang Shu. Essentially Non-Oscillatory and Weighted Essentially Non-Oscillatory Schemes for Hyperbolic Conservation Laws, in Advanced Numerical Approximation of Nonlinear Hyperbolic Equations, edited by B. Cockburn, C. Johnson, C.-W. Shu, and E. Tadmor, Lect. Notes in Math. (Springer-Verlag, Berlin/New York, 1998), Vol. 1697, p. 325.
12. Konygin S.B., Kryuchkov D.A. Modeling and calculation of processes and devices (MiR PiA). Patent № 2015613176.
13. Ivanyakov S.V., Kryuchkov D.A. Application of MiR PiA software for computer modeling of oil separation systems // Vestnik of Samara state technical university. Technical Sciences Series, 2018. – № 1 (57). – p. 168–172.
14. Ivanyakov S.V., Ignatenkov Y.I., Konovalenko D.V. Modeling of the plate heat exchangers in the double-circuit water-supply system // Vestnik of Samara state technical university. Technical Sciences Series, 2017. – № 2(54). – p. 196–199.
15. Konygin S.B. Control valves modeling using the MiR PiA software // Vestnik of Samara state technical university. Technical Sciences Series, 2018. – № 2(58). – p. 166–170.
16. Bystrov A.I., Demenkov V.N., Khairudinov I.R. Preparation and conduct the calculation of the oil refining processes. – Ufa, GUP INHP RB? 2014. – 288 c.

УДК 004.891

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КОМПЕТЕНТНОСТИ ЭКСПЕРТОВ

*П.Г. Марычева*

Самарский государственный технический университет  
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

**Аннотация.** *Рассматривается важность и эффективность оценки квалификации экспертов, их отбора для проведения экспертных оценок на этапе планирования проекта. Проведен анализ литературы, научных публикаций, существующих решений и методов оценки компетентности экспертов с применением метода иерархий. Предложены критерии, точно отражающие характеристики данного эксперта, то, насколько он подходит для проведения данной экспертной оценки, и позволяющие максимально эффективно провести оценку его компетентности. Рассмотрено применение метода анализа иерархий для решения данной задачи, его положительные и отрицательные стороны относительно применения оценки компетентности. Разработана методика оценки квалификации экспертов с применением метода анализа иерархий. Описан алгоритм принятия решения с применением разработанного метода, а также факторы, влияющие на компетентность эксперта, такие как опыт работы, количество успешно проведенных экспертиз, качество выполнения тестового задания, соответствие образования, оценка эксперта рабочей группой. Приведен пример расчета разработанным методом, отбора наиболее подходящего эксперта согласно предложенным характеристикам, проведено сравнение расчетов разработанным методом с классическим расчетом методом анализа иерархий, рассчитана точность метода и его погрешность. По результатам сравнения разработанный метод обладает большей точностью, гибкостью и быстротой расчетов по сравнению с методом анализа иерархий. Предложенный метод обладает необходимой точностью и небольшой относительной погрешностью и может применяться для оценки компетентности экспертов и других задач, к которым применим метод анализа иерархий.*

**Ключевые слова:** *компетентность экспертов, оценка квалификации, экспертная оценка, критерии оценки, критерии компетентности, квалификация эксперта, метод анализа иерархий, метод оценки компетентности.*

### Введение

В настоящее время метод экспертных оценок широко применяется в различных областях производства в случаях, когда стандартные методы решения неприменимы или не могут дать достаточно эффективного результата. Экспертное оценивание применяется при прогнозировании и перспективном планировании, когда нет точных и достаточных статистических данных о планируемом виде деятельности в узкой специализации, а также если существует несколько вариантов решений без существующего прецедента и требуется выбор одного наиболее эффективного решения в конкретной ситуации [1]. В данной работе рассматривается проблема определения уровня компетентности экспертов, дающих такие оценки, от которого, соответственно, напрямую зависят качество и достоверность оценок.

При использовании такого метода, как экспертные оценки, также обязательно следует учитывать тот факт, что при формировании данной оценки единственным



источником информации является сам эксперт, его знания, опыт, квалификация и субъективное мнение. Несмотря на кажущуюся необъективность подобных характеристик, зачастую в прикладном применении экспертные оценки могут являться одним из самых эффективных, быстрых и точных инструментов принятия решений. Для повышения точности оценок целесообразно учитывать мнения нескольких экспертов [2]. Однако если эксперты не обладают необходимой квалификацией или достаточным опытом в рассматриваемой области, экспертная оценка может не только не представлять никакой производственной ценности, но и существенно навредить всему производственному процессу, многократно увеличить сроки его исполнения и нанести крупный экономический ущерб [3, 4].

В связи с указанной проблемой при выборе экспертов важность и актуальность определения их компетентности для проведения экспертизы трудно переоценить. Такие факторы, как недостаточность информации, стохастический (вероятностный) характер информации, новизна области экспертизы, также дополнительно усложняют задачу экспертов и соответственно их отбор [5].

Для проведения экспертизы необходимо отобрать наиболее компетентных и опытных в рассматриваемой объектной области экспертов, чьи оценки будут обладать наивысшей точностью и объективностью, результатом чего станут наиболее эффективные и экономически выгодные решения.

Анализ существующих научных источников по данной проблеме – оценивание компетентности и качества экспертных оценок – выявил, что проблема оценки качества экспертов пока не может считаться полностью решенной. Некоторые авторы считают, что это объясняется отсутствием системного подхода к решению данной проблемы [6]. Также причина, возможно, заключается в узком спектре рассмотрения свойств, характеризующих эксперта, без их обоснования и без указания взаимосвязи между ними – например, объективность, компетентность, беспристрастность. Для количественной оценки качества эксперта нужно прежде всего получить частные оценки отдельных свойств, от которых это качество зависит. Большинство же предложенных в научной литературе и используемых на практике методов предназначено для оценки не какого-либо одного, а нескольких частных свойств [7].

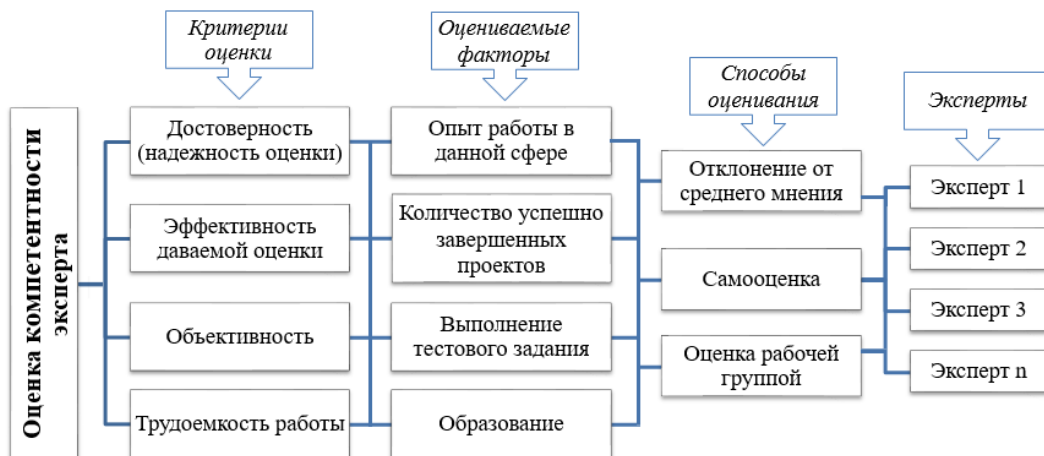
В рассмотренной литературе наиболее развернутая структура понятия «качество эксперта» предложена в работе [6], в которой отражены связи между всеми факторами, влияющими на итоговую оценку.

Авторы данной работы делят характеристики оценки качества эксперта на несколько групп: объективность, надежность (достоверность), трудоемкость, влияние на результат оценивания. Каждая из групп, в свою очередь, содержит в себе несколько свойств. Авторы также описывают методы вычисления качества и получения комбинированных оценок в виде взвешенной суммы. Из вышеизложенного представляется необходимым реализовать оценку качества эксперта с использованием многокритериального оценивания. В работе [8] рассмотрены критерии сравнения наиболее применяемых методов оценки качества экспертов.

На основе исследованных источников [1, 9], а также предлагаемых критериев оценки был составлен следующий алгоритм оценки компетентности экспертов (см. рисунок).

Алгоритм, представленный на рисунке, позволяет всесторонне оценить компетентность эксперта, учитывая критерии оценки эксперта, критерии оценки квалификации эксперта и способы оценивания, отражающие то, кем именно дается данная оценка. Предложенный алгоритм отражает полный цикл оценивания ком-

петентности эксперта. Однако он не рассматривает методы, применяемые для расчетов коэффициентов компетентности экспертов и их последующего сравнения.



Оценка компетентности экспертов

Анализ существующих решений показал [3, 10], что наиболее распространенным методом для решения аналогичных задач отбора экспертов является метод анализа иерархий (МАИ) [11], который используется в большинстве таких случаев.

Метод анализа иерархий был создан в 70-х годах XX века. Изначально он был разработан для анализа и принятия решений в сложных условиях при многокритериальной оценке [1]. Метод получил широкое распространение и применяется во многих случаях в ситуациях принятия решений.

Принятие решений методом МАИ подразумевает постановку задачи и разделение ее на малые составные части. Обязательным элементом данного метода является построение иерархии критериев и уровней поставленной задачи [14]. Вес факторов (значимость критериев) определяется методом парных сравнений – каждый фактор сравнивается со всеми факторами поочередно и определяется их важность и значимость относительно поставленной цели [1, 15]. Для каждого фактора определяется его вес, отражающий его относительную значимость и влияние на решение поставленной задачи.

Метод подходит для решения задач такого рода, поскольку его основной чертой является расчет коэффициента для каждого кандидата, а также потому что метод позволяет учитывать произвольное количество влияющих факторов [1, 11]. В данной статье мы будем пользоваться комбинированным методом, в основе которого лежит метод анализа иерархий.

Алгоритм принятия решений разработанным методом иерархий для отбора наиболее компетентных экспертов (выборка М) с наивысшим коэффициентом компетентности Q из уже заранее определенной выборки всех подходящих для оценивания экспертов (выборка N) будет состоять из следующих этапов:

1. *Определение всех факторов, влияющих на общую оценку компетентности эксперта и имеющих значение при решении поставленной практической задачи.*

2. Составление лицом, принимающим решение о выборе экспертов, тестового задания для оценивания прикладных навыков эксперта в числовом значении. Тестовое задание должно охватывать все профессиональные области, для которых требуется экспертная оценка в поставленной задаче.
3. Первичное определение компетентности экспертов по вышеопределенным факторам (без вектора приоритетов): расчет весовой оценки по каждому  $j$ -фактору для каждого  $i$ -эксперта.
4. Вычисление значений вектора приоритетов факторов.
5. Расчет окончательного коэффициента компетентности  $Q$  с учетом вектора приоритетов факторов и расчет на его основе компетентности каждого эксперта.
6. Определение экспертов с наиболее высокими коэффициентами компетентности  $Q$  – формирование выборки  $M$  [12].

После анализа факторов, потенциально влияющих на качество эксперта и его оценки, мы предлагаем оценивать экспертов по следующим факторам:

1. Опыт работы в сфере проведения экспертизы. Здесь следует считать только опыт в узкой специализации.
2. Количество успешно проведенных экспертиз в требуемой сфере за последние 5 лет. Имеются в виду все экспертизы, которые после реализации проекта оказались достоверными и соответствовали данной экспертной оценке.
3. Соответствие образования профилю работы. Учитывается не только высшее образование, но и дополнительное образование, курсы повышения квалификации, а также возможные научные труды или ученая степень по соответствующей направленности.
4. Оценка за решение тестового задания. Данному фактору можно присвоить достаточно большой вес, поскольку он в большой степени отражает требования ЛПП к эксперту и решению поставленной задачи.
5. Оценка эксперта рабочей группой по 4-балльной шкале. Данная субъективная оценка дается специалистами, осуществляющими реализацию проекта. Это субъективная оценка соответствия данного эксперта решению поставленной задачи. В качестве ориентировочных значений можно применять следующие: 1 – совершенно не подходит; 2 – скорее не подходит; 3 – в целом подходит; 4 – совершенно точно подходит для выполнения данной оценки. Данный фактор может зависеть от личных соображений, а также быть не совсем точным, однако в ряде случаев фактически может положительно повлиять на отбор наиболее подходящих экспертов.

Для определения компетентности экспертов методом иерархий с учетом всех факторов необходимо сформировать соответствующую таблицу (табл. 1), учитывающую все факторы, принятые для определения компетентности.

Веса факторов, влияющих на компетентность экспертов

Фактор	Вес фактора		
	<b>Ф1.</b> Опыт работы в сфере проведения экспертизы, лет	до 1 года	от 1 до 5 лет
	0,1	0,4	0,5
<b>Ф2.</b> Количество успешно проведенных экспертиз в требуемой сфере за последние 5 лет	отсутствует	от 1 до 10	свыше 10
	0,1	0,4	0,5
<b>Ф3.</b> Процент выполнения тестового задания, %	от 0 до 33	от 33 до 66	от 66 до 100
	0,1	0,3	0,6
<b>Ф4.</b> Соответствие образования сфере проведения экспертизы	Не соотв., но есть соотв. курсы повышения квалификации	В/о соотв., но нет курсов повышения квалификации	В/о соотв., а также есть курсы повышения квалификации
	0,3	0,3	0,4
<b>Ф5.</b> Оценка эксперта рабочей группой по 4-балльной шкале	Средняя оценка от 1 до 2	Средняя оценка от 2 до 3	Средняя оценка от 3 до 4
	0,1	0,4	0,5

Рассчитываем веса компетентности  $i$ -эксперта по  $j$ -факторам до построения вектора приоритетов. Выполняется классическое построение матрицы, определяющей баллы, набранные  $i$ -м экспертом по  $j$ -факторам; вычисляется сумма баллов, набранных  $i$ -экспертом по всем факторам [12]:  $\text{Sum}X_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}$ . Суммируем баллы каждого фактора по всем экспертам:  $\text{Sum}\Phi_i = \sum_{i=1}^m a_{ij}$ . Теперь с помощью этих значений мы можем вычислить весовой коэффициент компетентности  $Q_i$  для каждого рассматриваемого  $i$ -эксперта по всем учитываемым факторам по следующей формуле:

$$Q_i = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}}$$

Для парного сравнения можно использовать девятибалльную шкалу Саати [1]:

- 1 – сравниваемые факторы имеют одинаковую значимость;
- 3 – немного более высокая значимость одного фактора по отношению к другому;
- 5 – высокая значимость одного фактора по отношению к другому;
- 7 – значительно более высокая значимость одного фактора по отношению к другому;
- 9 – абсолютная значимость фактора;
- 2, 4, 6, 8 – промежуточные значения.

В нашей работе мы будем пользоваться аналогичной обратной шкалой Саати. Составляем матрицу сравнения и на основании нее составляем таблицу (табл. 2) весовых коэффициентов компетентности  $Q_i$  для каждого  $i$ -эксперта по всем рассматриваемым  $j$ -факторам.

Таблица 2

## Коэффициенты компетентности для каждого эксперта по факторам

Эксперты $i$	Факторы $\Phi_j$					Сумма баллов эксперта по всем факторам $\text{Sum}X_i$	Коэффициент компетентности $Q_i, \%$
	$\Phi_1$	$\Phi_2$	$\Phi_3$	$\Phi_4$	$\Phi_5$		
Эксперт 1	0.4	0.4	0.6	0.3	0.4	2.1	<b>11.93</b>
Эксперт 2	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	1.9	<b>10.80</b>
Эксперт 3	0.5	0.4	0.3	0.4	0.4	2	<b>11.36</b>
Эксперт 4	0.5	0.5	0.6	0.3	0.4	2.3	<b>13.07</b>
Эксперт 5	0.4	0.5	0.3	0.3	0.4	1.9	<b>10.80</b>
Эксперт 6	0.4	0.4	0.3	0.4	0.1	1.6	<b>9.09</b>
Эксперт 7	0.1	0.1	0.1	0.3	0.1	0.7	<b>3.98</b>
Эксперт 8	0.4	0.5	0.3	0.4	0.1	1.7	<b>9.66</b>
Эксперт 9	0.5	0.5	0.6	0.3	0.5	2.4	<b>13.64</b>
Эксперт 10	0.4	0.1	0.1	0.3	0.1	1	<b>5.68</b>
<b>Sum <math>\Phi_j</math></b>	<b>4</b>	<b>3.8</b>	<b>3.5</b>	<b>3.4</b>	<b>2.9</b>	<b>17.6</b>	<b>100.00</b>

Составим таблицу парных сравнений факторов (табл. 3), рассчитываем отношение факторов относительно друг друга, определяя при этом, какой из факторов имеет большее значение для построения выборки, а какой – меньшее. Далее рассчитаем среднее геометрическое для каждого фактора на основе парных сравнений согласно методу анализа иерархий. После этого можем рассчитать нормализованный вектор приоритетов  $V$  по формуле

$$V(\Phi_i) = \frac{G(\Phi_i)}{\sum_{i=1}^n \Phi_i}$$

Таблица 3

## Парное сравнение факторов и вектор приоритетов

Факторы	$\Phi_1$	$\Phi_2$	$\Phi_3$	$\Phi_4$	$\Phi_5$	Среднее геометрич., $G_i$	Нормализованный вектор приоритетов, $V_i, \%$
$\Phi_1$	1	0.2	0.33	7	7	1.265	15.28
$\Phi_2$	5	1	3	9	9	4.139	50.00
$\Phi_3$	3	0.33	1	9	7	2.286	27.61
$\Phi_4$	0.14	0.11	0.11	1	0.33	0.224	2.70
$\Phi_5$	0.14	0.11	0.14	3	1	0.365	4.41
<b>Sum <math>\Phi_i</math></b>	<b>9.28</b>	<b>1.75</b>	<b>4.58</b>	<b>29</b>	<b>24.33</b>	<b>8.278</b>	<b>100.00</b>

Из приведенной таблицы видно, что наибольшим весом обладает фактор № 2, следом идут факторы № 3 и 1, а факторы № 4 и 5 обладают гораздо меньшим весом. Следовательно, эксперты, имеющие преимущество по факторам № 2, 3 и 1, будут иметь гораздо больший коэффициент компетентности, нежели эксперты, имеющие преимущество по факторам № 4 и 5.

Проверка согласованности приоритетов:

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \text{Sum}\Phi_i * V(\Phi_i) = 5.4131.$$

Индекс согласованности

$$\text{ИС} = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = 0.1033.$$

Отношение согласованности

$$\text{ОС} = \frac{\text{ИС}}{\text{СС}} = 0.0922,$$

где СС – индекс случайной согласованности.

Значения СС в теории МАИ заранее вычислены для матриц каждого порядка, СС для матрицы порядка 5 СС = 1,12 [13]. Решение считается достоверным, если ОС ≤ 10–15 %, в противном случае нужно корректировать матрицы сравнения вариантов по критериям [13]. В нашем случае ОС = 9,2 %.

Далее согласно методу анализа иерархий должно следовать попарное сравнение вариантов для каждого критерия по каждому эксперту.

Однако согласно разработанной методике предлагается рассчитать приоритеты (критерии) с учетом веса факторов для каждого эксперта с учетом прямой зависимости, используя для этого рассчитанные выше коэффициенты компетентности экспертов  $\Phi_j$  (табл. 2) и вектор приоритетов  $V_i$  (табл. 3) для каждого значения каждого эксперта по каждому фактору по следующей формуле:

$$K_i = \Phi_i * V_i.$$

Результаты вычисления коэффициентов компетентности вышеописанным методом уже с учетом вектора приоритетов представлены в табл. 4.

Таблица 4

**Коэффициенты компетентности с учетом вектора приоритетов на основе разработанного метода расчета**

Эксперты $i$	Факторы $\Phi_i$					Сумма баллов эксперта по всем факторам $\text{Sum}X_i$	Коэффициент компетентности $Q_i, \%$
	$\Phi_1$	$\Phi_2$	$\Phi_3$	$\Phi_4$	$\Phi_5$		
Эксперт 1	0.0611	0.2000	0.1657	0.0081	0.0176	0.4525	<b>12.24</b>
Эксперт 2	0.0611	0.2000	0.0828	0.0108	0.0176	0.3724	<b>10.07</b>
Эксперт 3	0.0764	0.2000	0.0828	0.0108	0.0176	0.3877	<b>10.49</b>
Эксперт 4	0.0764	0.2500	0.1657	0.0081	0.0176	0.5178	<b>14.01</b>
Эксперт 5	0.0611	0.2500	0.0828	0.0081	0.0176	0.4197	<b>11.35</b>

Эксперты i	Факторы $\Phi_i$					Сумма баллов эксперта	Коэффициент компетентности $Q_i, \%$
Эксперт 6	0.0611	0.2000	0.0828	0.0108	0.0044	0.3592	<b>9.71</b>
Эксперт 7	0.0153	0.0500	0.0276	0.0081	0.0044	0.1054	<b>2.85</b>
Эксперт 8	0.0611	0.2500	0.0828	0.0108	0.0044	0.4092	<b>11.07</b>
Эксперт 9	0.0764	0.2500	0.1657	0.0081	0.0220	0.5222	<b>14.12</b>
Эксперт 10	0.0611	0.0500	0.0276	0.0081	0.0044	0.1512	<b>4.09</b>
<b>Sum<math>\Phi_i</math></b>	<b>0.611</b>	<b>1.900</b>	<b>0.966</b>	<b>0.091</b>	<b>0.127</b>	<b>3.6972</b>	<b>100.00</b>

Для сравнения методов произведем расчет классическим методом анализа иерархий: проведем попарное сравнение вариантов по каждому фактору отдельно, рассчитаем вектор приоритетов для каждого фактора для каждого эксперта, и на основании векторов рассчитаем коэффициент компетентности по формуле

$$K_i = V(\Phi_1) * V1(\text{норм}) + V(\Phi_2) * V2(\text{норм}) + \dots + V(\Phi_n) * Vn(\text{норм}),$$
где  $V(\text{норм})$  означает нормализованный вектор приоритетов.

Таблица 5

Расчет классическим методом анализа иерархий, сводная таблица

Эксперты	Вектор приоритетов для $\Phi_1, \%$	Вектор приоритетов для $\Phi_2, \%$	Вектор приоритетов для $\Phi_3, \%$	Вектор приоритетов для $\Phi_4, \%$	Вектор приоритетов для $\Phi_5, \%$
Эксперт 1	10.00	10.50	17.15	8.83	13.79
Эксперт 2	10.00	10.50	8.57	11.76	13.79
Эксперт 3	12.50	10.50	8.57	11.76	13.79
Эксперт 4	12.50	13.13	17.15	8.83	13.79
Эксперт 5	10.00	13.13	8.57	8.83	13.79
Эксперт 6	10.00	10.74	8.57	11.76	3.45
Эксперт 7	2.50	2.63	2.84	8.83	3.45
Эксперт 8	10.00	13.13	8.57	11.76	3.45
Эксперт 9	12.50	13.13	17.15	8.83	17.24
Эксперт 10	10.00	2.63	2.84	8.83	3.45
Итого	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Итак, сравним результаты расчетов классического метода анализа иерархий и разработанного нового метода (табл. 6).

## Сравнение рассчитанных коэффициентов компетентности

Классический расчет МАИ, %		Расчет разработанным методом, %	
Эксперт 9	14.21	Эксперт 9	14.12
Эксперт 4	14.05	Эксперт 4	14.01
Эксперт 1	12.36	Эксперт 1	12.24
Эксперт 5	11.31	Эксперт 5	11.35
Эксперт 8	10.93	Эксперт 8	11.07
Эксперт 3	10.45	Эксперт 3	10.49
Эксперт 2	10.07	Эксперт 2	10.07
Эксперт 6	9.73	Эксперт 6	9.71
Эксперт 10	4.02	Эксперт 10	4.09
Эксперт 7	2.87	Эксперт 7	2.85

Абсолютная погрешность между классическим методом расчетов анализа иерархий и разработанным методом составляет 0,367 %, относительная погрешность составляет 4,153 %. Как мы видим из произведенных расчетов, выборка и порядок наиболее подходящих экспертов при расчетах методом анализа иерархий и разработанным методом совпадают (в отличие от выборки до расчета вектора приоритетов). По итогам обоих расчетов выборка с учетом вектора приоритетов представляет собой следующую последовательность: № 9, 4, 1, 5, 8, 3, 2, 6, 10, 7. Наиболее подходящими являются эксперты 9, 4, 1, 5.

Как можно увидеть из вышеописанных расчетов, предложенный метод, построенный на основе метода анализа иерархий, позволяет рассчитать коэффициенты компетентности экспертов на основании поставленных критериев, сравнить экспертов и принять решение о выборе наиболее подходящего из них. Результирующая выборка в данном случае совпадает с выборкой, рассчитанной методом анализа иерархий, однако это не означает, что при других входных данных выборки также будут совпадать. Результирующие выборки рассматриваемых методов могут отличаться, однако рассчитанные погрешности позволяют предположить, что предложенный метод обладает достаточной точностью и эффективностью, а также большей скоростью расчетов по сравнению с методом анализа иерархий, и позволяет рассчитать необходимые коэффициенты компетентности каждого эксперта и определить на их основании наиболее подходящего для решения поставленной задачи.

### Заключение

На основании произведенных расчетов можно судить о возможности использования разработанного метода как альтернативного методу анализа иерархий. Разработанный метод и предложенные критерии оценки подходят для оценки компетентности и квалификации экспертов с целью определения наиболее подходящего эксперта и получения достоверной и эффективной экспертной оценки. Разработанный метод отличается преимуществом перед методом анализа иерархий, выражающимся в скорости и простоте расчета, вследствие того, что для него не требуется составлять таблицы попарных сравнений для каждого фактора, а ко-



личество действий после расчета вектора приоритетов уменьшается на  $(n-1)$ , где  $n$  – количество влияющих факторов (критериев). При этом погрешность данного метода позволяет предположить, что данный метод отличается достаточной для расчетов точностью и достоверностью. Метод может быть применен в широком ряде аналогичных случаев принятия решений, где требуется выбрать наиболее подходящее решение, учитывающее множество критериев, обладающих разным весом. Предложенный метод обладает гибкостью и может быстро варьироваться, учитывая новые условия и изменяя количество критериев и объектов под поставленные задачи, обладает необходимой точностью и небольшой относительной погрешностью и может применяться для оценки компетентности экспертов и других задач, к которым применим метод анализа иерархий.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993. – 19 с.
2. Литвак Б.Г. Экспертная информация. Методы получения и анализа. – М.: Радио и связь, 1982. – 184 с.
3. Климович Л.К., Ермольчик Е.В. Методы оценки персонала // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. – 2003. – № 2. – С. 52–54.
4. Калугин В.А., Монакова Е.А. Модели и методы мониторинга на предынвестиционной стадии жизненного цикла проекта // Научные ведомости БелГУ. – 2013. – № 22 (165). – С. 94–95.
5. Ларичев О.И. Анализ процессов принятия человеком решений при альтернативах, имеющих оценки по многим критериям (обзор) // Автоматика и телемеханика. – 1981. – № 8. – С. 131–135.
6. Азгальдов Г.Г., Костин А.В. Повышение достоверности результатов национально-международного конкурса: практический пример // Europe Middle East Africa Members' Meeting, Barcelona (Spain), 26–28 January 2012.
7. Путищева Н.П., Иерунова С.В., Бекетова Е.Ю., Капитан С.А. Разработка иерархической многокритериальной процедуры оценки качества экспертов // Сетевой журнал 40 «Научный результат». Сер. Информационные технологии. – 2016. – № 1(1). – С. 40–41.
8. Вендров А.М. Современные методы case-технологий и средства проектирования информационных систем. – М.: Финансы и статистика, 2008. – 176 с.
9. Азгальдов Г.Г., Костин А.В., Садовов В.В. Квалиметрия для всех: Учеб. пособие. – М.: ИнформЗнание, 2012. – 165 с.
10. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок: 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Статистика, 1980. – 263 с.
11. Середенко Н.Н. Развитие метода анализа иерархий (МАИ) // Открытое образование. – 2011. – № 2. – С. 39–41.
12. Петриченко Г.С., Петриченко В.Г. Методика оценки компетентности экспертов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 109 (05). – С. 6–8.
13. Ряскин А., Соболев С. Метод анализа иерархий при выборе программного обеспечения проектирования и производства электронных схем // Технологии в электронной промышленности. – 2012. – № 2. – С. 21–23.
14. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. – М.: Мир, 1973.
15. Чернышева Т.Ю. Модель многокритериальной оценки экспертов // Альманах современной науки и образования. – 2008. – № 9 (16). – С. 242–245.

Статья поступила в редакцию 10 октября 201 г.

# THE METHOD OF ASSESSMENT THE COMPETENCE OF EXPERTS

**P.G. Marycheva**

Samara State Technical University  
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

**Abstract.** *The paper presents experts qualification assessment, its importance and productivity, selection of experts for the expert evaluation at the project planning stage. The analysis of literature, scientific publications, existing solutions and methods for assessing the competence of experts using the hierarchy method is carried out. Criteria, accurately reflecting the characteristics of this expert are proposed, how suitable it is for this expert evaluation, which allow the most effective assessment of its competence. The application of the method of analysis of hierarchies is considered to solve this problem its positive and negative sides regarding the application of the competency assessment. The qualification assessment method was developed using analytic hierarchy process elements. Decision-making behavior was described with application of developed method; competence affecting factors also were described, such as work experience, number of successfully completed expert ratings, compliance of education with the scope of work, and workgroup characterization. An example of calculation by the developed method is given, selection of the most suitable expert, according to the offered characteristics the comparison of calculations by the developed method with the classical calculation method of analysis of hierarchies. Exemplified the developed-method calculation, was made a comparison with classical hierarchy analysis method. The proposed method has the necessary accuracy and a small relative error and can be used to assess the competence of experts and other tasks to which the hierarchy analysis method is applicable.*

**Keywords:** *competence of expert, qualification assessment, expert evaluation, evaluation criterion, criteria of competence, qualification of expert, analytic hierarchy process, competence assessment method.*

## REFERENCES

1. Saati T. (1993) *Prinyatie resheniy. Metod analiza ierarhiy [Decision making. Analytic hierarchy process]*. Moscow: Radio i svyaz', 19 p.
2. Litvak B. (1982) *Ekspertnaya informatsiya. Metodi polucheniya i analiza [Expert information. Methods of obtaining and analysis]*. Moscow: Radio i svyaz', 184 p.
3. Klimovich L., Ermolchik E. (2003) *Metodi ocenki personala [Methods of personnel assessment]*. Vestnik GGTU im. P.O. Suhogo no. 2, pp. 52–54.
4. Kalugin V., Monakova E. (2013) *Modeli i metodi monitoringa na predinvestitsionnoi stadia zhiznennogo cikla proekta [Models and methods of monitoring at the pre-investment stage of the project life cycle]*. Nauchnie vedomosti BelGU no. 22 (165), pp. 94–95.
5. Larichev O. (1981) *Analiz processov prinyatiya chelovekom reshenii pri alternativah, imeushih ocenki po mnogim kriteriyam [Analysis of the processes of making human decisions when alternatives with evaluation criteria (overview)]*. Avtomatika i telemekhanika no. 8, pp. 131–135.
6. Azgaldov G., Kostin A. (2012) *Increasing the Validity of Results of a National/International Competition: A Case Study / Europe Middle East Africa Members' Meeting, Barcelona (Spain), 26–28 January 2012*.
7. Putivtseva N., Igrunova S., Beketova E., Capitan S. (2003) *Razrabotka ierarhicheskoi mnogokriterialnoi procedure ocenki kachestva ekspertov [Implementation of the hierarchical multicriteria procedure of the evaluation of experts' quality]*. Nauchniy rezultat, seria «Informacionnie tehnologii» no. 1(1), pp. 40–42.
8. Vendrov A. (2008) *Sovremennye metody case-tehnologii i sredstva proektirovaniya informatsionnih sistem [CASE technologies Modern methods and design tools of information systems]*. Moscow: Finance and statistics, p. 176.

9. *Azgal'dov G., Kostin A., Sadovov V. (2012) Kvalimetriya dlya vseh: Uchebnoe posobie [Qualimetry for everyone: a tutorial]. Moscow: InformZnanie, 165 p.*
10. *Beshelev S., Gurvich F. (1980) Matematicheskie i statisticheskie metodi ekspertnih ocenok 2 izd. [Mathematical and Statistical Methods of Expert Assesements. 2nd edition, rev. and suppl.] Moscow: Statistika, p. 263.*
11. *Seredenko N. (2011) Razvitie metoda analiza ierarhiy (MAI) [The evolution of the analytic hierarchy process (AHP)]. Otkritoe obrazovanie no. 2, pp. 39–41.*
12. *Petrichenko G., Petrichenko V. (2015) Metodica ocenki kompetentnosti ekspertov [Methodology of expert's competence assessment]. Politematicheskij setevoy jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta no. 109(05), pp. 6–8.*
13. *Ryaskin A., Sobolev S. (2012) Metod analiza ierarhiy pri vibore programmogo obespecheniya proectirovaniya i proizvodstva electronnih shem [Analytic hierarchy process for selection design and manufacturing software]. Zhurnal «Technologii v electronnoi promishlennosti» no. 2, pp. 21–23.*
14. *Mesarovich M. . Mako D., Takahara I. (1973) Teoriya ierarhicheskikh mnogourovnevih system [Theory of hierarchical multilevel systems]. Moscow: Mir.*
15. *Chernisheva T. (2008) Model mnogokriterialnoi ocenki ekspertov [Model of multi-criteria expert evaluation]. Almanah sovremennoi nauki I obrazovaniya no 9 (16), pp. 242–245.*

УДК 378.1

## **МЕХАНИЗМ ЦЕЛЕВОГО ПОИСКА И СБОРА ИНФОРМАЦИИ О НАУКОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЯХ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ КАДРОВОГО РЕЗЕРВА ВУЗА**

**Е.Ю. Чекотило<sup>1</sup>, О.Ю. Кичигина<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Самарский государственный технический университет  
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный технический университет  
Россия, 190121, Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, 3

**Аннотация.** *Представлено видение системы управления кадровым потенциалом университета. Отдельно рассмотрена подсистема планирования, поиска и подбора научно-педагогических кадров. Перечислены эффективные практики привлечения ведущих ученых и талантливой молодежи для работы в университет. Проведен анализ основных критериев оценки индивидуальной результативности деятельности научно-педагогических сотрудников. В качестве инструмента поддержки принятия управленческих решений на этапе поиска и подбора научно-педагогических кадров разработан механизм и реализующее его программное обеспечение, позволяющее автоматизировать достаточно трудоемкий процесс сбора информации и наполнения банка данных о предполагаемых соискателях вакантных должностей. Выбор входных параметров поисковых процедур основан на современных требованиях системы высшего образования Российской Федерации к эффективности деятельности вузов в целом и персональной результативности работы научно-педагогических работников этих организаций. Описанный механизм позволяет в реальном режиме времени осуществлять поиск и сбор информации с открытых официальных Internet-ресурсов. Поисковая процедура состоит из двух этапов. По окончании первого этапа формируется база данных ученых – потенциальных кандидатов на вакантные должности, область научных интересов которых лежит в заданном направлении. В результате реализации второго этапа первичные данные дополняются наукометрическими показателями их деятельности. Полученная информация позволяет в полной мере оценить научный потенциал ученого и может быть использована не только при формировании кадрового резерва организации, но и при принятии решений по развитию сети диссертационных советов вуза.*

**Ключевые слова:** *инструмент поддержки принятия решений, кадровый потенциал вуза, механизм целевого поиска и сбора информации, система управления кадрами.*

В Послании Федеральному Собранию 1 марта 2018 г. президент России обозначил в качестве важнейшего конкурентного преимущества нашей страны знания, технологии и компетенции. При этом ключевыми агентами достижения

---

*Чекотило Елена Юрьевна (к.т.н.), заместитель начальника управления координации развития, доцент кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами».*

*Кичигина Ольга Юрьевна (к.т.н.), заместитель начальника планово-производственного отдела, доцент кафедры «Судовая автоматика и измерения».*

прорывных результатов становятся научно-образовательные центры, основная задача которых – интеграция возможностей университетов, академических институтов и высокотехнологичных компаний.

В 2017 г. в рамках приоритетного проекта правительства РФ «Вузы как центры пространства создания инноваций» была сформирована группа университетов-лидеров из числа научно-исследовательских, федеральных и опорных вузов, на базе которых будут созданы центры инновационного, технологического и социального развития регионов [1]. Участвующие в проекте вузы в рамках реализации собственных программ развития ставят перед собой разные по амбициозности и масштабу задачи: одни претендуют на статус исследовательских университетов мирового уровня [2], другие – центров технологического, инновационного и социокультурного роста региона [3]. Однако целевые модели этих университетов объединяет наличие ключевого элемента, без которого невозможно развитие вуза, – кадрового потенциала. Вузы вне зависимости от своего статуса сталкиваются с одинаковой проблемой – дефицитом высококвалифицированных молодых сотрудников, готовых к изменениям, которые связаны с трансформацией университета в новую форму [4]. Снижение привлекательности работы в университете, обусловленное сложностью и длительностью построения карьеры в сфере образования, а также до недавнего времени существенным разрывом в уровне доходов профессорско-преподавательского состава и специалистов промышленных предприятий, приводит к «утечке мозгов» на производство и «старению» кадров. Поэтому основная задача кадровой политики вузов – омоложение кадрового состава с наращиванием научного потенциала.

Многие из указанных выше университетов в качестве ключевой инициативы, направленной на развитие кадровой политики образовательной организации, выделяют формирование системы управления кадровым потенциалом вуза [5]. В ряде организаций внедрены и реализуются элементы данной системы, однако для автоматизации процессов управления кадрами необходима их четкая структуризация.

Система управления кадрами должна включать в себя следующие связанные подсистемы:

- система планирования, поиска и подбора персонала;
- система развития персонала;
- система оценки, аттестации и мотивации персонала.

Предметом исследования данной работы является система планирования, поиска и подбора персонала, а именно научно-педагогических работников университета (НПР). Однако, как отмечалось ранее, все процессы, описываемые системой управления кадрами, взаимообусловлены. Так, этапу планирования потребности в персонале предшествует комплексный анализ кадрового потенциала вуза, осуществляемый в рамках реализации системы оценки, аттестации и мотивации сотрудников. Комплексный подход структурирует кадры по возрастному составу, уровню квалификации (базовое образование, ученая степень, звание), персональной результативности работы сотрудников по видам деятельности (учебная, научная, воспитательная, общественная и т. д.). При этом система ключевых индикативных показателей должна соответствовать профессиональным стандартам, требованиям существующих систем оценки деятельности вузов (мониторинг эффективности деятельности вузов, аккредитационные показатели и т. д.) [6], а также отвечать стратегическим задачам развития организации. В большинстве университетов процесс сбора, анализа и оценки результатов дея-

тельности НПП автоматизирован и достаточно прозрачен за счет внедрения системы рейтингования различных категорий сотрудников (профессор, доцент, старший преподаватель, ассистент) с последующей реализацией системы мотивации работников [7]. Кроме того, процесс планирования кадровых потребностей в первую очередь должен основываться на обеспечении образовательного процесса, в том числе учитывать результаты регулярного внутривузовского мониторинга эффективности реализации образовательных программ, проводимого рядом организаций в рамках мероприятий, направленных на модернизацию образовательного блока [8]. Однако эта процедура в данной статье не рассматривается. Подробно остановимся на процессе поиска и подбора кадров.

Основой качественного управляемого поиска и подбора кадров для работы в вузах являются следующие практики:

- расширение научно-образовательного взаимодействия с зарубежными и отечественными партнерами, приглашение ведущих докторов наук для преподавания, в том числе в качестве руководителей образовательных программ, научных руководителей магистратуры и аспирантуры;

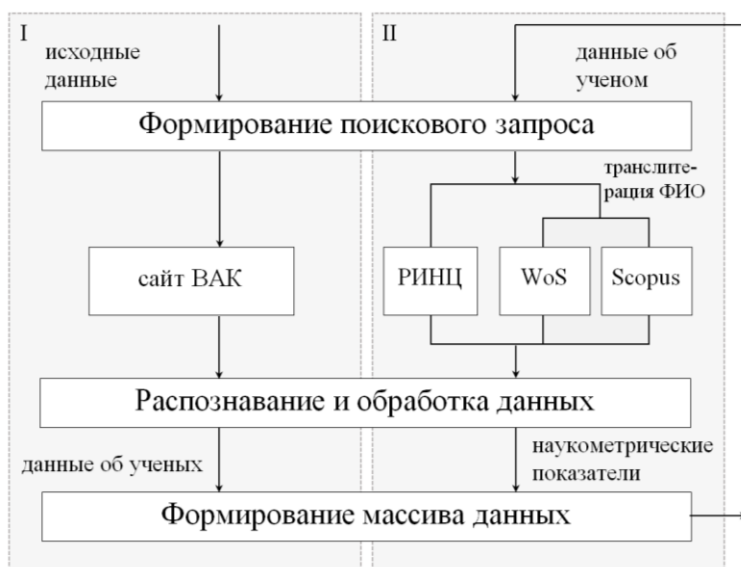
- целенаправленный поиск и приглашение ученых с мировым именем и ведущих специалистов-практиков с полной или частичной занятостью для создания точек роста новых научных направлений, развития прикладных НИОКР по перспективным видам предпринимательской деятельности;

- целевой поиск и приглашение на работу талантливой молодежи – от выпускников аспирантур до докторов наук, которые в перспективе могут стать высокопрофессиональными специалистами, ведущими учеными.

Рассмотрим подробнее последнюю практику – целевой поиск и приглашение на работу талантливой молодежи. Для формирования корректных поисковых процедур необходимо иметь набор КРП, объективно удовлетворяющий современным тенденциям развития высшего образования. В соответствии с ними подбор специалистов должен ориентироваться на формирование профессиональных команд, способных к решению задач модернизации региональной и национальной экономики. Поэтому к талантливой молодежи будем относить молодых кандидатов наук (до 35 лет) и докторов наук (до 40 лет), активно занимающихся научными разработками, в том числе для реального сектора экономики. В отмеченных выше программах трансформации университетов (ТОР 5-100, опорные вузы, вузы как центры пространства создания инноваций) основными индикаторами эффективной деятельности вузов являются рост публикационной активности НПП, объема НИОКР в расчете на 100 НПП, доли обучающихся по программам магистратуры и аспирантуры [9], [10], [1]. Последний показатель напрямую зависит от количества реализуемых в организации образовательных программ. А к необходимым требованиям ФГОС ВО к реализации программ магистратуры относятся острепенность и базовое образование НПП и все та же публикационная активность [11]. В свою очередь, одним из факторов, непосредственно влияющих на повышение острепенности НПП, можно назвать наличие в организации диссертационных советов. В соответствии с дорожной картой (планом мероприятий) оптимизации сети диссоветов до 2019 г. (утвержденным Минобрнауки РФ 23.08.2016) [12] основным показателем эффективности их деятельности также является публикационная активность членов советов [13]. Таким образом, критерий «высокая публикационная активность» становится одним из ключевых требований к кандидату на вакантную должность НПП. Кроме того, основными параметрами, задающими поисковую процедуру, являются: направление научной

и педагогической деятельности, наличие ученой степени и звания, уровень квалификации, возраст.

Особенностью работы образовательных организаций является то, что популярные сейчас внешние источники информации о предлагаемых и востребованных вакансиях, такие как Internet-ресурсы и сервисы, а также рекрутинговые агентства остаются невостребованными у служб, отвечающих за поиск и подбор персонала. Специфика трудоустройства в высшие учебные заведения (процедура конкурсного отбора, аттестации и т. д.) также не способствует адаптации и последующему внедрению в работу кадровой системы вуза известных [14] готовых IT-предложений (программных средств) управления персоналом. Зачастую работа по формированию массива информации о потенциальных работниках носит бессистемный характер, выполняется в ручном режиме и требует значительных временных затрат. Фактически подбор персонала является процессом распознавания образа кандидата на вакантную должность [15]. При этом кадровые службы университета вынуждены обрабатывать достаточно большой объем данных о каждом соискателе, что, в свою очередь, сопряжено с риском снижения уровня достоверности собранных сведений. Поэтому при разработке системы поиска и подбора персонала в первую очередь должен быть сформирован перечень официальных источников достоверной информации. Для эффективного внедрения практики приглашения кандидатов из других регионов необходимо разработать алгоритм работы с открытыми информационными ресурсами для формирования минимального набора характеристик соискателя. Поэтому в рамках реализации проекта «Формирование кадрового резерва» программы развития Самарского государственного технического университета как опорного вуза был разработан механизм (см. рисунок) целевого поиска и сбора информации (в т. ч. наукометрических показателей) из открытых официальных Internet-источников.



Механизм целевого поиска и сбора информации из открытых официальных Internet-источников

Механизм поиска предусматривает два этапа:

- 1) формирование первичных данных об ученых;
- 2) формирование массива данных наукометрических показателей для отобранных на первом этапе кандидатов.

Рассмотрим детально каждый из этапов.

**Этап 1. Формирование первичных данных об ученых.** Главным информационным источником по формированию первичного массива данных о потенциальных работниках является сайт Высшей аттестационной комиссии (ВАК) <http://vak.ed.gov.ru/>. Блок информации, получаемой с данного электронного ресурса, включает перечень кандидатов и докторов наук, занимающихся научными исследованиями и разработками в рамках задаваемой научной специальности, защитивших диссертации в указанный период, с указанием названия организации, где выполнялось диссертационное исследование (в подавляющем большинстве случаев это место работы/учебы), а также темы исследования. Поиск осуществляется на основании обработки объявлений о защитах диссертационных работ по минимальному набору исходных параметров: шифру специальности, отрасли наук, дате защиты (ресурс предоставляет доступ к списку защитившихся с 01.01.2012). Информация о фамилии, имени и отчестве предполагаемого кандидата и теме работы считывается со страницы «Объявление о защите» Интернет-источника, однако этих данных для дальнейшего формирования детального поискового запроса (этап 2) может быть недостаточно. Зачастую необходимо обладать сведениями о городе проживания и месте работы (учебы в случае защиты кандидатской диссертации аспирантом) ученого. Эти данные могут быть получены из файла автореферата, автоматическое скачивание которого возможно осуществить также с рассматриваемой страницы сайта. Кроме того, достаточно полезной для служб университета, отвечающих за научную аттестацию НПП (в том числе деятельность диссертационных советов), может стать информация об официальных оппонентах и научном руководителе соискателя ученой степени, которая параллельно считывается из файла автореферата. Дополнительным блоком информации, получаемой из автореферата, являются данные об основных научных публикациях соискателя. По завершении поисковой процедуры формируется база данных потенциальных кандидатов на вакантные должности, которая уже на текущем этапе может быть использована при принятии управленческих кадровых решений. В табл. 1 приведены исходные и выходные параметры реализуемых на первом этапе поисковых запросов. Для дальнейшей детализации данных переходим ко второму этапу алгоритма поиска.

Таблица 1

**Параметры поисковых запросов, реализуемых на 1-м этапе процедуры**

Параметры	Источник – сайт ВАК
Исходные данные	1) номер научной специальности; 2) отрасль науки; 3) временной интервал
Поисковые запросы	<u>Страница сайта «Объявления о защитах»</u> 4) список объявлений о защите для заданной специальности, отрасли науки и даты



Параметры	Источник – сайт ВАК
	5) <i>переход по ссылкам на страницы объявлений, скачивание файла автореферата</i>
	<b><u>Файл автореферата</u></b> 6) <i>извлечение информации из pdf-файла о месте работы/учебы соискателя, дополнительных сведений</i>
Выходные данные	7) <i>ФИО ученого;</i> 8) <i>тема диссертации;</i> 9) <i>тип диссертации (докторская/кандидатская);</i> 10) <i>место работы/учебы (город, организация);</i> 11) <i>дополнительно: ФИО, место работы научного руководителя и официальных оппонентов</i>

**Этап 2. Формирование массива данных наукометрических показателей деятельности ученых.** Как уже отмечалось ранее, одним из ключевых индикаторов результативности деятельности ученого является публикационная активность. Поэтому следующим этапом формирования банка данных о потенциальных кандидатах на замещение вакантных должностей НПП, отобранных на первом этапе поиска, является получение массива наукометрических показателей и перечня публикаций соискателя. Эта процедура осуществляется посредством реализации системы последовательных запросов информации с электронных ресурсов ИАС «Российский индекс научного цитирования» (ИАС РИНЦ) (материалы научной электронной библиотеки eLIBRARY, <http://elibrary.ru>), международных реферативных баз данных Web of Science (<http://webofknowledge.com>) (WoS) и Scopus (<http://scopus.com>). Для того чтобы запрос в БД WoS и Scopus был корректным, необходимо произвести транслитерацию фамилии и инициалов кандидата и названия организации, где он работает. Основной поиск осуществляется во вкладках «Авторский указатель» (ИАС РИНЦ) и «Авторский поиск (Author search)» (WoS и Scopus). На данном этапе вводится полученная ранее первичная информация об ученом. Далее по каждой персоне выводится детализированный отчет о наукометрических показателях и список публикаций. При этом в ИАС РИНЦ интерес представляют статьи в журналах, входящих в Перечень ВАК, поэтому при реализации цепочки запросов устанавливается соответствующий фильтр.

В табл. 2 приведены исходные и выходные параметры реализуемого на втором этапе алгоритма поиска и сбора данных. Объем загружаемой с интернет-ресурсов информации может быть ограничен временным промежутком (например, последние пять лет).

Результатом выполнения этого этапа поисковой процедуры является информация о количестве публикаций ученого и числе их цитирования в ИАС РИНЦ, БД WoS и Scopus, индексе Хирша, а также перечень указанных статей с выходными данными.

Для реализации описанного механизма в рамках проекта было разработано программное обеспечение, позволяющее в автоматическом режиме осуществлять описанные выше поисковые процедуры подбора кадров. Предлагаемый механизм и формируемая в результате его реализации база данных – ключевые компоненты системы поиска и подбора персонала.

**Параметры поисковых запросов, реализуемых на 2-м этапе процедуры**

Параметры	Источники	
	ИАС РИНЦ	WoS и Scopus
Исходные данные	1) ФИО автора; 2) город; 3) организация, в которой работает автор; 4) временной период	1) ФИО автора; 2) организация, в которой работает автор; 3) временной период
Поисковые запросы	5) авторский указатель; 6) анализ публикационной активности автора; 7) список публикаций автора (отдельно с фильтром «статьи в российский журналах, включенных в текущий Перечень ВАК);	4) авторский поиск; 5) детализированный отчет о цитировании автора; 6) список публикаций с информацией о цитируемости;
Выходные данные	8) наукометрические показатели: – число публикаций; – число цитирований публикаций; – индекс Хирша; 9) список публикаций в РИНЦ; 10) список статей, опубликованных в журналах, входящих в перечень ВАК	7) наукометрические показатели: – число публикаций; – число цитирований публикаций; – индекс Хирша; 8) список публикаций в WoS и Scopus

Целевая функция описываемой системы поиска и подбора кандидатов на вакантные должности НПР может быть представлена в следующем виде:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K U_{ij} (1 - \alpha_i)}{N \sum_{i=1}^N T_i} \rightarrow \max,$$

где  $U_{ij}$  – мера соответствия уровня  $j$ -го показателя публикационной активности  $i$ -го претендента заданному профилю работника;

$K$  – количество показателей оценки деятельности (публикационной активности) кандидата на вакантную должность;

$N$  – количество соискателей, отобранных на первом этапе алгоритма, удовлетворяющих входному набору требований;

$T_i$  – суммарное время работы поисковой процедуры на всех этапах обработки данных  $i$ -го претендента;

$\alpha_i$  – вероятность ошибки идентификации ученого в процессе реализации поисковых процедур. Ошибка может быть обусловлена погрешностью распознавания текста автореферата (1-й этап процедуры), некорректной транслитерацией фамилии и инициалов кандидата и названия организации, неверной аффилиацией авторов, а также возможным наличием полных тезок рассматриваемого ученого (2-й этап процедуры). Последняя проблема может быть решена при доработке

поисковых алгоритмов за счет включения модуля проверки соответствия направлений научных исследований кандидата.

Таким образом, критерием оценки эффективности отбора персонала является достижение максимального соответствия результатов поисковых процедур задаваемому набору требований – профилю работника, минимизация времени работы системы и ошибки идентификации соискателя.

В табл. 3 приведены результаты использования разработанного программного обеспечения для решения частной задачи, поставленной службами университета, отвечающими за деятельность диссертационных советов вуза.

Таблица 3

### Результаты реализации поисковых процедур

Наименование показателя	Ед. изм.	Шифр научной специальности		
		05.09.01	05.09.03	05.09.10
<b>Этап 1. Формирование первичных данных об ученых</b>				
Численность докторов наук, защитивших диссертации в 2013–2017 гг., чел.	чел.	6	34	5
в том числе				
работников вузов		3	31	5
из них				
из СамГТУ		2	2	0
из г. Москвы и г. Санкт-Петербурга		0	9	2
Количество нераспознанных авторефератов	ед.	1	5	0
<b>Численность ученых, отобранных на 1-м этапе</b>	<b>чел.</b>	<b>1</b>	<b>18</b>	<b>3</b>
<b>Этап 2. Формирование массива данных наукометрических показателей деятельности ученых</b>				
Численность ученых, имеющих более 5 публикаций в изданиях из Перечня ВАК в 2013–2017 гг.	чел.	0	18	3
Численность ученых, имеющих полных тезок		0	1	1
Численность ученых, имеющих более 2 публикаций в изданиях БД WoS и Scopus в 2013–2017 гг.		0	14	3
<b>Численность ученых, отобранных на 2-м этапе</b>		<b>0</b>	<b>14</b>	<b>3</b>
<b>Дополнительные исследования</b>				
Численность оппонентов – работников вузов (без учета г. Москвы и г. Санкт-Петербурга)	чел.	6	23	4
в том числе				
имеющих публикации в изданиях из Перечня ВАК и БД WoS и Scopus		4	19	2
имеющих публикации в изданиях БД WoS и Scopus		4	12	2
Численность ученых, отобранных при дополнительных исследованиях		4	12	2
<b>Численность ученых, отобранных по результатам работы системы</b>		<b>4</b>	<b>26</b>	<b>5</b>

Целью исследования стал поиск кандидатов в совет по защите диссертаций, действующий на базе вуза и принимающий к рассмотрению работы по трем научным специальностям группы 05.09.00 – Электротехника.

Одним из особых требований к выборке было условие работы предполагаемых членов диссоветов – докторов наук в высших образовательных учреждениях, за исключением столичных университетов (г. Москва и г. Санкт-Петербург). Приведенные данные отражают процесс получения информации на каждом этапе поисковой процедуры с учетом погрешности обработки данных. В результате был сформирован массив данных по 17 кандидатам в члены диссоветов. Однако, как видно из таблицы, для специальности 05.09.01 «Электромеханика и электрические аппараты» не было подобрано ни одного ученого. Поэтому были проведены дополнительные исследования данных, полученных из авторефератов. На основе этих сведений осуществлен анализ публикационной активности НПР, выступавших в качестве оппонентов по диссертационным работам соискателей, отобранных на первом этапе поисковой процедуры. В результате перечень кандидатов в члены диссоветов дополнился 18 учеными.

Представленная система поиска и подбора персонала, являясь неотъемлемой частью системы управления кадрами в вузе, может рассматриваться отдельно как инструмент для выработки управленческих решений по целевому привлечению ведущих ученых России к работе в опорном университете.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Паспорт приоритетного проекта «Вузы как центры пространства создания инноваций» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://centervuz.ru/documents/passport.pdf> (accessed November 09,2018).
2. *Щербакова А.А.* Национально-исследовательский университет как элемент системы высшего образования // Вестник Тамбовского университета. Сер. Общественные науки. – 2018. – Т. 4. – № 13. – С. 20–24.
3. *Иванов С.А., Сокол-Номоконов Э.Н.* Феномен опорных университетов региональной экономики в современной России // Высшее образование в России. – 2018. – № 1(219). – С. 19–30.
4. *Аржанова И.В., Дерман Д.О.* Опорные вузы России: ориентация не на индикаторы, а на результат // Образование в России: Федеральный справочник. – 2017. – № 12. – С. 171–175.
5. *Фадеева И.М., Шаманов П.А., Соколова М.Ю.* Управление кадровым потенциалом исследовательского университета на основе информационных систем // Университетское управление: практика и анализ. – 2011. – № 6. – С. 23–31.
6. *Чекотило Е.Ю., Кичигина О.Ю.* Использование комплексного системного подхода к оценке эффективности и результативности деятельности вуза // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2015. – № 2 (46). – С. 200–203.
7. *Дюсекеев К.А.* Управление эффективностью деятельности научно-педагогического персонала вуза: Дис. ... канд. техн. наук. – Астрахань: Астраханский гос. ун-т, 2017. – 162 с.
8. *Третьякова Т.В., Игнатьев В.П., Аммосов И.Н., Дарамаева А.А.* Мониторинг эффективности реализации образовательных программ высшего образования // Современные наукоемкие технологии. – 2017. – № 3. – С. 102–106.
9. Конкурсная документация по проведению открытого конкурса на предоставление государственной поддержки ведущим университетам Российской Федерации в целях повышения их конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://минобрнауки.рф/новости/3372/файл/2196/13.05.08-Объявление-Топ100-КД.pdf> (accessed November 09,2018).
10. Положение о порядке проведения конкурсного отбора образовательных организаций высшего образования на финансовое обеспечение программ развития федеральных государственных образовательных организаций высшего образования за счет средств федерального бюджета [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://опорныйуниверситет.рф/finpolozhenie\\_o\\_konkursnom\\_otbore.pdf](http://опорныйуниверситет.рф/finpolozhenie_o_konkursnom_otbore.pdf) (accessed November 09,2018).
11. *Алексанков А.М., Магер В.Е., Черненькая Л.В., Черненький А.В.* Обеспечение качества высшего образования // Открытое образование. – 2016. – Т. 20. – № 4. – С. 10–16.

12. План мероприятий (Дорожная карта) по оптимизации сети советов по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vak.ed.gov.ru/96> (accessed November 09,2018).
13. Пахомов С.И., Кулямин О.В., Гуртов В.А., Пенние И.В. Динамика целевых индикаторов результативности научной деятельности членов диссертационных советов // Вестник Мордовского университета. – 2017. – Т. 27. – № 4. – С. 555–576.
14. Шилов С.А. Информационные технологии в управлении кадрами // Мир современной науки. – 2016. – № 3(37). – С. 32–37.
15. Фом Ю.Д. Модели и алгоритмы системы отбора персонала на основе повышения достоверности данных при принятии решений: Автореф. дис. ... канд. тех наук: 05.13.10. – Пенза: Пенз. гос. ун-т, 2013. – 23 с.

*Статья поступила в редакцию 17 сентября 2018 г.*

## **MECHANISM OF TARGET SEARCH AND INFORMATION COLLECTION ON SCIENTOMETRICAL INDICATORS AS A SUPPORT TOOL OF MANAGING SOLUTIONS IN FORMATION OF PERSONNEL RESERVE OF THE UNIVERSITY**

***E.Y. Chekotilo<sup>1</sup>, O.Y. Kichigina<sup>2</sup>***

<sup>1</sup> Samara State Technical University  
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

<sup>2</sup> Saint Petersburg state marine technical university  
3, Locmanskaya st., St. Petersburg, 190121, Russian Federation

**Abstract.** *In this paper vision of the personnel management system of the university is presented. Subsystem of planning, searching and selection of scientific and pedagogical personnel is considered separately. The effective practices of attracting leading scientists and talented youth to work at the University are listed. The analysis of the main criteria for assessing the individual performance of scientific and pedagogical employees. As a support tool of managerial decisions at the stage of search and selection of scientific and pedagogical personnel, a mechanism and implementing its software has been developed, which allows automating a time-consuming process of collecting information and database filling about prospective job seekers. The choice of input parameters of search procedures is based on the modern requirements of the higher education system of the Russian Federation to the effectiveness of universities and personal performance of scientific and pedagogical employees of these organizations. The described mechanism allows real – time search and collection of information from open official Internet resources. The search procedure consists of two stages. At the end of the first stage, a database of scientists – potential candidates for vacant positions, the area of scientific interests of which lies in a given direction. As a result of the second stage, the primary data are supplemented with scientometric indicators of their activities. Received information allows to fully assess the scientific potential of the scientist and can be used not only for the formation of the personnel reserve of the organization, but also in making decisions on the development of a dissertation councils network of the University.*

**Keywords:** *support tools of decision making, human resources of university, mechanism of target search and information collecting, the system of the human resources management.*

## REFERENCES

1. Passport of the priority project "Universities as centers of innovation creation space" <http://centervuz.ru/documents/passport.pdf> (accessed November 09,2018).
2. *Scherbakova A.A.* National research University as part of the system of higher education // Vestnik of Tambov University. Series Social Sciences. 2018. Vol. 4. № 13. P. 20–24.
3. *Ivanov S., Sokol-Nomokonov E.N.* The phenomenon of supporting universities of regional economy in modern Russia // Higher education in Russia. 2018. № 1 (219). P. 19–30.
4. *Arzhanova I.V., Derman D.O.* Reference universities of Russia: orientation not on indicators, but on result // Federal reference book-Education in Russia. 2017. № 12. P. 171 to 175.
5. *Fadeeva I.M., Shamanaev P.A., Sokolova M.Y.* Management of the research potential of the University on the basis of information systems // University management: practice and analysis. 2011. № 6. P. 23–31.
6. *Chekotilo E.Y., Kichigina O.Y.* The use of an integrated system approach to the evaluation of the effectiveness and efficiency of the University // Vestnik of Samara state technical University. Series "technical Sciences". 2015. № 2 (46). P. 200–203.
7. *Dusekeev K.A.* Control of efficiency of activities of scientific-pedagogical staff of the University: Dis. K-ТА. tech. sciences'. Astrakhan: Astrakhan state University, 2017. P. 162.
8. *Tretyakova T.V., Ignatiev V.P., Ammosov I.N.* Monitoring the effectiveness of the implementation of educational programs of higher education // Modern technology. 2017. № 3. P. 102–106.
9. Tender documentation for an open tender for the provision of state support to the leading universities of the Russian Federation in order to improve their competitiveness among the world's leading scientific and educational centers. <http://минобрнауки.рф/новости/3372/файл/2196/13.05.08-Объявление-Топ100-КД.pdf> (accessed November 09,2018).
10. Regulations on the order of carrying out competitive selection of the educational organizations of the higher education on financial support of programs of development of the Federal state educational organizations of the higher education at the expense of means of the Federal budget. [http://опорныйуниверситет.рф/fin-polozhenie\\_o\\_konkursnom\\_otbore.pdf](http://опорныйуниверситет.рф/fin-polozhenie_o_konkursnom_otbore.pdf) (accessed November 09,2018).
11. *Aleksankov A.M., Maher V.E., Chernen`kaya L.V., Chernen`kiei A.B.* Quality Assurance in higher education // Open education. 2016. Vol. 20, № 4. P. 10–16.
12. Action plan (Road map) to optimize the network of councils for the defense of theses for the degree of candidate of Sciences, for the degree of doctor of Sciences. <http://vak.ed.gov.ru/96> (accessed November 09,2018).
13. *Pakhomov S.V., Kulyamin O.V., Gurtov V.A., Pennie I.V.* The Dynamics of target indicators of the scientific activity of the members of the dissertation councils // Vestnik Mordovia University. 2017. Vol. 27, № 4. P. 555–576.
14. *Shilov S.* Information technologies in personnel management. World of modern science. 2016. №3 (37). P. 32–37.
15. *Fot Yu.D.* Models and algorithms of system of selection of personnel on the basis of increasing the reliability of the data when making decisions: author. dis. kand. those Sciences: 05.13.10. Penza: Penza state UN-t, 2013. P. 23.