УДК 624

© С. В. Шилкина, канд. техн. наук, доцент
(Национальный исследовательский Московский
государственный строительный университет)
E-mail: shilkina@bk.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2017-14-6-355-363

© S. V. Shilkina, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Moscow State National Research University
of Civil Engineering)
E-mail: shilkina@bk.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРОВЕДЕННОГО ТЭО ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТА

OPTIMIZATION OF TECHNICAL SOLUTIONS ACCORDING TO THE RESULTS OF THE FEASIBILITY STUDY AIMED AT ENHANCING THE PROJECT EFFICIENCY

Освещены вопросы практического применения экономико-математических методов при разработке инвестиционных проектов по строительству сложных технологических объектов. Рассмотрен раздел технико-экономического обоснования при подготовке инвестиционного проекта по строительству тепличного комплекса, включающего собственный энергетический центр. Проанализированы варианты энергоснабжения объекта с учетом подключения к внешним электросетям и/или установка собственного электрогенерирующего оборудования различной компоновки. Показано, как с помощью применения экономико-математических методов можно оптимизировать структуру энергетического хозяйства агропромышленного комплекса и добиться значительного сокращения расходов на строительство и эксплуатацию объекта.

Ключевые слова: технико-экономическое обоснование, инвестиционный проект, энергообеспечение объекта, АСУТП, контроллер нечеткой логики.

The article is devoted to the practical application of economic-mathematical methods at the development of investment projects on construction of complex technological objects. The author considers the technical-economic substantiation section at the preparation of the investment project on construction of a greenhouse complex with its own energy center. Energy provision options of the object with regard to connections to external networks and / or installation of separate power generating equipment of different designs are analyzed. It is shown that by using the economic-mathematical methods it is possible to optimize the structure of energy utilities of the agricultural complex and achieve a significant cost reduction for the construction and operation of the facility.

Keywords: feasibility study, investment project, energy provision of object, automatic control system, the fuzzy logic controller.

Конкурентоспособность создаваемого в современных условиях нового производства требует предварительной глубокой проработки всех технических и финансово-экономических последствий предлагаемого проекта. На первоначальном этапе параллельно с построением технологической конфигурации разрабатываемого объекта необходимо оценить экономическую составляющую закладываемых решений. Во время обоснования инвестиций привлечение экспертов, специализирующихся на разработках в данной области, позволяет на начальном этапе точно определить все основные параметры проекта. Эти факторы способствуют значительной опти-

мизации расходов, подтверждают достоверность информационных данных для потенциальных кредиторов и контрагентов, значительно сокращают сроки проектирования и строительства, так как позволяют сразу определять основной состав оборудования и основные технические решения. Кроме этого, привлечение специалистов в области автоматизации, владеющих современными знаниями по применению интеллектуальных технологий управления, инновационных решений при построении и структурировании автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП), гарантирует существенные преимущества, связанные с опти-

мизацией ресурсов, значительной экономией затрат на этапе эксплуатации построенного объекта [1, 2].

Цель написания статьи — показать на конкретном примере практическое применение экономико-математических методов для построения оптимальной структуры энергетического центра нового строительного объекта — тепличного комплекса. Проведенные на этапе технико-экономического обоснования инвестиционного проекта расчеты позволят в дальнейшем экономить средства инвестора. Предложенные рекомендации по улучшению автоматизированной системы управления основным технологическим процессом агропромышленного производства при применении современных интеллектуальных систем управления, позволяющих оптимизировать структуру энергетического центра, способствовали снижению расходов инвестора как на этапе строительства, так и на этапе дальнейшей эксплуатации.

В качестве исходных данных для начала расчетов по обоснованию инвестиций в строительство энергоцентра нового агропромышленного тепличного комплекса были предложены следующие (в настоящей статье показаны только те данные, которые являются существенными для прилагаемых расчетов):

1. Строительство сельскохозяйственного предприятия планируется по принципу «в чистом поле», т. е. на обособленном пустом участке земли, но с возможностью подведения основных коммуникаций. В статье не ставится задача описать полную экономико-математическую модель проекта строительства тепличного комплекса, а только рассматривается обоснование построения энергоцентра предприятия с оптимальной структурой.

2. В соответствии с типовым технологическим процессом работы оборудования тепличного комплекса, с учетом прогнозных региональных погодных условий, был предоставлен требуемый суточный график загрузки оборудования, а также ориентировочное среднеемесячное потребление электроэнергии, представленные на рис. 1 и 2.

3. Цены на энергоресурсы, а также другие стоимостные величины, например, стоимость технологического присоединения к электросетям,

принятые в расчетах, взяты как усредненные по региону строительства¹.

Расчеты показали: одна из основных проблем состоит в том, что при текущем технологическом процессе наблюдаются скачки потребления электроэнергии, в результате чего график дневного потребления электроэнергии (см. рис. 1) крайне неравномерный. Такая суточная загрузка энергетического центра и неравномерность среднеемесячного потребления показали неэффективность работы по графику электроснабжения стороннего потребителя, а учитывая стоимость технологического присоединения и расходы на текущую оплату потребления электроэнергии, приводит экономику проекта в пограничное по рентабельности состояние, ведь основные затраты тепличного хозяйства — это плата за энергоресурсы. Поэтому основной целью работ были рациональные предложения по структуре и составу оборудования собственного энергоцентра.

¹ Федеральная служба государственной статистики / www.gks.ru/

Рис. 1. Суточный график загрузки генерирующего оборудования при тах (январь) и min (июль) потребления

Рис. 2. Годовой график среднеемесячного потребления электроэнергии

В рамках базового варианта, на который ориентировался инвестор, исходя из потребностей объекта, планировалось установить четыре газопоршневых агрегата (ГПА) мощностью 8,18 МВт каждый. Применение именно ГПА обусловлено внешними причинами, на которых отдельно останавливаться в статье не будем. Результаты графиков работы энергоцентра в «базовой конфигурации» представлены на рис. 3 и 4.

Анализ графиков работы показал очень неравномерную загрузку агрегатов в течение года.

В табл. 1 показано, что применение четырех ГПА общей мощностью более 32 МВт имеет много отрицательных последствий:

Рис. 3. Расчетный график работы 4-х ГПА при максимуме электропотребления

Рис. 4. Годовой график выработки (потребления) и свободного остатка электроэнергии при полной загрузке 4-х ГПА

1. Потенциально избыточная мощность: низкая загрузка четвертого агрегата в течение года. При этом пиковая загрузка энергоцентра более 90% (в зимние дневные часы).

2. При сохранении существующей суточной загрузки энергоцентра невозможна работа по графику электроснабжения стороннего потребителя, что сильно усложняет решение проблемы путем продажи избытка электроэнергии «на сторону». Необходимым условием является наличие потребителей в локальной зоне энергопотребления с понятными графиками суточного и годового энергопотребления. Даже наличие в настоящий момент такого потребителя не дает гарантии, что он будет постоянным.

3. Мощность энергоцентра более 25 МВт. Поэтому реализация электроэнергии от таких объектов на розничном рынке в общем случае не допускается регулятором рынка электроэнергии, а цена продажи электроэнергии на оптовом рынке в 2–3 раза ниже розничной. Для работы на рознице нужно уменьшить установленную мощность, или объединить теплицы и энергоцентр в технологически единое предприятие и отдельное юридическое лицо. В этом случае можно пытаться продавать избыточную электроэнергию на розничном рынке. Однако это сопровождается значительными юридическими рисками и зависимостью в дальнейшем от регулятора рынка электроэнергии.

В рамках технико-экономического обоснования проекта были рассчитаны несколько вариантов энергоснабжения объекта — тепличного комплекса, в частности, варианты, учитывающие возможность подключения к внешним электросетям для закрытия пиковых нагрузок и возможность продажи излишков при установке собственного электрогенерирующего оборудования различных конфигураций.

Разработана экономико-математическая модель с целью проведения сравнительного анализа

Таблица 1

Загрузка ГПА по базовому варианту

Наименование показателя	Номер ГПА			
	ГПА1	ГПА2	ГПА3	ГПА4
Среднегодовая загрузка ГПА, %	89,96 %	64,63 %	43,90 %	11,64 %
Доля ГПА в общем объеме выработки ЭЭ, %	47,57%	34,17%	23,21%	6,16%

вариантов организации энергоузла. Рассмотрены варианты на базе установки двух, трех и четырех ГПА с закрытием пиковых нагрузок путем покупки недостающих мощностей на рынке электроэнергии и продаж излишков. Для вариантов с тремя и четырьмя ГПА просчитаны несколько подвариантов без подключения и с подключением к внешним электросетям с возможностью продажи части излишков. Информационные данные: исходные — представлены в табл. 2, а результаты расчетов по основным вариантам конфигурации энергоцентра — в табл. 3². Подварианты 2.1 и 3.2 предусматривают работу энергоцентра в режиме «энергетического острова», без подключения к внешним электросетям, с закрытием пиковых нагрузок и резервированием за счет собственных ресурсов. Остальные варианты предусматривают возможность покупки/продажи электроэнергии от 0 до 100 % излишков.

По итогам предварительной оценки различных вариантов можно сделать следующие выводы.

1. С точки зрения энергетической независимости и страховки от изменения правил игры и ценовых колебаний наиболее предпочтительный вариант — работа в режиме «энергетического острова», когда не требуется организация сложных схем по продаже электроэнергии, возможность работы в автономном режиме, при отсутствии внешней инфраструктуры электроснабжения.

2. Наименее эффективны варианты строительства энергоцентра с четырьмя ГПА и продаж излишков электроэнергии на рынке, либо отказом от продажи (четвертый агрегат в резерве).

3. При любом варианте — EBITDA, рассчитанная на основе снижения затрат на покупку

² Федеральная служба государственной статистики / www.gks.ru/

электроэнергии за счет выработки на ГПА, составляет от 200 до 400 млн руб. в зависимости от конфигурации энергоузла, что показывает большую эффективность строительства собственного энергоцентра перед вариантом с полным подключением к внешним электросетям.

На основании сделанных выводов и учитывая всю совокупность экономических факторов и большую уверенность в энергообеспеченности инвестору было рекомендовано:

1. Оптимизировать график электрической нагрузки комплекса (снижение пиков, смягчение провалов) за счет изменения системы управления технологическими процессами тепличного производства. Для этого целесообразно привлечь экспертов в области построения автоматизированных систем управления технологическими процессами для выработки оптимальных алгоритмов функционирования аппаратуры. Цель — оптимизировать работу системы с учетом отказа от использования четвертого агрегата при перераспределении загрузки остальных агрегатов.

2. Разработка юридически надежной организационной схемы работы на розничном рынке электроэнергии для варианта энергоцентра с тремя ГПА.

3. Различные технические решения на основании анализа графика потребления тепловой энергии после сопоставления с графиком потребления электрической, в том числе использование углекислого газа из выхлопных газов агрегатов для повышения производительности теплиц эффект — до 25 %.

В результате вышеуказанных рекомендаций были проведены исследования по разработке системы управления на основе нечетких алгорит-

Таблица 2

Основные исходные данные для расчетов

Наименование показателя	Единица измерения	Значение показателя
Стоимость строительства, в том числе приобретение энергогенерирующего оборудования	руб./кВт	78 000
Стоимость технологического присоединения к электрическим сетям	руб./кВт	18 500
Средневзвешенная цена продажи электрической энергии	руб./кВт.ч	1,75
Цена покупаемой электроэнергии	руб./кВт.ч	4,30
Стоимость газа для ГПА	руб./1000 м ³	4600

Таблица 3

Результаты расчетов по основным вариантам конфигурации энергоцентра

Наименование показателя	Единица измерения	№ варианта/подварианта							
		1	2	2.1	3	3.1	3.2	4	5
Количество ГПА	шт.	2	3	3	4	4	4	3	4
Присоединение к внешним электросетям	Есть (+), нет (-)	+	+	-	+	+	-	+	+
Установленная мощность ГПА	МВт	16,36	24,54	24,54	32,72	32,72	32,72	24,54	32,72
Инвестиционные затраты в строительство	млн руб.	1 276	1 914	1 914	2 552	2 552	2 552	1 914	2 552
Стоимость тех. присоединения и/или схемы выдачи мощности	млн руб.	302,7	151,3	-	454,0	454,0	-	454,0	151,3
Инвестиционные затраты в строительство+ тех. присоединение	млн руб.	1 578	2 065	1 914	3 006	3 006	2 552	2 368	2 703
Программа производства и реализации электрической энергии									
Потребление ЭЭ на нужды предприятия	млн кВт·ч/год	123,8	123,8	123,8	123,8	123,8	123,8	123,8	123,8
Выработка ЭЭ	млн кВт·ч/год	101,2	129,9	129,9	123,8	261,8	123,8	157,1	189,2
Выработка ЭЭ для реализации на рынке	млн кВт·ч/год	-	6,1	-	-	138,0	-	33,3	65,4
Покупка ЭЭ на рынке	млн кВт·ч/год	22,6	-	-	-	-	-	-	-
Число часов в год использования установленной мощности	Час	6 183	5 293	5 293	3 782	8 000	3 782	6 400	5 782
Необходимая мощность для тех. присоединения	МВт	16,4	8,2	-	24,5	24,5	-	24,5	8,2
Доходы									
Снижение затрат на покупку ЭЭ за счет выработки на ГПА	млн руб.	435,0	558,5	532,2	532,2	532,2	532,2	532,2	532,2
Выручка от реализации ЭЭ	млн руб.	-	-	-	-	241,5	-	58,3	114,5
Итого доходы		435,0	558,5	532,2	532,2	773,7	532,2	590,4	646,7
Расходы									
Расходы на покупку ЭЭ	млн руб.	97,2	26,4	26,4	-	-	-	-	-
Расходы на топливо	млн руб.	113,2	145,3	145,3	138,4	292,8	138,4	175,7	211,6
Прочие постоянные расходы (5% инвест. затрат на строительство)	млн руб.	63,8	95,7	95,7	127,6	127,6	127,6	95,7	127,6
Итого расходы	млн руб.	274,1	214,6	214,6	266,0	420,4	266,0	271,4	339,3
Финансовый результат до налогов									
EBITDA	млн руб.	160,9	343,9	317,5	266,1	353,3	266,1	319,0	307,4
Эффективность инвестиций									
Простой срок окупаемости проекта с учетом тех. присоединения	лет	9,81	6,01	6,03	11,30	8,51	9,59	7,42	8,79
Простой срок окупаемости проекта без учета тех. присоединения	лет	7,93	5,57	6,03	9,59	7,22	9,59	6,00	8,30

мов, с автоматической модификацией системы технологического процесса для снижения затрат энергии за счет оптимизации энергопотребления [3–6].

Для экспертов в области АСУ было составлено техническое задание, в котором предусматривалась разработка нечеткого алгоритма и на его основе — системы продукционных правил, реализация которых в режиме реального времени

обеспечивала бы более равномерное потребление электрической и тепловой энергии, что приводило бы к снижению энергозатрат за счет оптимизации работы ГПА. Обобщенную структуру системы нечеткого управления можно проиллюстрировать следующей схемой (рис. 5) [1, 3, 5–7].

Создание системы нечеткого управления предусматривает решение следующих вопросов [1, 2, 3, 5–9]:

Рис. 5. Классическая структура системы управления с нечеткой логикой

- представление информации, используемой для управления в терминах нечеткой логики (задача фаззификации);

- формулирование базы правил нечеткого вывода с учетом экспертных знаний специалистов-технологов и алгоритма определения управляющих воздействий (задача разработки управляющих воздействий с учетом истории принятых решений);

- описание управления в терминах нечеткой логики для получения физических управляющих воздействий в системе (задача дефаззификации).

Решение перечисленных выше вопросов связано с необходимостью выполнения исследований и разработки соответствующих математических моделей, применимых к управлению технологическими процессами [5, 8–16].

Для разработки системы нечеткого управления были выбраны основные энергоемкие параметры:

- температура внутри теплицы (особенно на уровне почвы);
- освещенность теплицы;
- влажность почвы и воздуха внутри теплицы;
- внешние возмущающие факторы (воздействие окружающей среды).

По результатам исследований основных параметров объекта предложена система нечеткого управления параметрами микроклимата технологического процесса объекта. Общая структура системы нечеткого управления параметрами ми-

кроклимата тепличного комплекса представлена на рис. 6.

Внедрение предлагаемой системы управления позволит существенно улучшить ситуацию, связанную с неравномерностью загрузки ГПА в зимний период. Это позволит с высокой долей надежности говорить о возможности работы энергетического центра с применением трех ГПА (вариант 2.1) без подключения к внешним электросетям, а также поможет добиться оптимизации его структуры с использованием интеллектуальных технологий. Оптимальное управление работой энергоцентра приведет к снижению пиковой нагрузки в зимний период до уровня, достаточного для стабильной работы объекта управления в данных условиях (рис. 7).

На рис. 7 видно, что все пиковые нагрузки снижены до уровня установленной мощности, а также сглажены провалы по энергопотреблению.

Выводы. Проведенные расчеты в очередной раз подтверждают необходимость реализации этапа технико-экономического обоснования при подготовке инвестиционного проекта. Проведение ТЭО помогает инвестору значительно сократить свои расходы на инвестиционном этапе проектирования, строительства и эксплуатации объекта, а также предоставляет возможность внести изменения в технологический процесс и/или в его АСУ с целью повышения эффективности всего проекта. Также особенно актуально на данном этапе применение современных методов

Рис. 6. Система нечеткого управления параметрами микроклимата тепличного комплекса

Рис. 7. График выработки электроэнергии (с накоплениями по трем ГПА) при максимуме нагрузки (январь) после оптимизации управления технологическим процессом объекта

управления, адаптации моделей и алгоритмов при построении АСУ технологическим объектом, системой. Проведенные исследования позволяют оптимизировать используемые ресурсы, сократить затраты на приобретение оборудования и строительство энергетического контура проекта.

Библиографический список

1. Васильев В. И. Интеллектуальные системы управления. Теория и практика: учеб. пособие. М.: Радиотехника, 2009. 387с.
2. Алиев Р. А. Управление производством при нечеткой исходной информации. М.: Энергоатомиздат, 1991.

3. Заде Л. А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976.

4. Орлов А. И. Теория принятия решений: учеб. пособие. М.: Изд-во «Март», 2004. 656 с.

5. Пешко М. С. Адаптивная система интеллектуального управления параметрами технологических процессов в пищевой промышленности // Омский научный вестник. 2015. № 2 (140). С. 118–122. Сер.: «Приборы, машины и технологии».

6. Shepherd A. B., Batty W. J. Fuzzy control strategies to provide cost and energy efficient high quality indoor environments in buildings with high occupant densities, *Building Service Engineering Research and Technology* 24 (2003) 35–45.

7. Колязов К. А., Каяшев А. И. Энергосберегающая система управления на основе нечеткого алгоритма // Энергоэффективность и энергобезопасность на предприятиях промышленности и жилищно-коммунального хозяйства : тр. Всерос. науч.-практ. сем. Уфа : АН РБ; Гилем, 2010. С. 119–123.

8. Колязов К. А., Воробьева А. В., Шиянова Н. И. Синтез модели объектов управления пищевой промышленности с использованием нечеткой логики // Автоматизация в промышленности. 2007. № 7. С. 55–57.

9. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2003. 736 с.

10. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. М.: Горячая линия–Телеком, 2007. 288 с.

11. Дьяконов В., Круглов В. Математические пакеты расширения MATLAB. Специальный справочник. СПб.: Питер, 2001. 480 с.

12. Гулятьев А. Визуальное моделирование в среде MATLAB: учебный курс. СПб.: Питер, 2000.

13. Мартынов Н. Н., Иванов А. П., MATLAB 5.x. Вычисление, визуализация, программирование. М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2000.

14. Цюй Дунъюэ. Управление мобильным роботом на основе нечетких моделей // Современные проблемы науки и образования. 2007. № 6 (часть 2). С. 115–121.

15. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / пер. с польск. И. Д. Рудинского. 2-е изд., стереотип. М.: Горячая Линия–Телеком, 2013. 384 с.

16. Хайкин С. Нейронные сети. 2-е изд., испр. М.; СПб; Киев: Вильямс, 2008. 1104 с.

management systems. Theory and practice. Teaching manual]. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2009, 387 p.

2. Aliev R. A. *Upravlenie proizvodstvom pri nechyotkoy iskhodnoy informatsii* [Production management in case of fuzzy initial information]. Moscow, Ehnergoatomizdat Publ., 1991.

3. Zade L. A. *Ponyatie lingvisticheskoy peremennoy i ego primeneniye k prinyatiyu priblizhennykh resheniy* [The notion of linguistic variable and its application to making of approximate solutions]. Moscow, Mir Publ., 1976.

4. Orlov A. I. *Teoriya prinyatiya resheniy. Uchebnoe posobie* [The theory of decision-making. Teaching manual]. Moscow, Mart Publ., 2004, 656 p.

5. Peshko M. S. *Adaptivnaya sistema intellektual'nogo upravleniya parametrami tekhnologicheskikh protsessov v pishchevoy promyshlennosti* [Adaptive system of intellectual control over the technological processes' parameters in the food industry]. *Omskiy nauchnyy vestnik. Seriya pribory, mashiny i tekhnologii – Omsk Scientific Bulletin. Devices, machines and technologies*, 2015, no. 2 (140), pp. 118–122.

6. Shepherd A. B., Batty W. J. Fuzzy control strategies to provide cost and energy efficient high quality indoor environments in buildings with high occupant densities. *Building Service Engineering Research and Technology*, 2003, no. 24, pp. 35–45.

7. Kolyazov K. A., Kayashev A. I. *Ehnergoberegayushchaya sistema upravleniya na osnove nechetkogo algoritma* [Energy saving management system on the basis of fuzzy algorithm]. *Trudy Vseros. nauch.-prakt. seminarov «Ehnergoeffektivnost' i ehnergobezopasnost' na predpriyatiyakh promyshlennosti i zhilishchno-kommunal'nogo khozyaystva»* [Proc. of All-Russia sci.-pract. workshop "Energy efficiency and energy security at industrial and housing and communal services enterprises"]. Ufa, AN RB Gilem Publ., 2010, pp. 119–123.

8. Kolyazov K. A., Vorob'eva A. V., Shiyanova N. I. *Sintez modeli ob'ektov upravleniya pishchevoy promyshlennosti s ispol'zovaniem nechetkoy logiki* [Synthesis of the model of control facilities of the food industry using fuzzy logics]. *Avtomatizatsiya v promyshlennosti – Automation in industry*, 2007, no. 7, pp. 55–57.

9. Leonenkov A. V. *Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzyTECH* [Indistinct Fuzzy simulation in the MATLAB and fuzzyTECH environment]. St. Petersburg, BKhV-Petersburg Publ., 2003, 736 p.

10. Shtovba S. D. *Proektirovanie nechetkikh sistem sredstvami MATLAB* [Design of fuzzy systems by means of MATLAB]. Moscow, Goryachaya liniya–Telekom Publ., 2007, 288 p.

11. D'yakonov V., Kruglov V. *Matematicheskie pakety rasshireniya MATLAB. Spetsial'nyy spravochnik* [Mathematical bump packs of MATLAB. Special reference book]. St. Petersburg, Piter Publ., 2001, 480 p.

References

1. Vasil'ev V. I. *Intellektual'nye sistemy upravleniya. Teoriya i praktika: Uchebnoe posobie* [Intellectual

12. Guľtyaev A. *Vizual'noe modelirovanie v srede MATLAB. Uchebnyy kurs* [Visual simulation in the MATLAB environment. Training course]. St. Petersburg, Piter Publ., 2000.
13. Martynov N. N., Ivanov A. P. *MATLAB 5.X. Vychislenie, vizualizatsiya, programmirovaniye* [MATLAB 5.X. Computation, visualization, programming.]. Moscow, KUDITs-OBRAZ Publ., 2000.
14. Tsyuy Dun'yueh. *Upravlenie mobil'nym robotom na osnove nechyotkikh modeley* [Control of the mobile robot on the basis of fuzzy models]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya – Modern Problems of Science and Education*, 2007, no. 6 (Pt. 2), pp. 115-121.
15. Rutkovskaya D., Piliński M., Rutkovskiy L. *Neyronnye seti, geneticheskie algoritmy i nechetkie sistemy* [Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems]. Transl. from Polish. 2-nd iss., revised. Moscow, Goryachaya Liniya – Telekom Publ., 2013, 384 p.
16. Khaykin S. *Neyronnye seti* [Neural networks]. 2-nd iss., revised. Moscow; St. Petersburg; Kiev, Vil'yams Publ., 2008, 1104 p.