

Информатика, вычислительная техника и управление

УДК 004.032.322

АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОТОКОЛОВ СИНХРОНИЗАЦИИ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОЙ КОМПАНИИ

Н.Г. Губанов, А.С. Рагузин

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

Авторы продолжают исследование процесса синхронизации времени информационных систем для решения задач поддержания единого времени на энергообъектах электросетевой компании. Проведен анализ алгоритмов и принципов работы существующих протоколов синхронизации времени (NTP, SNTP, PTP), широко применяемых в сетях передачи данных с коммутацией пакетов, с целью определения их соответствия требованиям и принципам работы исследуемой комплексной системы синхронизации времени. В статье приведены сравнительные характеристики этих протоколов, сделаны выводы, учитывающие требования внутренних руководящих документов РСК по программе развития АСТУ, предъявляемые к задачам синхронизации времени информационных систем в сетевых компаниях.

Ключевые слова: *система синхронизации времени, шкалы времени, алгоритмы синхронизации, протоколы синхронизации, метки времени.*

В статье [1] было рассмотрено математическое моделирование средств формирования локальной шкалы времени, средств сравнения и коррекции шкал времени комплексной системы синхронизации времени (ССВ) информационных систем региональной электросетевой компании (РСК), предложенной в статье [2]. В предложенной ССВ задачу синхронизации предлагается решать с помощью методов пакетной синхронизации.

В данной статье будет проведен сравнительный анализ основных существующих протоколов синхронизации времени, использующих в своих алгоритмах метки времени. Наибольшее распространение получили протоколы NTP (Network Time Protocol), SNTP (Simple Network Time Protocol) [3] и PTP (Precision Time Protocol) [4]. Далее подробно рассмотрены их характеристики и функциональные реализации.

Николай Геннадьевич Губанов (к.т.н., доц.), заведующий кафедрой «Автоматизация и управление технологическими процессами».

Алексей Сергеевич Рагузин, аспирант.

Анализ алгоритма работы протокола NTP

Протокол NTP работает на прикладном уровне сетевой модели OSI и используется для передачи меток времени от серверов времени, расположенных на высшем уровне, до серверов и клиентов, расположенных на более низком уровне, через сети передачи данных с коммутацией пакетов [3].

Каждый уровень в иерархии определяется номером слоя (stratum). Серверам на высшем уровне присваивается stratum, равный 1. У серверов на последующих уровнях stratum на один больше, чем на предыдущем уровне. С каждым новым уровнем синхронизации точность уменьшается и зависит от топологии сети и стабильности локальных часов в узлах системы синхронизации.

Работа протокола NTP основывается на определении самого короткого маршрута к первичным серверам по принципам распределенного алгоритма маршрутизации Беллмана – Форда. Алгоритм протокола NTP представлен на рис. 1.

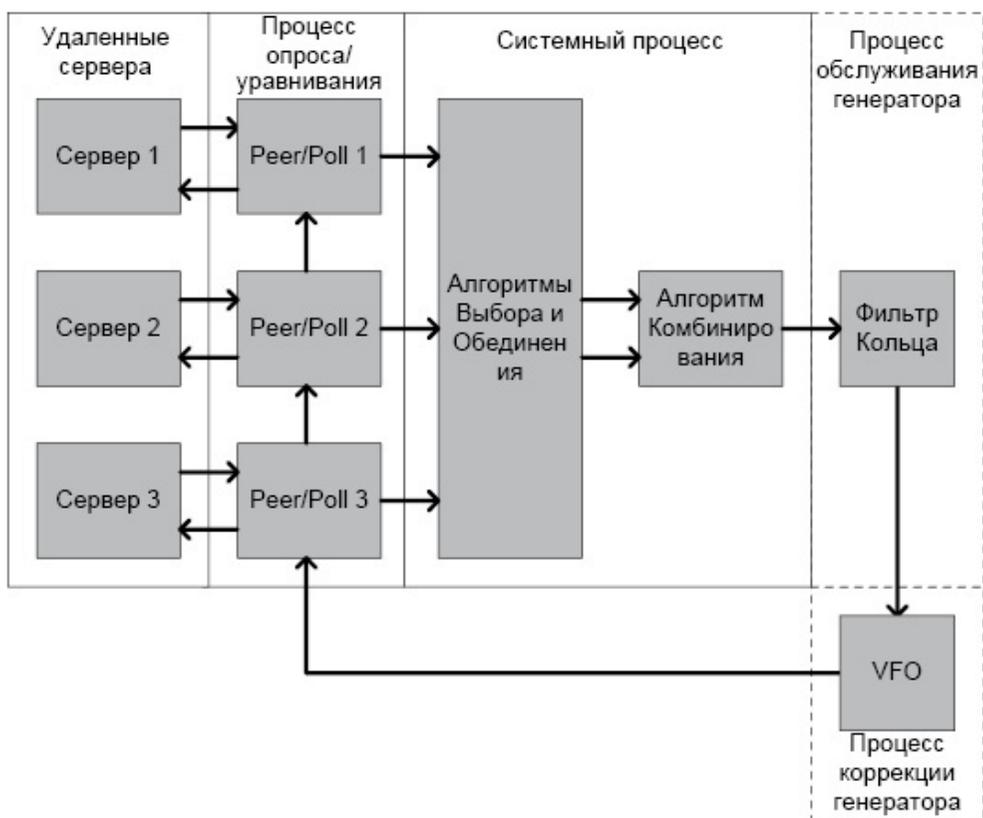


Рис. 1. Алгоритм работы протокола NTP

В случае клиент-серверного режима работы протокола клиент отправляет пакеты с метками времени одному или нескольким серверам, а потом обрабатывает полученные от них ответные пакеты. Сервер получает пакет от клиента, изменяет адрес источника и получателя, номера портов, записывает свои метки времени в пакет и отправляет клиенту. При обмене пакетами обновляются параметры:

- смещение (θ) – максимально-вероятностное смещение генератора сервера относительно генератора клиента;

- задержка (δ) – суммарная задержка сигнала синхронизации между клиентом и сервером туда и обратно;
- дисперсия (ε) – максимальное рассогласование при измерении смещения;
- джиттер (ζ) – номинальное рассогласование при оценке системного смещения.

В результате проведенных измерений вычисляется расстояние синхронизации (synchronization distance):

$$\lambda = \varepsilon + \frac{\delta}{2}. \quad (1)$$

Значение (1) используется в алгоритмах выбора в системном процессе при определении сервера, с которым будет производиться синхронизация клиента.

Управление частотой локального генератора клиента для поддержания ее постоянной относительно частоты генератора сервера производится в системном процессе обслуживания генератора. Для определения смещения частоты генератора клиент периодически направляет сообщения серверу с интервалом 2^r с, где r выбирается из диапазона от 4 до 17, что равно 16 с и 36 ч соответственно.

Обмен метками времени между клиентами и серверами осуществляется с помощью специальных сообщений, метки времени в которых представляются в двойном формате с битами, пронумерованными в обратном порядке [5]. При этом возможная точность оценки времени для короткого формата – не менее $15 \cdot 10^{-6}$ с, формата метки – $2,32 \cdot 10^{-10}$ с, формата данных – $0,05 \cdot 10^{-18}$ с.

Временные диаграммы, поясняющие процесс синхронизации узлов базовой модели А и В, показаны на рис. 2.

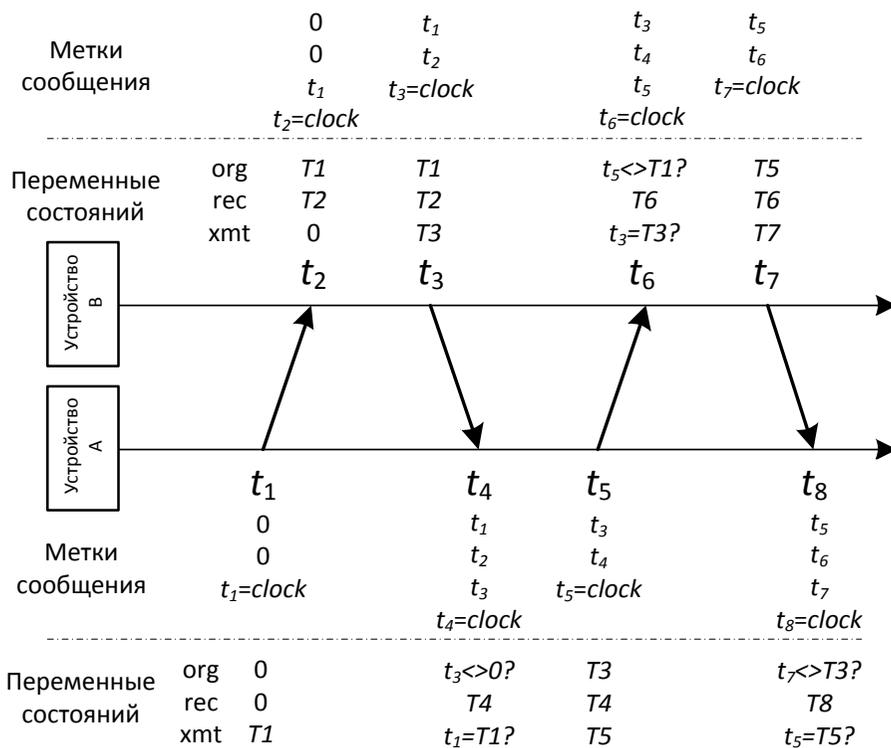


Рис. 2. Временная диаграмма синхронизации по протоколу NTP

В протоколе NTP применяются четыре метки для каждого из узлов, обозначенные на рисунке как t_1, t_2, t_3 и t_4 для узла А, t_5, t_6, t_7, t_8 для узла В. Существуют три параметра, описывающие состояние: *org* (начало метки), *rec* (получение метки) и *xmt* (отправка метки). Эти параметры копируются с меток времени при получении или отправке пакета.

После определения значений меток времени $T1–T6$ (см. рис. 2) в каждом из устройств вычисляется смещение и задержка:

$$\theta_A = \frac{(T2 - T1) + (T3 - T4)}{2}; \quad (2)$$

$$\delta_A = (T4 - T1) - (T3 - T2); \quad (3)$$

$$\theta_B = \frac{(T4 - T3) + (T5 - T6)}{2}; \quad (4)$$

$$\delta_B = (T6 - T3) - (T5 - T4). \quad (5)$$

С помощью полученных значений (2), (4) производится компенсация смещения между частотами генераторов, а с помощью значений (3), (5) – синхронизация моментов отправки и получения сообщений.

Простой протокол сетевого времени SNTP

Протокол SNTP является упрощенной реализацией протокола NTP. Он полностью совместим с протоколом NTP, но при этом отличается от него отсутствием любых объединений. SNTP клиент может обращаться к любому NTP серверу как к серверу SNTP. При получении запроса от клиента сервер SNTP отправляет ответный пакет только тому же клиенту.

Анализ алгоритма работы протокола РТР

В системах синхронизации по протоколу РТР могут применяться устройства с поддержкой РТР и без поддержки РТР. Устройства с поддержкой РТР подразделяются на обычные (Ordinary), граничные (Boundary), из конца в конец прозрачные (End-to-end transparent), равноправные прозрачные (Peer-to-peer transparent) синхрогенераторы и узлы управления (management nodes). К устройствам без поддержки РТР относятся мосты, маршрутизаторы, коммутаторы и другие элементы информационной инфраструктуры.

Все устройства образуют иерархию ведущий–ведомый (master–slave) с основным устройством, называемым гротсмейстером (grandmaster), со шкалой времени, определяющей эталонное время для всей ССВ.

Обмен метками времени между устройствами производится, как и в случае с протоколом NTP, с помощью специальных сообщений, описанных в [4].

Синхронизация по протоколу РТР происходит в две фазы:

- 1) определение иерархии ведущий–ведомый;
- 2) процедура синхронизации локальных генераторов устройств.

В первой фазе определяется одно из трех состояний (MASTER, SLAVE, PASSIVE) каждого порта обычных и граничных устройств. Во время этого процесса применяются два алгоритма: сравнения набора данных (Data set comparison algorithm) и решения состояния (State decision algorithm), которые анализируют получаемые сообщения Announce из сети.

Первый алгоритм основывается на анализе информации, содержащей параметры принадлежности к определенным первичным генераторам, точность, чис-

ло слоев и т. д. Второй алгоритм определяет, может ли заявленное состояние, полученное на выходе первого алгоритма, являться текущим состоянием.

Работа второй фазы синхронизации приведена на временной диаграмме (рис. 3).

В начальный момент шкала времени ведомого генератора отстает на величину начального сдвига ΔT_H :

$$t_{1m} = t_{1s} + \Delta T_H.$$

Ведущее устройство проводит коррекцию сдвига шкалы времени с помощью специальных сообщений Sync и Follow-up. Sync содержит метку времени отправления сообщения t_{1m} , Follow-up – метку времени отправления сообщения Sync. Таким образом достигается минимизации ошибки при оценке момента t_{1m} . После получения сообщения Sync устройство с ведомым генератором фиксирует время t_2 . Затем оно отправляет сообщение Delay_request в момент t_3 . Устройство с ведущим генератором фиксирует момент времени получения этого сообщения t_4 и передает его в ответном сообщении Delay_response.

Приняв нестабильность между двумя генераторами за время Δt в виде $\Delta T_f(\Delta t)$, метки времени отправления и получения сообщений можем записать в виде уравнений:

$$t_2 - t_{1m} = t_{ms} + \Delta T_H;$$

$$t_4 - t_3 = t_{sm} - \Delta T_H + \Delta T_f(t_3 - t_2).$$

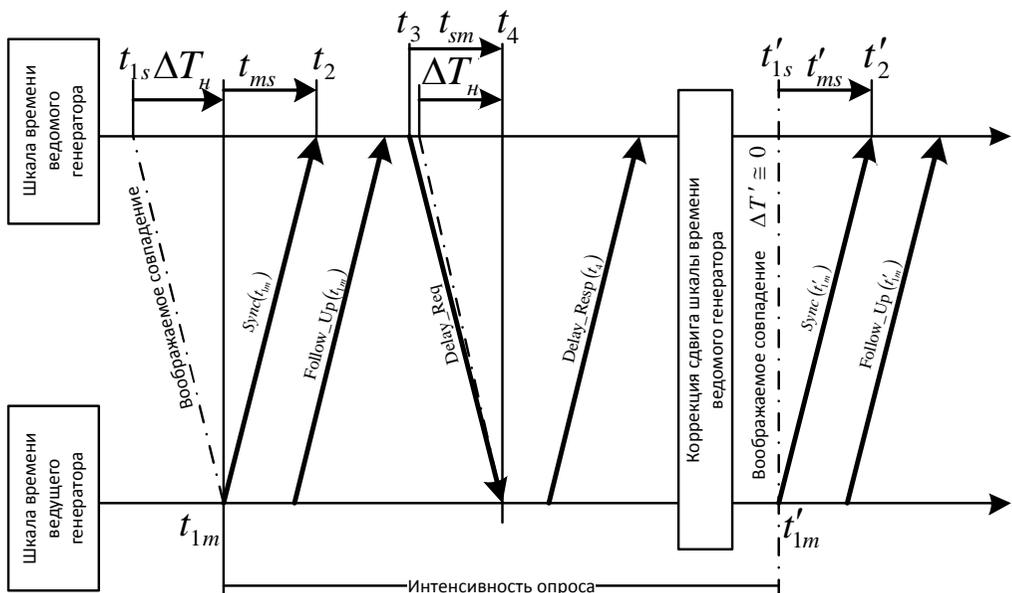


Рис. 3. Временная диаграмма синхронизации по протоколу РТР

Временной сдвиг ΔT_H оценивается ведомым устройством при известных значениях моментов $t_2 - t_4$, по формуле

$$\Delta\hat{T}_H = \frac{(t_2 - t_{1m}) - (t_4 - t_3)}{2} = \Delta T_H + \frac{(t_{ms} - t_{sm})}{2} - \frac{\Delta T_f(t_3 - t_2)}{2}. \quad (6)$$

Если задержки между генераторами равны в обоих направлениях ($t_{ms} = t_{sm}$) и значение нестабильности $\Delta T_f(\Delta t)$ мало относительно величин $(t_2 - t_{1m})$ и $(t_4 - t_3)$, уравнение (6) можно упростить:

$$\Delta\hat{T}_H \cong \Delta T_H. \quad (7)$$

Величина (7) используется для первоначальной коррекции неточности генератора ведомого устройства. Процесс коррекции описывается следующим выражением:

$$t'_{1m} = t'_{1s} + \Delta T_H - \Delta\hat{T}_H \cong t'_{1s}. \quad (8)$$

В результате коррекции (8) шкалы времени ведущего и ведомого генераторов приводятся к единой шкале времени с точностью до суммарного значения разности $(t_{ms} - t_{sm})$ и нестабильности $\Delta T_f(\Delta t)$. Окончательно процесс завершается вторым опросом через интервал времени, длительность которого случайна и находится в диапазоне от 4 до 60 с. По результатам измерения второго опроса рассчитывается оценка пространственной задержки между двумя генераторами:

$$D = \frac{(t'_2 - t'_1) + (t'_4 - t'_3)}{2}.$$

Поскольку генераторы в устройствах нестабильны, а задержки в канале могут изменяться, коррекцию генератора ведомого устройства необходимо периодически повторять.

Из приведенного выше анализа можно сказать, что на точность синхронизации по протоколу RTP влияет несколько факторов: взаимная нестабильность частот генераторов (ΔT_f), частота генератора ведущего устройства (чем выше частота, тем точнее измерения), топология сети передачи данных и ее неравномерная загрузка.

Применение протокола RTP позволяет добиться наибольшего эффекта в случае его реализации на граничных или транспортных коммутаторах, применяемых в сетях связи.

Сравнительные характеристики протоколов синхронизации

В таблице приведены сравнительные результаты анализа некоторых характеристик описанных выше протоколов синхронизации.

Как видно из таблицы, все три протокола могут использоваться для задач синхронизации времени системных часов информационных систем. При этом точность синхронизации протоколов NTP и SNTP не всегда может быть достаточна. Более высокая точность синхронизации может быть достигнута при использовании протокола RTP, применение которого может быть и аппаратным, и программным. При этом следует учитывать, что точность синхронизации тем ниже, чем дальше от аппаратного уровня к уровню приложений реализованы синхрогенераторы.

Проведенный анализ методов синхронизации времени, применяемых в сетевых протоколах синхронизации, которые работают в сетях с коммутацией пакетов, показывает, что задержки при передаче сообщения от ведущего устройства к ведомому и в обратном направлении будут равными только в случае соедине-

ния устройств прямой линией связи, что подтверждает положения, описанные в [1] при моделировании метода сравнения временных шкал узлов базовой модели методом двунаправленной передачи. В случае наличия в сети коммутаторов или маршрутизаторов задержки при передаче сообщений не будут равными в силу особенностей работы этого сетевого оборудования. При незначительной загрузке сети передачи данных влияние на точность синхронизации будет мало, но при высокой загрузке точность синхронизации времени может значительно уменьшиться.

Сравнительные результаты

Параметры	Протокол синхронизации		
	NTP	SNTP	PTP
Применение	Синхронизация времени на прикладном уровне от нескольких серверов. Работает в сетях TCP/IP v4, v6	Синхронизация времени на прикладном уровне от одного сервера. Работает в сетях TCP/IP v4, v6	Синхронизация времени на прикладном и физическом уровнях. Работает в сетях TCP/IP v4
Параметры измерения	Смещение между генераторами θ Задержка времени δ Джиттер смещения ξ	Смещение системных часов Круговая задержка	Смещение системных часов Круговая задержка
Потенциальная точность	$15 \cdot 10^{-6}$ (Short) $2,32 \cdot 10^{-10}$ (Timestamp)	$2,32 \cdot 10^{-10}$	$1 \cdot 10^{-8}$
Реальная точность	$10^{-1} - 10^{-3}$	$10^{-1} - 10^{-3}$	$10^{-7} - 10^{-8}$
Реализация	Сервер: аппаратная или программная Клиент: программная	Сервер: аппаратная или программная Клиент: программная	Ведомые: аппаратная Ведущие: аппаратная и программная
Источник	Несколько серверов	Один сервер	GPS, PRC
Документация	RFC 5905	RFC 5905	IEC 61588

Для исключения погрешностей, связанных с загрузкой сети, протокол PTP предлагает метод граничных часов, который реализуется на коммутаторах сети передачи данных. При этом необходимо учитывать, что для реализации такого метода коммутатор должен обладать специальными функциональными возможностями для поддержки протокола PTP. Синхронизация граничных часов на коммутаторе производится с часами ведущего устройства, а затем он сам становится ведущим устройством для всех ведомых устройств, подключенных к его портам. Использование такого метода позволяет осуществлять синхронизацию времени по схеме точка–точка и сохранять задержку одинаковой при передаче сообщения в прямом и обратном направлении.

Выводы

С целью определения соответствия принципам и алгоритмам работы ССВ, предложенной в [2], был проведен анализ широко известных протоколов синхронизации времени, применяемых в сетях передачи данных с коммутацией пакетов.

Проведенный сравнительный анализ показывает, что хотя применение протокола РТР и обеспечивает значительно более высокую точность в процессе синхронизации, оба протокола РТР и NTP удовлетворяют требованиям концепции развития АСТУ РСК, предъявляемым к точности синхронизации времени. А учитывая то, что использование протокола РТР предъявляет повышенные требования к оборудованию в канале передачи данных, а также то, что предложенная в [2] ССВ будет работать в пределах локальной сети РСК, можно сделать предварительный вывод, что применение протокола NTP в качестве основного для организации ССВ в РСК позволит организовать комплексную ССВ с высокими показателями точности, доступности и информационной безопасности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рагузин А.С., Губанов Н.Г. Моделирование системы синхронизации времени информационных систем региональной электросетевой компании // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2015. – № 1. – С. 21–28.
2. Рагузин А.С., Шишков М.А., Носенко А.Ф. Синхронизация времени гетерогенных информационных систем технологических объектов региональной электросетевой компании // Электроэнергетика глазами молодежи: науч. тр. междунар. науч.-техн. конф.: сб. статей. – Самара: СамГТУ, 2011. – Т. 2. – С. 7-12.
3. Network Time Protocol Version 4: Protocol and Algorithms Specification. Request for Comments: 5905. June 2010 [Электронный ресурс] // URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc5905> (дата обращения: 14.03.2016).
4. IEC 61588-2009: International standards. Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems.
5. Internet Protocol. Darpa Internet Program. Protocol Specification. Request for Comments: 791. 1981. [Электронный ресурс] // URL: <http://www.rfc-base.org/txt/rfc-791.txt>. (дата обращения: 14.03.2016).

Статья поступила в редакцию 11 февраля 2016 г.

ANALYSIS AND MODELING OF THE EXISTING PROTOCOLS USED IN TIME SYNCHRONIZATION OF THE REGIONAL POWER-GRID INFORMATION SYSTEMS

N.G. Gubanov, A.S. Raguzin

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

The author continues to research the information-systems time-scale synchronization to solve the problem of maintaining a single time at the power facilities of the regional grid company. The analysis of the algorithms and principles of the existing time protocols (NTP, SNTP, PTP) widely used in packet-switching data-communication networks is done to determine their satisfying the requirements and operation principles of the examined complex time-synchronization system. The paper presents the comparative characteristics of these protocols; conclusions are drawn taking into account the requirements of internal guidelines concerning the development of ICS to be met by the tasks of information-systems time-synchronization in power grid companies

Keywords: *system of time synchronization, model timeline, algorithms of synchronization, protocols of synchronization, the time stamp.*

*Nikolay G. Gubanov (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.
Aleksey S. Raguzin, Postgraduate Student.*

УДК 622.692.12; 622.276.8

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ НЕФТЕГАЗОСЕПАРАТОРОМ С КОНТРОЛЕМ ПЛОТНОСТИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩЕЙ СМЕСИ

В.А. Зеленский, Д.Б. Жмуров, А.И. Щодро

Самарский государственный аэрокосмический университет
Россия, 443086, г. Самара, Московское шоссе, 34

E-mail: vaz-3@yandex.ru

Одной из приоритетных задач отечественной экономики является повышение эффективности использования ресурсов в нефтедобывающем и нефтеперерабатывающем секторе. Разработка системы автоматизированного управления нефтегазосепаратором направлена на решение этой важной народнохозяйственной задачи, что обуславливает актуальность выполненной работы. Рассматриваемая система отличается от существующих аналогов наличием элементов контроля плотности нефтесодержащей смеси и разработана впервые. Предложены детализированный алгоритм и схема автоматизации, выбраны типы и наименования датчиков, исполнительных устройств и средств интеллектуальной обработки измерительной информации. Разработано программное обеспечение на языке релейно-лестничной логики Ladder Diagram, предложена структура пользовательского меню и вид главного экрана управления устройством. Внедрение системы автоматизированного управления нефтегазосепаратором позволит существенно улучшить качество разделения фаз в нефтесодержащей смеси на существующем технологическом оборудовании.

Ключевые слова: *трехфазный горизонтальный нефтегазосепаратор, система автоматизированного управления нефтегазосепаратором, элементы контроля плотности нефтесодержащей смеси, цифровой программируемый логический контроллер, язык программирования релейно-лестничной логики.*

Повышение эффективности использования энергетических ресурсов является одной из приоритетных задач отечественной экономики. Нефтегазовая отрасль во многих регионах (Татарстан, Самарская, Оренбургская области) имеет свою специфику, связанную с высокой обводненностью скважин. В данных условиях возникают трудности с модернизацией используемого оборудования, подвергается сомнению целесообразность капитальных вложений. К тому же замена оборудования сопряжена с остановкой технологического процесса, что часто оказывается трудновыполнимым [1, 2]. Оптимальным способом повышения эффективности использования месторождений является автоматизация технологических процессов в нефтегазовой отрасли без замены базового оборудования [3]. Такой подход целесообразен на всех стадиях, особенно на стадии первичной подготовки нефти. Поэтому разработка системы автоматизированного

Владимир Анатольевич Зеленский (д.т.н., доц.), профессор кафедры «Конструирование и технология электронных систем и устройств».

Денис Борисович Жмуров (к.т.н., доц.), доцент кафедры «Геоинформатика и информационная безопасность».

Артём Игоревич Щодро, аспирант.

управления нефтегазосепаратором является актуальной научно-технической задачей.

Объектом автоматизации является трехфазный горизонтальный нефтегазосепаратор (НГС) с контролем плотности нефтесодержащей смеси, предложенный в работах [4, 5]. Гидравлическая схема НГС представлена на рис. 1. В состав устройства входят водяной насос 1, входная задвижка 2, аварийный датчик уровня 3, датчик уровня жидкости первой камеры (ДУЖ-1) 4, аварийный датчик газа 5, датчик уровня жидкости второй камеры (ДУЖ-2) 6, газовый клапан 7, нефтяной насос 8, датчик давления второй камеры 9, датчик температуры 10, датчик давления второй камеры 11.

Работа устройства происходит в соответствии со следующими этапами.

1. Заполнение сепаратора нефтесодержащей смесью до уровня h_n , определяемого с помощью ДУЖ-1 (см. рис. 1).

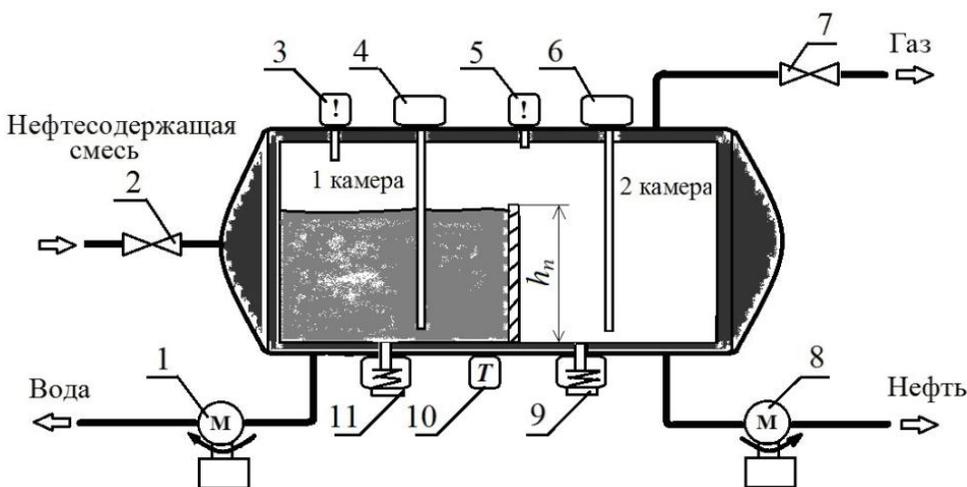


Рис. 1. Горизонтальный трехфазный нефтегазосепаратор с элементами контроля плотности нефтегазовой смеси

Определяется плотность нефтесодержащей смеси, зависящая от соотношения нефти и воды (например, 20 % нефти и 80 % воды) с помощью ДУЖ-1 4 и датчика давления первой камеры 11. Дается время ΔT , необходимое для гидравлического разрушения эмульсии, определяемое на основе математической модели [4]. Определяется коэффициент k в формуле

$$\Delta T = k\Delta T_n,$$

где ΔT_n – время полного разрушения эмульсии;
 k – может принимать значения от 0 до 1.

2. Сброс осевшей на дно сепаратора воды с помощью водяного насоса 1 на величину $h_n/2$. При сбросе более тяжелой воды, не содержащей глобулы нефти, доля нефти в смеси увеличивается примерно в два раза. Данное утверждение проверяется в процессе измерения плотности смеси с помощью ДУЖ-1 4 и датчика давления первой камеры 11. По результатам измерения корректируется время гравитационного разрушения эмульсии ΔT .

3. Наполнение первой камеры нефтесодержащей смесью до уровня h_n с помощью открытия входного вентиля 2. Выдерживается время ΔT , необходимое

для гидравлического разрушения только что залитой в сепаратор эмульсии. Увеличение процентного содержания нефти в первой камере НГС позволяет минимизировать риск попадания эмульсии во вторую камеру сепаратора сверх допустимого предела.

4. Наполнение первой камеры сепаратора с помощью входного вентиля 2 на величину ΔV , которая рассчитывается исходя из геометрии сепаратора, высоты перегородки и обводненности смеси. В результате нефть переливается через перегородку и попадает во вторую камеру НГС (рис. 2).

Плотность нефти во второй камере сепаратора измеряется также косвенным методом на основе показаний ДУЖ-2 6 и датчика давления 9. Далее этапы 2–4 повторяются.

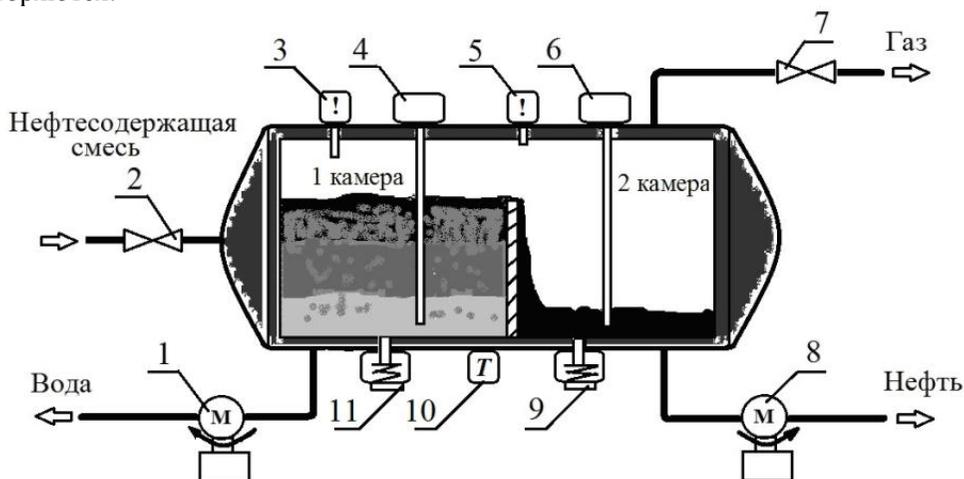


Рис. 2. Перелив нефти во вторую камеру нефтегазосепаратора

5. Сброс нефти с помощью нефтяного насоса 8. Далее этапы 2–5 повторяются.

Аварийные датчики 3, 5 контролируют предельно допустимые значения уровня нефтесодержащей жидкости и давления газа соответственно. При резком увеличении уровня нефтесодержащей жидкости в первой камере выдается команда на закрытие (полное закрытие) входной задвижки 2 и запуск водяного насоса 1. Если давление газа превышает установленный предел, он с помощью клапана 7 сбрасывается в специальный резервуар или на факел. Датчик температуры 10 позволяет корректировать точность измерения плотности нефтесодержащей смеси с учетом разных коэффициентов теплового расширения воды и нефти.

В основе современных систем автоматизированного управления технологическими процессами лежит цифровой свободно программируемый логический контроллер (ПЛК), оснащенный сетевыми интерфейсами для обмена данными с другими компонентами и передачи данных на верхний уровень иерархии системы управления. После анализа типов контрольно-измерительного и исполнительного оборудования, необходимого для работы нефтегазосепаратора, построена схема автоматизации (рис. 3).

Расшифровка элементов в схеме автоматизации будет дана ниже, в таблице с перечнем применяемого оборудования.

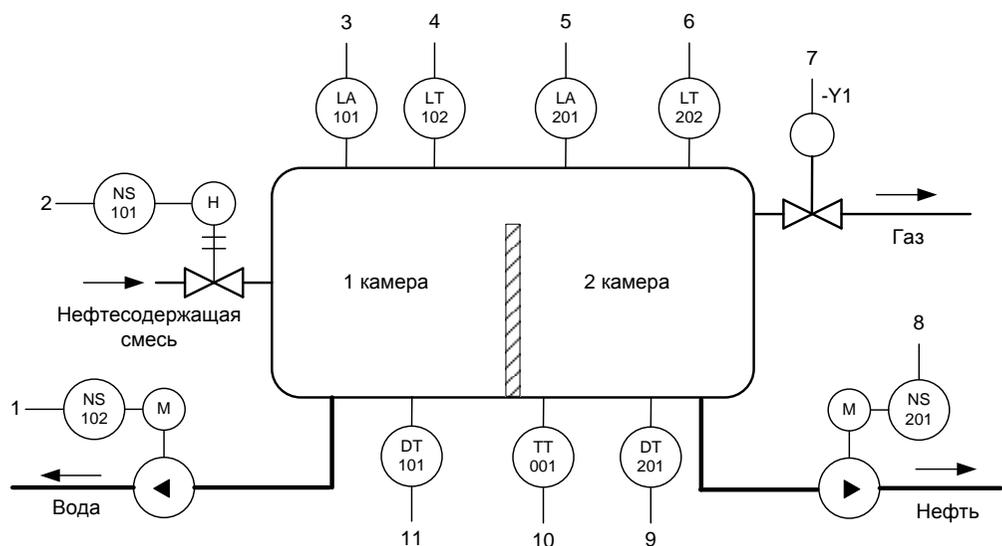


Рис. 3. Схема автоматизации нефтегазосепаратора

С целью определения аппаратной конфигурации ПЛК были определены типы связей. Результаты этой работы представлены на рис. 4.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Приборы в щите													
Шкаф управления	функции контроллера	Регистрация			•		•			•	•	•	
		Сигнализация предупредительная											
		Сигнализация предаварийная			•		•						
		Управление											
		Блокировка (отключение)			•		•						
	Тип сигнала	Дискретный вход			•		•						
		Дискретный выход	•						•	•			
		Аналоговый вход		•		•		•			•	•	•
		Аналоговый выход		•									

Рис. 4. Типы связей схемы управления нефтегазосепаратором

Из рис. 5 видно, что ПЛК должен иметь не менее двух дискретных входов, трех дискретных выходов, шести аналоговых входов и одного аналогового выхода.

НГС является локальным законченным технологическим объектом, не имеющим жестких зависимостей от другого технологического оборудования предприятия. В пользу этого определения говорит также тот факт, что обычно произ-

водители НГС поставляют свои изделия в виде комплектного технологического модуля. Модуль имеет весь необходимый комплект контрольно-измерительного, а также исполнительного оборудования и оснащен локальной системой управления. Исходя из этого спецификацию ПЛК следует составлять из компонентов, относящихся к классу локальной автоматики без резервированных процессоров и каналов связи. Тем не менее из соображений надежности и быстродействия работы подсистемы ввода-вывода следует использовать ПЛК с собственной внутренней шиной данных.

Сформулированным выше требованиям наиболее полно удовлетворяет линейка устройств Micro850, присутствующих на рынке под брендом Allen-Bradley [6]. В работе использовалась модель 2080-LC50-24QWB. Данная модель имеет три слота расширения, два из которых были использованы в качестве аналоговых входов. Для этого в них были установлены модули 2080-IF4. Аналоговые выходы можно размещать только в виде дополнительного модуля. Поэтому к внутренней шине ПЛК были подключены модуль 2085-QF4 и терминатор шины 2085-ECR.

Модель 2080-LC50-24QWB имеет сетевой интерфейс Ethernet, что облегчает сопряжение с панелью оператора и интеграцию в общезаводскую промышленную сеть управления. Для обеспечения коммуникации использовалась модель 1783-US4T1F оптоэлектрического коммутатора сети в промышленном исполнении от того же производителя. Коммутатор соединяет контроллер и панель оператора. Входящий в его состав оптический порт позволяет передавать данные в SCADA-систему, находящуюся на удалении до 5 км. Исходя из количества отображаемых параметров на лицевую панель шкафа автоматики следует поместить семидюймовую сенсорную операторскую панель, например модель 2711R-T7T.

В ходе подготовки спецификации оборудования учитывались условия эксплуатации НГС. Основными требованиями являются надежность, а также взрывозащищенное исполнение датчиков и исполнительных устройств [7-10]. Перечень применяемого оборудования представлен в таблице.

Как было показано выше, алгоритм управления НГС имеет четко выраженные последовательные этапы, некоторые из которых повторяются циклически. Опыт разработки программ для систем управления подобными объектами подсказывает, что в таких случаях целесообразно использовать язык программирования релейно-лестничной логики стандарта МЭК 61131-3 Ladder Diagram [11].

Концепция построения программного обеспечения в этом случае заключается в подготовке независимых блоков программы, каждый из которых соответствует отдельным стадиям работы НГС. Управление запуском и остановкой программных блоков осуществляется через управляющие биты. Такой подход позволяет гибко настраивать алгоритм по время пусконаладочных работ, а также в будущем использовать его отдельные блоки в других проектах.

В программе используется стандартизированное описание датчиков с аналоговым выходом. Поэтому для каждого датчика резервируются ячейки в области памяти целых знаковых переменных, имеющие идентификаторы следующего вида: [ИдентификаторДатчика]_AI – оцифрованное значение аналогового сигнала; [ИдентификаторДатчика]_EU – измеренное значение величины в инженерных единицах; [ИдентификаторДатчика]_SPI и [ИдентификаторДатчика]_SP2 – значения уставок.

На рис. 5 показана первая стадия работы НГС. Условием начала стадии служит установка бита «Работа разрешена», условием окончания стадии – установка бита «Заполнен НГС».

Перечень применяемого оборудования

Позиция в схеме автоматизации	Наименование и техническая характеристика	Тип, марка, обозначение документа, опросного листа	Производитель	Кол-во
LT102 LT202	Байпасный указатель-индикатор уровня, без дисплея, питание 24 VDC, выход 4-20 мА, 0ExialICT6, кабельный ввод M20x1,5, IP65	RIZUR-NBK-1-.-.- ./400-.-.- 1-./ 400-È-./.	RIZUR	2
DT101 DT201	Манометр 2,5 МПа, D=100 мм, нерж., штуцер нерж. M20x1,5	TM521 T20 (0-2,5МПа) M20x 1,5 Кл 1.5	РОСМА	2
TT001	Термопреобразователь взрывозащищенный, погр. 1 %, Pt100, 4-20 мА, D арматуры 10 мм, штуцер подвижный, монт. L = 100 мм	Метран-2700- (-50+200) С-0,15-(4-20)мА- Pt100-A02-100-80- H10-1ExdIICT5_ X-A2-БК-Н-У1.1	Метран	1
-Y1	Клапан прямого действия, нормально закрытый, взрывозащищенный, DN25, PN25, с термочехлом, электромагнитный привод 230Vac/300(8)W, 1ExdIIБТ4	СЕНС 25-25-НЗ-ХЛ	НПП «Сенсор»	1
LA101 LA201	Вибрационный сигнализатор уровня VEGASWING 61	SWING61.CA.GBV. X.M.Z.X	VEGA Grieshaber KG	2
NS101 NS201	Насос шестеренный НМШ	НМШ-5-25-4,0/4	ГМС- ЛИВГИД РОМАШ	2

После отработки первой стадии выставляется бит «Сброс смеси» и начинается второй этап алгоритма, представленный на рис. 6. На данном этапе выставляется бит NS102, отвечающий за работу насоса NS102. Насос работает до тех пор, пока уровень не достигнет уставки LT102_SP2, которая соответствует величине $h_{н}/2$.

Аналогичным образом на языке Ladder Diagram описаны остальные этапы алгоритма управления НГС. Для операторской панели разработана система пользовательского меню, структура которой представлена на рис. 7.

Главный экран схемы автоматизированного управления НГС отображается при включении питания шкафа автоматики. Кроме мнемосхемы техпроцесса на нем размещены экранные элементы управления, служащие для перехода к другим экранам. Общий вид главного экрана представлен на рис. 8.

В процессе работы системы на главном экране отображаются текущие показания датчиков вместе с их обозначениями.

Повышение информативности мнемосхемы обеспечивается также за счет цветового кодирования, т. е. состояния исполнительных устройств отображаются с помощью цветов: открытая задвижка или работающий насос отображаются зеленым цветом, закрытое/нерабочее состояние кодируется серым цветом, авария – красным.

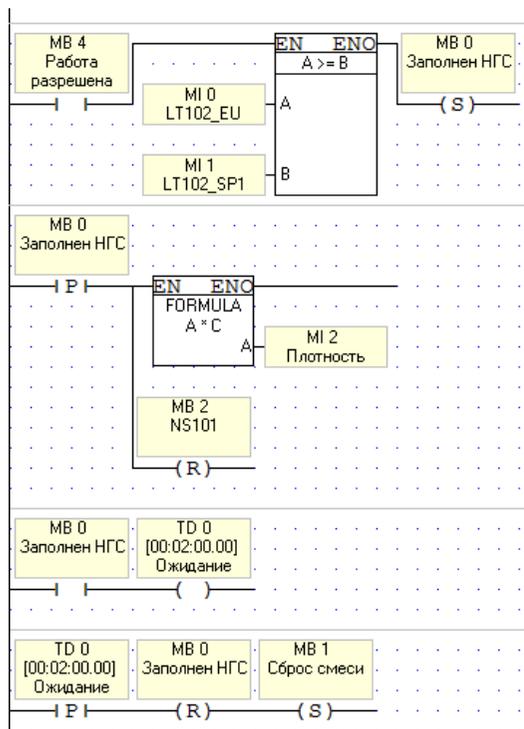


Рис. 5. Программная реализация первой стадии работы НГС

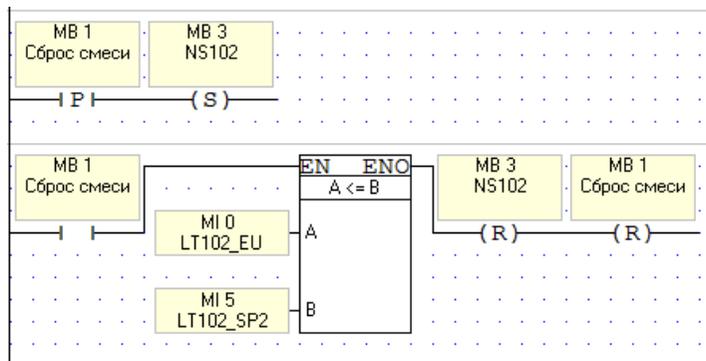


Рис. 6. Программная реализация второй стадии работы НГС

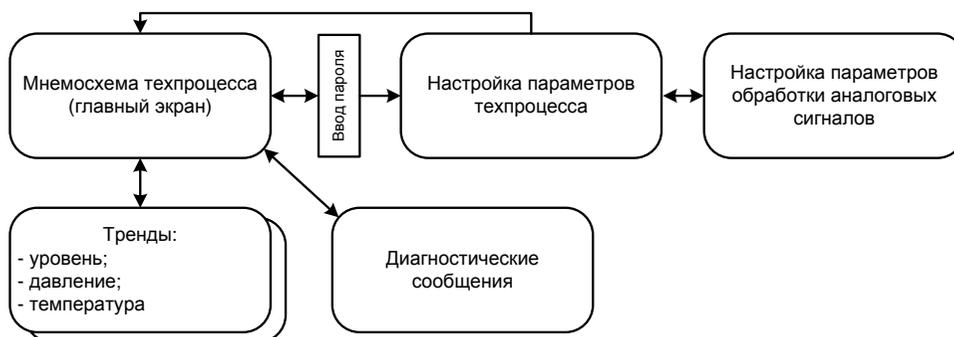


Рис. 7. Структура пользовательского меню

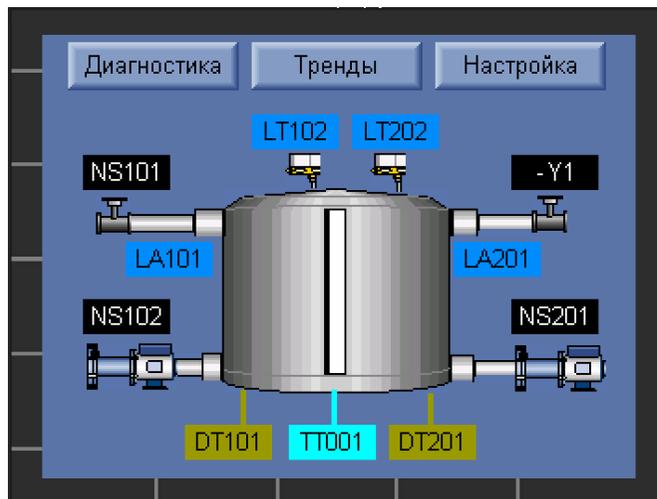


Рис. 8. Главный экран управления НГС

Таким образом, впервые разработана автоматизированная система управления горизонтальным трехфазным нефтегазосепаратором с контролем плотности нефтесодержащей смеси. Основные полученные результаты работы следующие:

1. Разработан детализированный алгоритм работы НГС.
2. Формализована схема автоматизированного управления НГС.
3. Выбраны типы и конкретные наименования датчиков, исполнительных устройств и средств интеллектуальной обработки информации, необходимой для управления НГС.
4. Написано программное обеспечение на языке программирования релейно-лестничной логики Ladder Diagram.
5. Предложена структура пользовательского меню и вид главного экрана управления НГС.

Внедрение разработанной системы позволит существенно улучшить качество разделения фаз нефтесодержащей смеси за счет использования более эффективного способа и алгоритма управления устройством и не требует существенных капитальных вложений в модернизацию имеющегося технологического оборудования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Щербинин А.И., Назаров В.А., Соколов А.Г. и др. Техническое обеспечение мероприятий по повышению уровня добычи нефти и газа и снижению себестоимости // Сфера. Нефть и Газ. – 2012. – № 3. – С. 166–168.
2. Иванов С.С., Тарасов А.А., Зобнин А.А. и др. Увеличение выхода нефти и снижение содержания легких жидких углеводородов в нефтяном газе при проектировании установок подготовки нефти // Нефтяное хозяйство. – 2011. – № 8. – С. 138–140.
3. Зеленский В.А., Коннов В.П. Автоматизация технологических объектов цеха добычи нефти и газа // Известия СНЦ РАН. – 2014. – Т. 16. – № 4(3). – С. 547–550.
4. Зеленский В.А., Щодро А.И. Повышение эффективности сепарации с помощью контроля дифференциальной плотности нефтегазовой смеси // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2015. – № 1(45). – С. 178–183.
5. Зеленский В.А., Щодро А.И. Объектно-ориентированный подход к моделированию трехфазного горизонтального нефтегазосепаратора // Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций: Труды Всероссийской научно-технической конференции. – Самара: СГАУ, 2015. – С. 97–100.

6. Электронный ресурс: <http://www.aksprom.biz/Catalog/Allen-Bradley/14754/Micro850-Kontrollery-programmiruemye>
7. Электронный ресурс: <http://www.rizur.ru/>
8. Электронный ресурс: http://metran.nt-rt.ru/images/showcase/Datchiki_temperature_2013.pdf
9. Электронный ресурс: <http://www.nppsens.ru/catalog/showproduct/168>
10. Электронный ресурс: <http://www.novec.ru/catalog/novosibirsk/catalog/vega/al05.pdf>
11. Минаев И.Г., Шаранов В.М., Самойленко В.В., Ушкур Д.Г. Программируемые логические контроллеры в автоматизированных системах управления. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ставрополь: АГРУС, 2010. – 128 с.

Статья поступила в редакцию 1 марта 2016 г.

SYSTEM OF AUTOMATIC CONTROL OF GAS-OIL SEPARATOR CONTROL THE DENSITY OF THE OILY MIXTURE

V.A. Zelenskiy, D.B. Zhmurov, A.I. Shchodro

Samara State Aerospace University
34, Moscow highway, Samara, 443086, Russian Federation

One of the priorities of the domestic economy is to increase resource efficiency in oil production and refining sector. Development of automated control system of gaz-oil separator is directed to solving this important national economic tasks, which leads to the relevance of the work performed. The candidate system is different from the existing analogue elements control the density of the oily mixture and was developed for the first time. The detailed proposed algorithm and the scheme of automation, the selected types and names of sensors, actuators and intelligent means of measuring information processing. Developed software in ladder logic Ladder Diagram, the structure of the user menu and view the main control screen. Introduction of system of automated management gaz-oil separator will significantly improve the quality of the phase separation in the oily mixture on the existing process equipment.

Keywords: *three-phase horizontal gaz-oil separator, computer-aided management gaz-oil separator, controls the density of the oily mixture, programmable digital logic controller, a programming language of relay-ladder logic.*

*Vladimir A. Zelenskiy (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.
Denis B. Zhmurov (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.
Artem I. Shchodro, Postgraduate Student.*

УДК 66.023

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОЙ СИСТЕМЫ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА ANSYS ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ НАСАДКИ С ВЕРТИКАЛЬНЫМИ КОНТАКТНЫМИ РЕШЕТКАМИ

С.В. Иваняков

Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: mahp@inbox.ru

Рассмотрена несущая способность насадочных устройств с вертикальными контактными решетками (АВР). Выявлены основные конструктивные параметры, влияющие на прочностные свойства насадки. Разработана модель насадки АВР и проверена ее адекватность. В результате моделирования получена зависимость предельной нагрузки на одну точку контакта от конструктивных параметров массообменного устройства. Определены максимально допустимые расстояния между косынками, что позволяет при сохранении требуемой прочности насадки снизить ее стоимость.

Ключевые слова: насадка с вертикальными контактными решетками, предельные нагрузки, математическое моделирование, конечно-элементный анализ.

Насадка с вертикальными контактными решетками (АВР) относится к современным регулярным массообменным насадочным устройствам, таким как насадки фирм SULZER, NORTON и др., и представляет одно из наиболее перспективных направлений развития массообменной аппаратуры. При этом помимо высокой эффективности насадка АВР должна обладать достаточной механической прочностью, позволяющей выдерживать нагрузки как от веса самой насадки, так и от воздействия газовых и жидкостных потоков в ее объеме.

В связи с многообразием конструктивных размеров насадки АВР, изготавливаемой в соответствии с существующими техническими требованиями [1], проведение механических методов определения несущей способности массообменного устройства связано со значительными финансовыми затратами. Однако использование программной системы конечно-элементного анализа ANSYS позволило упростить процедуру определения предельно допустимых нагрузок на элементы насадки АВР.

Моделирование проводилось в несколько этапов:

- разработка геометрических моделей;
- построение конечно-элементной схемы с учетом физических свойств материала;
- выполнение расчетов и обработка результатов.

Насадка АВР представляет собой «массообменное контактное устройство (рис. 1), включающее вертикальные контактные решетки и прилегающие к ним зигзагообразные перегородки с косынками [2].

На основании конструкции насадки была проведена разработка геометрических моделей (рис. 2) с учетом требований технических условий. Варьировались

Сергей Викторович Иваняков (к.т.н., доц.), доцент кафедры «Машины и оборудование нефтегазовых и химических производств».

высота контактной камеры элемента насадки (60 и 80 мм), толщина металла (0,6, 0,8 и 1,0 мм) и расстояние между косынками (от 60 до 360 мм).

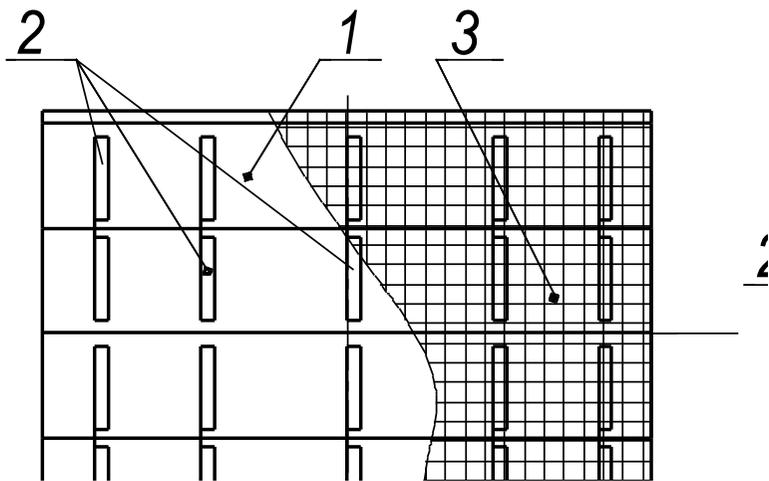


Рис. 1. Конструкция насадки АВР:

1 – зигзагообразная перегородка; 2 – косынки; 3 – контактная решетка

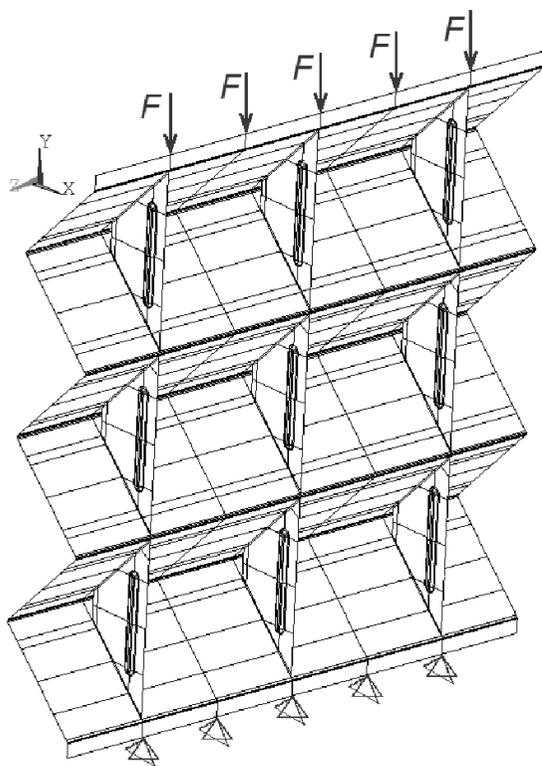


Рис. 2. Геометрическая модель насадки АВР 60×60 с толщиной элементов 0,8 мм и расстоянием между косынками 120 мм с учетом приложения нагрузок и ограничения перемещений

На втором этапе на основе геометрических моделей были разработаны конечно-элементной схемы элементов насадки с учетом физических свойств материала. В качестве основного материала [1] использовалась сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-72 со следующими свойствами:

- модуль упругости – $1,98 \times 10^5$ МПа;
- предел текучести – 276 МПа;
- коэффициент Пуассона – 0,3;
- плотность – 7920 кг/м^3 .

Дальнейшее исследование заключалось в определении предельно допустимых нагрузок насадки АВР, при которых сохраняется ее полная работоспособность. В качестве предельной нагрузки было решено считать нагрузку, при которой достигается предел текучести в любом элементе модели. При этом несущая способность элемента насадки АВР еще полностью не исчерпывается (рис. 3).

В результате проведенной работы было получено выражение, позволяющее определить предельную нагрузку на одну точку контакта элемента насадки АВР (кг):

$$m = (a + b \cdot l + c \cdot \delta) / (1 + d \cdot l + e \cdot \delta), \quad (1)$$

где l – расстояние между косынками, м;

δ – толщина металла, м;

a, b, c, d, e – коэффициенты, характерные для определенного размера контактной камеры насадки.

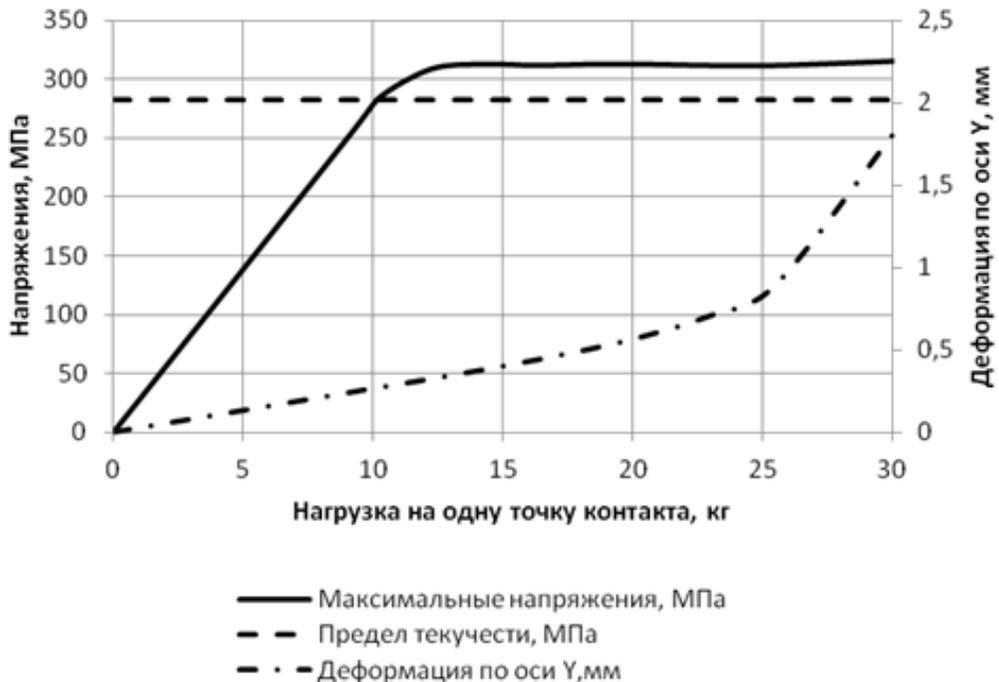


Рис. 3. Зависимость максимальных напряжений и деформаций по вертикальной оси (ось Y) от нагрузки на одну точку контакта для насадки АВР 60×80 с толщиной элементов 0,8 мм и расстоянием между косынками 180 мм

Значения коэффициентов в выражении (1) для различных размеров насадки АВР приведены в табл. 1.

Значения коэффициентов в формуле (1)

Насадка	Значения коэффициентов				
	a	b	c	d	e
60×60	0,856	-10,916	14340,5	5,675	-97,561
60×80	11,517	-33,662	8219,6	4,496	-1010,473

Адекватность полученных результатов была проверена на испытательном стенде. Для этого к элементу насадки АВР 60×60 с толщиной 0,8 мм и расстоянием между косынками 190 мм прикладывались различные усилия и тензодатчиками определялись возникающие напряжения. Полученные экспериментальные данные сравнивались с расчетными значениями. Результаты сравнения приведены на рис. 4.

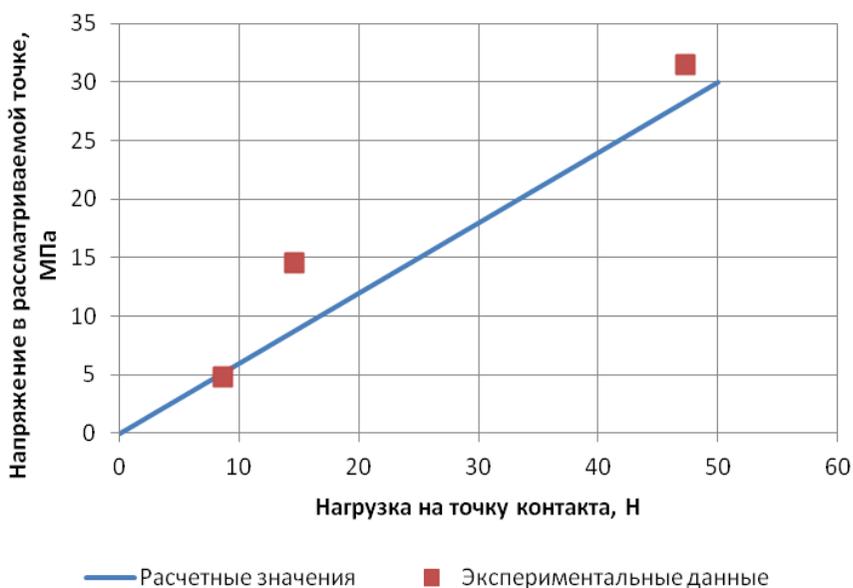


Рис. 4. Сравнение экспериментальных данных и расчетных параметров для насадки АВР 60×60 с толщиной элементов 0,8 мм и расстоянием между косынками 190 мм

С учетом того, что величина задержки жидкости в рабочем диапазоне нагрузок по газу и жидкости меняется в узком диапазоне [3], а влияние напора газа незначительно из-за большого свободного сечения применяемых решеток, выражение (1) было преобразовано в зависимость максимального расстояния между косынками (m) от конструктивных размеров насадки и количества рядов в пакете:

$$l_{max} = (a + b \cdot \delta + c \cdot N + d \cdot N^2) / (1 + e \cdot \delta + f \cdot N + g \cdot N^2 + h \cdot N^3), \quad (2)$$

где N – количество рядов насадки АВР в пакете, шт.;

δ – толщина металла, м;

a, b, c, d, e, f, g, h – коэффициенты, характерные для определенного размера контактной камеры насадки.

Значения коэффициентов в выражении (2) приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения коэффициентов в формуле (2)

Насадка	Значения коэффициентов							
	a	b	c	d	e	f	g	h
60×60	0,272	1393,7	-0,0306	0,000195	0,179	0,291	-0,00552	3,672e-5
60×80	0,369	197,3	-0,0109	0,000068	-0,034	0,035	-0,00091	6,352e-6

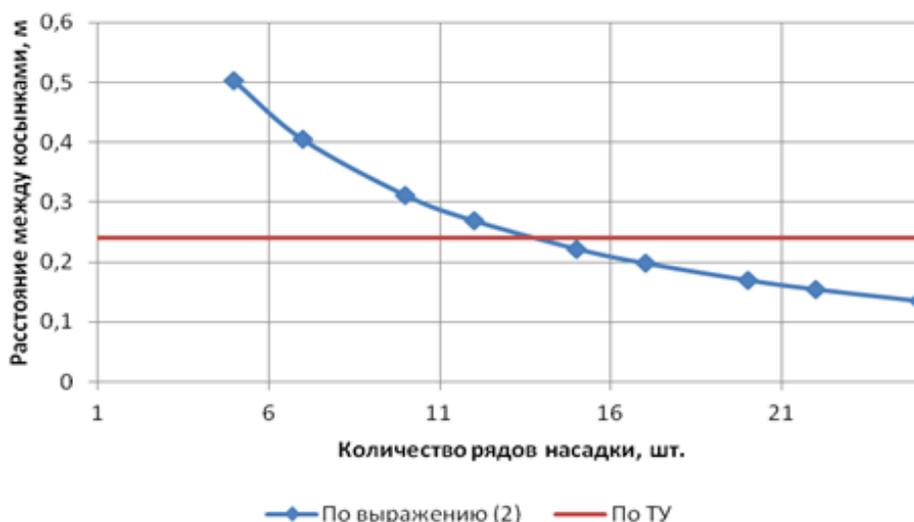


Рис. 5. Зависимость расстояния между косынками от количества рядов насадки АВР 60×60 с толщиной элементов 0,8 мм

Сравнивая полученные максимальные расстояния между косынками с размерами по техническим условиям на насадку АВР (рис. 5), которые составляют 60÷240 мм, можно сделать вывод, что это расстояние в большинстве случаев может быть увеличено. А так как косынки составляют до 30 % массы насадки, увеличение расстояния между ними уменьшает себестоимость насадки (до 13 % себестоимости).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ТУ 3611-81853606-001-2008 Насадка АВР для колонных аппаратов. – Введ. 2008.01.22 – Самара, 2008. – 20 с.
2. Пат. 2565189 Российская Федерация, МПК В01D 3/28. Массообменное контактное устройство / Григорян Л.Г., Игнатенков Ю.И.; заявитель Григорян Л.Г., Игнатенков Ю.И., патентообладатель ООО «Инженерный центр «Нефть и газ». – № 2014105241; заявл. 12.02.14; опубл. 20.10.15. Бюл. № 29. – 8 с.
3. Михайлов С.С., Григорян Л.Г., Лесухин С.П., Иваняков С.В. Обобщенные гидродинамические параметры массообменных аппаратов с вертикальными решетками // Математическое моделирование и краевые задачи: сб. тр. науч.-практич. конф. – Самара: СамГТУ, 1999. – С. 95-97.

Статья поступила в редакцию 20 января 2016 г.

APPLICATION OF THE SOFTWARE SYSTEM OF ANSYS FINITE-ELEMENT ANALYSIS FOR COMPUTER MODELING OF RESIDUAL STRESS OF HEAD S FOR VERTICAL-GRIDS DEVICES

S. V. Ivanyakov

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

The paper deals with the bearing capacity of heads with vertical contact grids (VGD). The main structural parameters affecting the strength properties of the head are found. A model of a VGD head is developed, its adequacy being checked. As the modeling result, the dependency of a contact-point ultimate load on the mass-exchanger design structural parameters is obtained. The maximum permissible distance between the gussets is determined which allows the head's cost to be reduced while retaining its required strength.

Keywords: head with vertical gratings, ultimate loads, mathematical modeling, finite element analysis.

УДК 65.011.2

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УСЛУГ МУНИЦИПАЛЬНЫМИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ

С.П. Орлов, Н.Ю. Иванова, Д.С. Савельев

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

Рассматривается проблема оценки эффективности работы муниципальных учреждений по электронным услугам для населения. Обработка информации характеризуется большой номенклатурой и разнородностью электронных услуг. Приведена схема информационного взаимодействия субъектов и объектов, участвующих в этом процессе. Для объективной оценки эффективности предложено использовать методологию анализа среды функционирования. Сформулированы критерий эффективности и модель в виде задачи линейного программирования. На основе стандартных статистических отчетов о государственных услугах определены наборы входных и выходных параметров оцениваемых объектов. Для дальнейшего повышения эффективности работы учреждений предложено строить искусственные объекты и определять практическую границу эффективности. Для этого разработана модель мелко-линейного программирования. Определены условия существования решений в представленной модели.

Ключевые слова: *информационные технологии, системный анализ, электронные услуги государственных органов для частных лиц, анализ среды функционирования, мелко-линейное программирование.*

Основная задача, стоящая перед муниципальными органами управления, заключается в повышении уровня жизни населения. Для этого необходимо развивать инфраструктуру среды обитания, эффективно использовать технологии управления [1]. В настоящее время большинство функций муниципальной деятельности реализуется через предоставление населению услуг различного вида. Внедрение информационных технологий привело к интенсивному развитию электронных услуг населению. Создаются информационные системы для обработки и анализа электронных услуг в муниципальных образованиях [2, 3]. Наличие таких информационных систем позволяет реализовать также мониторинг и оценку эффективности муниципальных организаций по реализации электронных услуг населению.

В статье описывается подход к решению задачи автоматизированной оценки деятельности различных муниципальных организаций и подразделений, основанный на методологии анализа среды функционирования (АСФ).

Информационная система обработки электронных услуг

Интегрированная информационная система крупного муниципального образования, например городского округа Самара, содержит ряд самостоятельно функционирующих систем. Они обеспечивают следующие функции управления:

Сергей Павлович Орлов (д.т.н., проф.), заведующий кафедрой «Вычислительная техника».

Надежда Юрьевна Иванова, магистрант кафедры «Вычислительная техника».

Дмитрий Сергеевич Савельев, аспирант кафедры «Вычислительная техника».

- документооборот в муниципальных организациях;
- контроль выполнения управляющих решений, распоряжений и приказов;
- ведение баз данных для различных областей деятельности;
- оказание электронных услуг;
- обработка, анализ и реагирование на обращения граждан (в том числе и электронные) в органы власти [3].

В рамках системы оказания электронных услуг предлагается реализовать функционал, обеспечивающий мониторинг и оценку эффективности работы с населением. На рис. 1 приведена структурная схема взаимодействия при оказании электронных услуг.

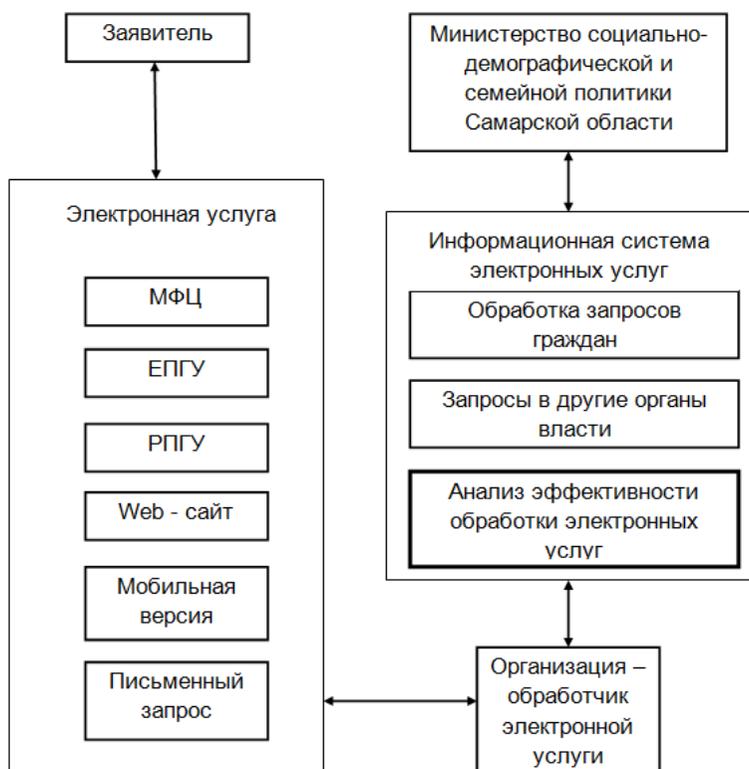


Рис. 1. Информационное взаимодействие при анализе электронных услуг:
 МФЦ – многофункциональный центр; ЕПУ – единый портал государственных услуг;
 РПУ – региональный портал государственных и муниципальных услуг

В состав информационной системы вводится подсистема, выполняющая на основе предлагаемой модели анализ эффективности различных муниципальных организаций по обработке электронных услуг (на рис. 1 выделена темной рамкой).

Модель АСФ для оценки эффективности

Проблема заключается в том, что следует оценивать разнородные услуги, которые оказывают муниципальные организации различного рода деятельности. Для решения аналогичных задач в системном анализе часто используют методологию DEA (Data Envelopment Analysis), или анализ среды функционирования

АСФ [4, 5, 6, 7]. Опыт построения моделей АСФ при анализе и оценке инвестиционных проектов [8, 9, 10] показывает, что этот подход будет продуктивен и при решении задачи, поставленной в данной статье.

Будем рассматривать множество муниципальных организаций, предоставляющих электронные услуги. На первом этапе каждая организация представляется в виде объекта с наборами входных и выходных параметров, общих для каждого объекта оценивания. Эти переменные описывают качество функционирования разнородных организаций. Для выбора параметров используется отчет по статистике государственных услуг, который формирует информационная система (рис. 2).

Статистика по госуслугам									
Наименование	Кол-во обращений за услугой (кол-во заявлений)			Кол-во предоставленных услуг (кол-во отработанных заявлений)		Кол-во отказов		Отправлено в АСХЭД	Кол-во консультаций
	Электр	Бумаж	МФЦ	Электр	Бумаж	Электр	Бумаж		
Оказание единовременной материальной помощи гражданам, оказавшимся в трудной жизненной ситуации	1	180	0	1	180	0	0	21	46
Организация оказания юридической помощи отдельным категориям граждан, проживающих на территории Самарской области	0	15	0	0	15	0	0	2	4
Организация отдыха и оздоровления детей, проживающих в Самарской области, в том числе детей, находящихся в трудной жизненной ситуации	0	122	0	0	122	0	0	26	0
Организация предоставления курса реабилитации в государственных учреждениях социального обслуживания Самарской области	0	2	0	0	2	0	0	0	0
Оформление и выдача социальной карты жителя	7	7165	0	7	7165	0	0	862	2110

Рис. 2. Отчет по статистике обработки обращений граждан (фрагмент)

Пусть X_{1n} – количество жителей, обслуживаемых n -й организацией; X_{2n} – количество типов оказываемых электронных услуг; Y_{1n} – количество предоставленных услуг в заданный период времени; Y_{2n} – средний процент выполнения услуг; $Y_{3n} = \ln(100/P_n)$ – показатель качества предоставления услуг; P_n – средний процент отказов по запросам услуг; $n = \overline{1, N}$, N – количество анализируемых организаций.

Методология АСФ позволяет находить не только различные меры эффективности функционирования экономических и социальных объектов, но и определять важные показатели, такие как эффект масштаба, эластичность и маргинальные коэффициенты.

Основная модель Чарнеса – Купера – Роуда [11] для оценки эффективности n объектов формулируется в виде задачи линейного программирования:

$$\min \Theta \quad (1)$$

при условии $\Theta x_0 - X\lambda; Y\lambda \geq 0; \lambda \geq 0$,

где X – матрица входов, Y – матрица выходов;

Θ – интегральный критерий эффективности исследуемого объекта;

λ – полуположительный вектор (фактор взвешивания), $\lambda_i \geq 0, \forall i = 1, \dots, n$.

Задача (1) решается с помощью симплекс-метода путем проведения N последовательных процедур решения системы линейных уравнений размерности N . В каждом решении находится критерий эффективности Θ_n для n -й организации и вектор λ_n весовых коэффициентов, минимизирующих функционал.

Решения, полученные по уравнению (1), используются для кластеризации муниципальных организаций по эффективности и определения мер по повышению значения критерия эффективности Θ .

Для каждого кластера может быть поставлена задача нахождения путей дальнейшего повышения эффективности муниципальной организации. Будем использовать модель практической границы P-DEA [12], которая позволяет на базе реальных эффективных объектов сформировать искусственные объекты с эффективностью, большей единицы. Такие искусственные объекты являются целью для дальнейшего повышения эффективности реальных объектов.

Применим данный подход к каждому ранее сформированному кластеру объектов и построим модель Банкера – Чарнеса – Купера ВСС_P-Output, ориентированную на выход с учетом переменного эффекта масштаба [5].

Задача дробно-линейного программирования для определения критерия Θ_0 эффективности искусственного объекта формулируется следующим образом:

$$\Theta_0 = \max \left(\frac{\sum_{m=1}^M u_m Y_{m0} + u_0}{\sum_{k=1}^K v_k X_{k0}} \right) \quad (2)$$

при ограничениях

$$\frac{\sum_{m=1}^M u_m Y_{mj} + u_0}{\sum_{k=1}^K v_k X_{kj}} \leq 1, \quad j = \overline{1, N}, \quad (3)$$

$$1 \leq \frac{\sum_{m=1}^M u_m Y_{m0} + u_0}{\sum_{k=1}^K v_k X_{k0}} \leq 1 + \delta, \quad (4)$$

$$u_m, v_k \geq 0, \quad \forall m, \forall k,$$

где X_{k0} и Y_{m0} – искомые значения входов и выходов искусственного эффективного объекта.

Величина δ задается на основе предварительного анализа разброса значений критерия на множестве организаций или с помощью экспертных оценок.

Для решения задачи дробно-линейного программирования (2) – (4) согласно [13] используем преобразование Чарнеса – Купера, которое сводит ее к решению двойственных задач линейного программирования. Полученные значения входов X_{k0} и выходов Y_{m0} искусственного объекта, а также искомые весовые коэффициенты u_m и v_k определяют положение искусственного эффективного объекта в пространстве входных и выходных параметров. Сравнивая i -ю реальную муниципальную организацию с искусственным объектом, можно получить значения необходимых изменений входных и выходных параметров для достижения этой организацией уровня эффективности искусственного объекта.

Для корректного использования метода Чарнеса – Купера необходимо, чтобы множество ограничений задачи было ограниченным. В формулировке задачи (2) – (4) это условие обеспечивается. Дробно-линейная функция (2) не является ни вогнутой, ни выпуклой, при этом поверхности уровня этой функции являются гиперплоскостями. В работе [14] доказано, что любой локальный минимум задачи дробно-линейного программирования является в то же время глобальным. Требуется, чтобы в целевой функции (2) числитель и знаменатель не обращались одновременно в нуль для любых значений аргументов на множестве, задаваемом ограничениями (3). Кроме того, делается предположение о положительности знаменателя дробно-линейной целевой функции.

Эти условия выполняются при постановке задачи оценки эффективности и построения искусственных объектов. Следовательно, преобразование Чарнеса – Купера применяется корректно и максимум, полученный симплекс-методом, является глобальным.

Заключение

Предложенная модель позволяет классифицировать муниципальные учреждения по степени обеспечения населения качественными электронными услугами. Результаты системного анализа эффективности услуг с помощью искусственных объектов дают возможность выявить слабые места и определить те параметры, изменение которых приведет к повышению качества выполнения электронных услуг.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Система муниципального управления / Под ред. В.Б. Зотова. – 5-е изд., испр. и доп. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2010. – 717 с.
2. Иванова Н.Ю., Орлов С.П. Информационная система анализа электронных услуг в муниципальных образованиях // Государственное и муниципальное управление: теория, методология, практика: сб. тр. XVII Международной научно-практической конференции. – Новосибирск, ЦРНС. – 2015. – С. 135-139.
3. Орлов С.П., Савельев Д.С. Архитектура информационной системы обработки электронных сообщений граждан // Наука и мир: Междунар. науч. журнал. – № 2(30). – Т. 1. – 2016. – С. 70-73.
4. Ramanathan R. An Introduction to Data Envelopment Analysis // A Tool for Performance Measurement. Sage Publications, 2003. – P. 25.
5. Banker R.D., Charnes A., Cooper W.W. Same models of estimating technical and scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis // Management science. – 1984. – 30(9). – P. 1078-1092.
6. Пискунов А.А., Иванюк И.И., Лычев А.В., Кривоножко В.Е. Использование методологии

- АСФ для оценки эффективности расходования бюджетных средств на государственное управление в субъектах Российской Федерации // Вестник АККОР. – № 2. – 2009. – С. 28-36.
7. *Моргунов Е.П.* Многомерная классификация на основе аналитического метода оценки эффективности сложных систем: Дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01/ Е.П. Моргунов; НИИ систем управления, волновых процессов и технологий. – Красноярск, 2003. – 160 с.
 8. *Нечаев Д.А., Орлов С.П.* Модели анализа и принятия решений при управлении региональными программами // Системы управления и информационные технологии. – № 2(52). – 2013. – С. 35-38.
 9. *Орлов С.П., Нечаев Д.А.* Комплексная оценка и классификация объектов водоснабжения регионов // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – Вып. 1(37). – 2013. – С. 14-21.
 10. *Нечаев Д.А.* Модели принятия решений в управлении региональной программой водоснабжения // Вестник Волжского университета им. Татищева. – № 2(21). – 2013. – С. 4-8.
 11. *Charnes A., Cooper W.W., Rhodes E.* Measuring the Efficiency of Decision Making Units // European Journal of Operational Research. – Vol. 2. – 1978. – P. 429-444.
 12. *Sowlati T.* Establishing the “Practical Frontier” in DEA: Ph.D. dissertation. – University of Toronto. Canada. – 2001. – 151 p.
 13. Programming with Linear Fractional Functionals / A.Charnes, W.W. Cooper // Naval Research Logistic Quarterly. – Vol. 9, № 3, 4. – 1962. – P. 181-196.
 14. *Dorn W.S.* Linear Fractional Programming. – IBM, Res. Rept, RS-830. – 1962.

Статья поступила в редакцию 1 февраля 2016 г.

ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF PROVIDING ELECTRONIC SERVICES BY MUNICIPAL AGENCIES

S.P. Orlov, N.Yu. Ivanova, D.S. Savelyev

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

The paper deals with the problem of assessing the efficiency of municipal agencies which provide e-services for the public. Information processing is characterized by a large and diverse nomenclature of electronic services. The scheme of information interaction of subjects and objects involved in this process is given. For an objective assessment of the operating-environment efficiency it is proposed to use the Data Envelopment Analysis methodology. The efficiency criterion and the model in the form of a linear programming problem are formulated. On the basis of standard statistical reports on public services, a set of input and output parameters of assessed objects is defined. To further increase the efficiency of the agencies it is proposed to build artificial objects and define the practical efficient frontier. The model of a linear-fractional programming is offered. The conditions for the existence of solutions in the presented model are determined.

Keywords: *information technologies, system analysis, e-services G2C, Data Envelopment Analysis, linear fractional programming.*

*Sergey P. Orlov (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.
Nadezda Yu. Ivanova, Undergraduate Student.
Dmitry S.Savelyev, Postgraduate Student.*

УДК 658.011.56

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ И КРИТЕРИЯ ОПТИМИЗАЦИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СКЛАД- СКИМИ ЗАПАСАМИ НА БАЗЕ АППАРАТА КЛАССИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

А.В. Сергеев¹, А.А. Новиков²

¹ Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

² ООО «Сервис-Центр-Автоматика»
Россия, 446207, Самарская обл., г. Новокуйбышевск, территория промзоны ОАО «НК НПЗ»

Предлагается к рассмотрению вопрос о применимости математического аппарата и методов классической теории автоматического управления для анализа и синтеза систем управления производственными и бизнес-процессами предприятий. Изложены исходные предпосылки, дающие основание предполагать возможность получения практически значимых результатов в выбранном направлении исследований. Приведено описание математической модели системы управления страховыми запасами предприятия в форме дискретных передаточных функций. Сформулированы критерии решения задачи оптимального управления уровнем складских запасов предприятия, учитывающий различный характер дополнительных издержек их содержания, вызванных отклонениями уровня запаса в большую или меньшую сторону от заданного значения.

Ключевые слова: *автоматизированные системы управления производственными процессами, теория автоматического управления, модель управления запасами, склад, страховой запас, функциональная схема системы, ПИД-алгоритм регулирования, расходы на содержание запасов, критерий оптимального управления уровнем запасов, настройка регулятора.*

Центральным вопросом предлагаемого авторами для рассмотрения в данной статье направления исследований является вопрос о применимости математического аппарата и методов классической теории автоматического управления (ТАУ) для анализа и синтеза систем управления производственными и бизнес-процессами предприятий. Исходными предпосылками, дающими основание рассчитывать на получение содержательных результатов в данном направлении, являются [1]:

– применение балансового принципа отражения в учете фактов хозяйственной деятельности предприятий (бухгалтерский баланс), являющегося полной аналогией законов сохранения энергии и материи, на основе которых строятся математические модели технических объектов;

– отсутствие ограничений на природу управляемых объектов и процессов в рамках ТАУ и, соответственно, универсальный характер полученных ею результатов.

Таким образом, в случае получения положительного ответа на обозначенный выше основной вопрос предпринятого автором исследования можно с большой

Антон Владимирович Сергеев (к.т.н.), доцент кафедры «Автоматика и управление в технических системах».

Алексей Александрович Новиков, начальник участка КИПиА.

степенью уверенности ожидать, что богатый арсенал методов ТАУ для построения систем автоматического управления техническими объектами и технологическими процессами, наработанный на сегодняшний день, будет доступен и для разработки автоматизированных систем управления производственными и бизнес-процессами предприятий. Этими ожиданиями определяется практическая значимость данной работы, поскольку конечным ее результатом должна стать разработка единой методологии и математического инструментария построения автоматизированных систем управления ресурсами предприятий (ERP-систем), в том числе и реализующих оптимальное управление предприятиями в строгом смысле этого термина.

Возможность применения методов ТАУ в сфере управленческой деятельности представляет интерес для решения задач управления как предприятиями в целом, так и их отдельными бизнес-процессами в равной степени. Если сконцентрироваться на последнем типе задач, то, обратившись к истории появления и развития ERP-систем, можно увидеть, что здесь на первый план выдвигается задача управления поставками сырья и комплектующих или их складскими запасами. Кроме того, склад как объект управления с точки зрения ТАУ представляет собой элементарное интегрирующее звено, т. е. является достаточно простым объектом управления, что также делает эту задачу привлекательной для первых шагов в данном направлении.

Исходя из приведенных выше соображений в работе [2] авторы предложили математическую модель автоматизированной системы управления складом в форме передаточных функций и выполнили ряд численных экспериментов с ее использованием в среде моделирования динамических систем Simulink пакета прикладных программ MATLAB.

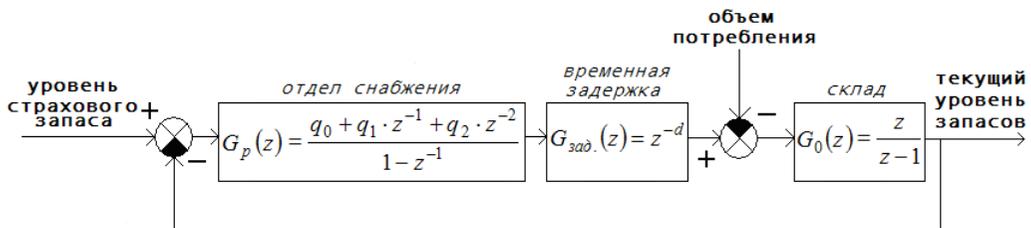
При построении модели системы авторы исходили из того, что, как правило, с целью снижения накладных расходов предприятия стремятся свести к минимуму уровень своих запасов. Одновременно с этим они предпочитают держать некоторый резерв на случай непредвиденных обстоятельств (задержки поставок, обнаружение брака, неожиданное увеличение спроса и т. д.), чтобы не допускать простоев производства или срыва поставок готовой продукции. Этот резерв получил название «страховой запас». В таком случае задача управления состоит в том, чтобы поддерживать постоянный заданный уровень страхового запаса при условии возможного проявления возмущающих факторов, упомянутых выше.

Кроме этого необходимо принять во внимание, что состояние складских запасов меняется не непрерывно, а только в моменты поступления товаров на склад или их списания со склада, и сам процесс формирования и выдачи заказа на пополнение складских запасов носит дискретный характер. В связи с этим было предложено остановиться на дискретном описании модели системы управления запасами.

В итоге процесс управления запасами был представлен в виде следующей функциональной схемы (см. рисунок).

Здесь входным сигналом модели является заданный уровень страхового запаса; объект управления – склад – представлен интегратором; на входе объекта управления действует возмущающее воздействие – потребление материалов со склада; управляющим органом (регулятором) является отдел снабжения, задачей которого является организация поставок для поддержания заданного уровня страхового запаса материалов на складе. В предложенной модели регулятор реализует типовой ПИД-алгоритм регулирования по отклонению текущего уровня

запаса от заданного. То есть в данной системе на основании информации о величине отклонения текущего уровня запаса от заданного в соответствии с ПИД-алгоритмом рассчитывается необходимый объем поставок. В связи с наличием временных задержек по поставкам в модель управления включено звено запаздывания. Процесс учета товарно-материальных ценностей на складе представляет собой обратную связь в системе управления запасами.



Структурно-функциональное представление модели управления запасами

Очевидно, что после того, как получена математическая модель системы и определена область ее устойчивого функционирования, возникает задача поиска настроек регулятора, обеспечивающих заданное качество управления, решение которой начинается с формулировки критерия управления, о выборе которого и пойдет речь далее.

Как известно, в практике построения автоматических систем управления применяются различные варианты критериев настройки регуляторов. При этом в каждом конкретном случае на выбор того или иного критерия существенное влияние оказывают стоящая перед системой управления задача и конструктивные или технологические особенности управляемого объекта или процесса соответственно. Так, в одних случаях важно избежать перерегулирования управляемой координаты и исключить колебательный характер переходных процессов в системе, в других требуется минимизировать время их протекания и т. д. То есть исходя из соображений технологического характера формируются требования к параметрам переходных процессов, возникающих в системе при реакции на внешние возмущающие воздействия.

В рассматриваемой здесь задаче управляемой координатой является уровень запасов, следовательно, выбор параметров алгоритма управления будет осуществляться по переходному процессу изменения во времени уровня запаса под воздействием внешних возмущений. Целью разрабатываемой системы управления является поддержание заданного уровня запаса L_0 на складе предприятия, откуда следует, что в оценку эффективности работы системы целесообразно положить отклонение его текущего уровня $l(k)$ от целевого L_0 (1):

$$e(k) = L_0 - l(k), \quad k = 0, 1, 2, \dots, k^{nn}, \quad (1)$$

где k – дискретные моменты времени, в которые производится оценка состояния системы и выработка управляющих воздействий (такты работы системы); k^{nn} – момент окончания переходных процессов в системе.

Отклонения в одну или другую сторону от заданного значения уровня напрямую или опосредованно сопряжены с увеличением издержек предприятия на управление запасами. Увеличение уровня запасов требует дополнительных

затрат на их хранение, и кроме того замораживает дополнительный объем оборотных средств. Снижение уровня создает потенциальный риск потерь от простоя производства и неудовлетворенного потребительского спроса. Данная угроза носит потенциальный характер, но в случае ее реализации она имеет для предприятия гораздо более тяжелые последствия, чем переизбыток запаса.

Так или иначе, если при синтезе управления сконцентрироваться на проблеме оптимизации расходов на содержание запасов, то из этого естественным образом вытекает задача минимизации совокупности отклонений текущего их объема от целевого уровня. Именно в этом случае совокупные издержки содержания запасов будут минимальными. В технических приложениях классической ТАУ подобные оптимизационные задачи обычно решаются путем поиска настроек регулятора, минимизирующих квадратичный показатель качества регулирования:

$$J_1(\Delta) = \sum_{k=0}^{k^{nn}} e(\Delta, k)^2 \rightarrow \min_{\Delta \in R^n}, \quad (2)$$

где Δ – вектор настраиваемых параметров регулятора.

Такая постановка задачи оптимального управления будет иметь смысл и для рассматриваемой здесь системы, в которой регулятор играет роль алгоритма расчета необходимого объема заказа, но только в том случае, если отклонения от требуемого уровня запасов в большую либо в меньшую сторону (при равных абсолютных величинах отклонений) будут приводить к одинаковым финансовым потерям. Однако в общем случае эти два вида потерь (от дефицита и от переизбытка запаса) имеют для предприятия разную цену и степень значимости. Следовательно, управление, построенное по критерию (2), не будет оптимальным в смысле минимума расходов на содержание запасов.

С учетом изложенных выше соображений суммарные потери предприятия от колебания уровня запасов в течение периода затухания переходных процессов в системе управления можно представить следующим образом:

$$J_2(\Delta) = \sum_{k=0}^{k^{nn}} c(k) \cdot e(\Delta, k), \quad \text{где} \begin{cases} c(k) = c_1, & \text{при } e(\Delta, k) \geq 0; \\ c(k) = -c_2, & \text{при } e(\Delta, k) < 0. \end{cases} \quad (3)$$

Здесь c_1 – удельные совокупные расходы предприятия на хранение единицы сырья; c_2 – оценка убытков от простоя производства и неудовлетворенного потребительского спроса, отнесенных на единицу сырья. Соответственно задача выбора оптимальных настроек регулятора (параметров алгоритма расчета объема заказа) будет сводиться к поиску минимума показателя качества регулирования $J_2(\Delta)$:

$$J_2(\Delta) \Rightarrow \min_{\Delta \in R^n}. \quad (4)$$

Сформулированный таким образом критерий (3), (4) в общем случае исключает возможность получения решения задачи параметрической оптимизации алгоритма управления запасами в аналитическом виде. Однако он не представляет принципиальных трудностей для реализации численного алгоритма поиска оптимального решения.

Таким образом, очевидно, что следующей задачей на пути к построению автоматизированной системы, реализующей рассматриваемую здесь модель управ-

ления запасами, является поиск или разработка эффективной вычислительной процедуры для решения задачи (4).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Сергеев А.В.* Предпосылки к применению классического аппарата теории автоматического управления в качестве методологической платформы для разработки ERP-систем // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2012. – № 2 (34). – С. 39-43.
2. *Сергеев А.В., Новиков А.А.* Разработка модели системы управления поставками материалов для промышленных предприятий на базе классической теории автоматического управления // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2013. – № 3 (39). – С. 41-47.

Статья поступила в редакцию 1 февраля 2016 г.

THE DEVELOPMENT OF MODELS AND OPTIMIZATION CRITERIA FOR AN INVENTORY MANAGEMENT AUTOMATIC SYSTEM ON THE BASIS OF THE TOOLS OF THE CLASSICAL AUTOMATIC-CONTROL THEORY

A.V. Sergeev¹, A.A. Novikov²

¹ Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

² "Service Centre Automatic" Ltd
Novokuybyshevsk, the territory of the industrial zone of OJSC "NK Refinery",
Samara region., 446207, Russian Federation

The paper treats of the possibility of applying the mathematical tools and methods of classical automatic-control theory for analysis and synthesis of a company's manufacturing and business processes management. The description of a mathematical model of a company's safety stock management in the form of discrete-time functions is given taking into account such factors as delays in delivery or unexpected increase in demand. The criterion of solving the problem of a company's optimum inventory management is defined. This criterion takes into account various additional expenses caused by the stock increasing or decreasing in comparison with the demand value.

Keywords: *inventory management, automatic control theory, inventory management model, warehouse, inventory items, insurance stock, stocks level, criterion, disturbance, PID-controller, functional blocks, transitional processes.*

*Anton V. Sergeev (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.
Aleksey A. Novikov, Chief of Area.*

УДК 004.8

РЕАЛИЗАЦИЯ НЕЙРОННОЙ СЕТИ В ЭЛЕКТРОННОЙ ТАБЛИЦЕ

Н.Н. Хрисанов

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

Рассматривается реализация нейронной сети в офисном пакете OpenOffice.org. Приведена схема нейронной сети, обоснован выбор функций активации, схемы вычисления градиента критерия качества в процессе обучения. Рассмотрена структура программного обеспечения, включающая модули предварительной обработки и нормализации экспериментальных данных, взаимодействия с базой данных, инициализации и обучения нейронной сети, управления диалогами, модуль диагностики. Приведены результаты применения нейронной сети для решения одной задачи распознавания, позволившие обосновать выбор функций активации, объем выборки для обучения нейронной сети и обеспечить высокий уровень распознавания.

Ключевые слова: нейронная сеть, функция активации, критерий качества обучения, электронная таблица, OpenOffice.

Нейронная сеть реализована в среде приложения Calc офисного пакета OpenOffice.org, язык программирования – Basic. Структура программы соответствует [1, 2].

Применение пакета OpenOffice.org имеет следующие преимущества: не требуется приобретение лицензии, приложения работают без изменений в разных операционных системах (Windows, Linux); пользователю, знакомому с работой в MS Office, а именно с электронной таблицей Excel, не нужно переучиваться при переходе к работе с пакетом OpenOffice.org.

На рис. 1 показана обобщенная структура нейронной сети, реализуемая программой.

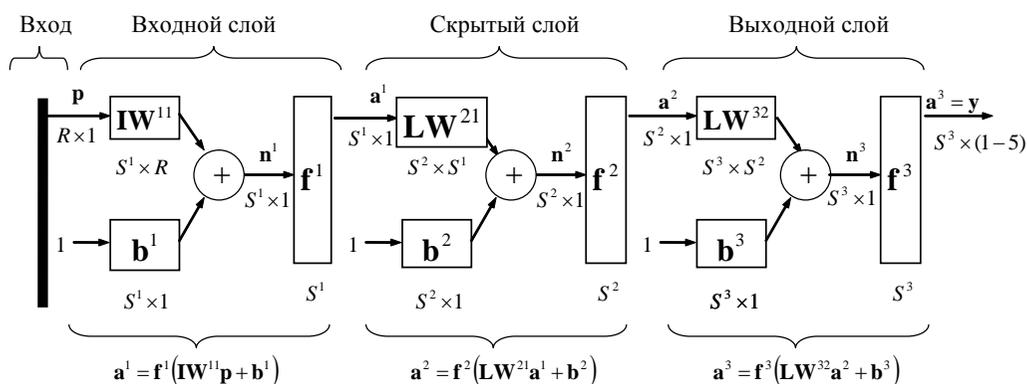


Рис. 1. Структура нейронной сети

Николай Николаевич Хрисанов (к.т.н., доц.), доцент кафедры «Вычислительная техника».

На рисунке:

\mathbf{p} – вектор входных наблюдений;

R – размерность вектора \mathbf{p} ;

\mathbf{IW}^{11} – матрица весов входного слоя;

\mathbf{LW}^{ij} – матрица весов от слоя j к слою i ;

\mathbf{b}^i – вектор смещения i -го слоя;

\mathbf{f}^i – функции активации i -го слоя;

S^i – количество функций активации в i -м слое;

\mathbf{y} – выходной вектор.

В нейронной сети каждый элемент вектора входа (для входного слоя это вектор \mathbf{p} , для остальных вектор \mathbf{a}^i , где i – номер предыдущего слоя) соединен со всеми входами нейрона, и это соединение задается матрицей весов \mathbf{IW}^{11} для входного слоя и матрицей \mathbf{LW}^{ij} для остальных слоев. При этом каждый i -й нейрон включает суммирующий элемент, который формирует скалярный выход $n(k), k = 1 - S^i$. Совокупность скалярных функций $n(k)$ объединяется в S^i элементный вектор входа \mathbf{n}^i функции активации i -го слоя \mathbf{f}^i . Выходы слоя нейронов формируют вектор-столбец \mathbf{a}^i ; таким образом, описание слоя нейронов имеет вид

$$\mathbf{n} = \mathbf{f}(\mathbf{W} * \mathbf{p} + \mathbf{b}).$$

В соответствии с рекомендациями из [3] в качестве функций активации возможно использование или антисимметричной сигмоидальной функции вида

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{\alpha x}} - 0,5,$$

или антисимметричной линейной функции

$$f(x) = \begin{cases} ax, & \text{если } b - b/2 > ax > -b + b/2; \\ b - b/2, & \text{если } ax > b - b/2; \\ -b + b/2, & \text{если } ax < -b + b/2. \end{cases}$$

На рис. 2 представлены графики используемых функций активации, а также их производных, используемых в процессе обучения.

В процессе обучения нейронной сети реализуется алгоритм обратного распространения ошибки. При этом минимизируется функционал ошибки вида

$$J = \frac{1}{2} \sum_{q=1}^Q \sum_{i=1}^{S^M} \left(t_i^q - a_i^{qS^M} \right)^2,$$

где J – функционал;

M – число слоев сети;

Q – объем выборки;

q – номер выборки;

S^M – число нейронов выходного слоя;

$\mathbf{a}^q = [a_i^{qM}]$ – вектор сигнала на выходе сети;

$\mathbf{t}^q = [t_i^q]$ – вектор желаемых (целевых) значений сигнала на выходе сети

для выборки с номером q .

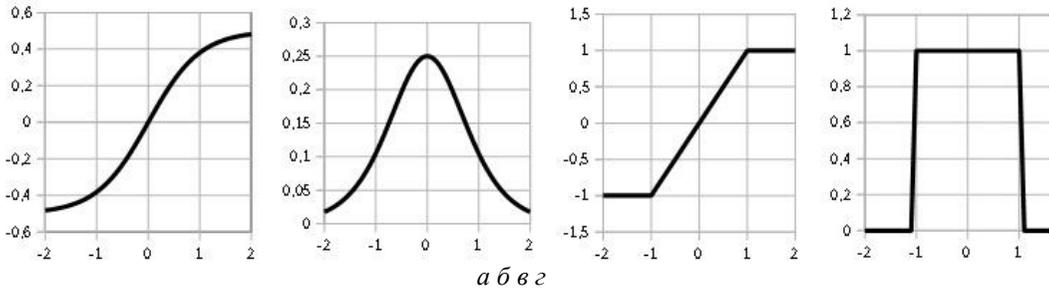


Рис. 2. Графики функций активации:

a – сигмоидальная функция; b – производная сигмоидальной функции; v – линейная функция; z – производная линейной функции

Вычисление частных производных критерия J , используемых для настройки весов выходного слоя, производится по формуле

$$\frac{\partial J}{\partial \omega_{ij}^M} = -\sum_{q=1}^Q \Delta_i^{qM} a_j^{q(M-1)}, \quad i = \overline{1, S^M}, j = \overline{0, S^{M-1}},$$

где $\Delta_i^{qM} = (t_i^q - a_i^{qM}) f'_M(n_i^{qM})$.

Для слоев $M-2, M-3, \dots, 1$ вычисление частных производных критерия J производится по формулам

$$\frac{\partial J}{\partial \omega_{ij}^r} = -\sum_{q=1}^Q \Delta_i^{qr} a_j^{q(r-1)}, \quad r = \overline{1, M-1}, j = \overline{0, S^{r-1}},$$

где r – номер слоя,

$$\Delta_i^{qr} = \left(\sum_{k=1}^{S^{r+1}} \Delta_k^{q(r+1)} \omega_{ki}^{r+1} \right) f'_r(n_i^{qr}), \quad r = \overline{1, M-1},$$

$$\Delta_i^{qM} = (t_i^q - a_i^{qM}) f'_M(n_i^{qM}).$$

На рис. 3 представлена схема вычислений, производимая в процессе обучения нейронной сети.

При написании программы использованы следующие компоненты OpenOffice.org: Calc – модуль электронных таблиц; Base – система управления базами данных. Для написания макросов использовался модуль OpenOffice.org Basic. Реализация отдельных функций нейронной сети компонентами пакета OpenOffice.org показана на рис. 4.

Программа включает следующие модули: модуль предварительной обработки и нормализации экспериментальных данных, модуль взаимодействия с базой данных, модуль управления диалогами, модуль инициализации и обучения нейронной сети, модуль диагностики.

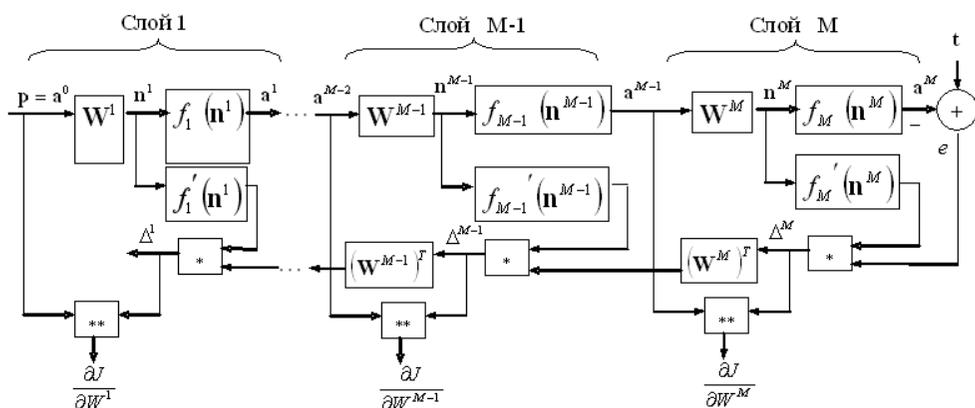


Рис. 3. Схема вычисления градиента критерия качества в процессе обучения

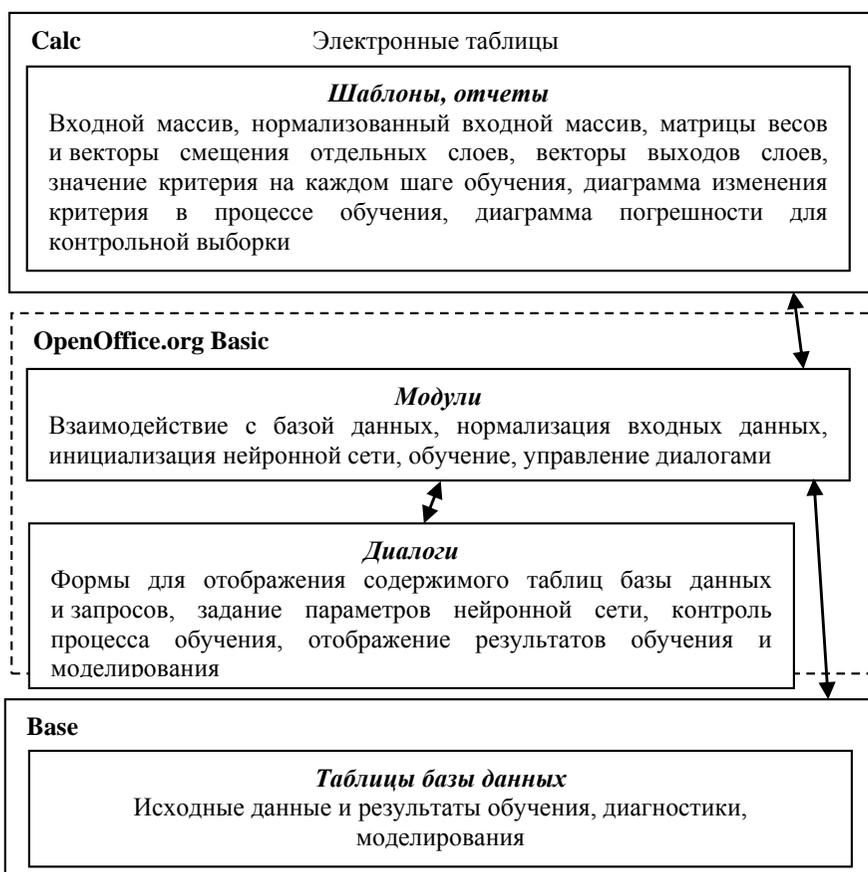


Рис. 4. Реализация отдельных функций нейронной сети компонентами пакета OpenOffice.org Basic

Модуль взаимодействия с базой данных позволяет сохранять исходные данные, результаты обучения и моделирования различных экспериментов. С помощью модуля предварительной обработки производится выявление противоречия-

ших друг другу экспериментальных данных, нормализация исходных данных. Нормализация проводится в соответствии с рекомендациями, изложенными в [3], и заключается в приведении исходных данных к линейному участку функции активации, а именно к диапазону $-0,5 \div 0,5$. Подобная нормализация позволяет значительно повысить скорость сходимости алгоритма обучения нейронной сети.

Модуль управления диалогами генерирует по запросу пользователя формы для ввода исходных данных при инициализации нейронной сети, ее обучения и обработки реальных данных. Форма для задания параметров обучения показана на рис. 5.

При инициализации задаются следующие параметры нейронной сети: количество слоев, объем выборки Q и размер входного вектора наблюдений R , количество нейронов в каждом слое, тип функций активации для каждого слоя (сигмоид или линейная) и ее параметры. Для процесса обучения задается максимальное число циклов (эпох), точность аппроксимации как максимальная разница значений критерия для двух последних итераций, скорость обучения. Также указывается, используется ли в процессе обучения вектор смещения \mathbf{b}^i .

Цикл	Критерий
1	6.15813065291109
5	6.01541556969418
10	5.84735537562966
15	5.68992438961148
20	5.54227850054431
25	5.40364301703803
30	5.273308375466
35	5.15062560434856
40	5.03500173474041
45	4.92589529088988
50	4.82281195232647

Рис. 5. Форма для задания параметров обучения

В процессе обучения в форме выводятся значения критерия для каждой пятой итерации. Процесс изменения критерия также можно наблюдать в реальном масштабе времени на графике (рис. 6). При подаче на вход нейронной сети контрольной выборки формируется диаграмма погрешностей для каждого выходного значения.

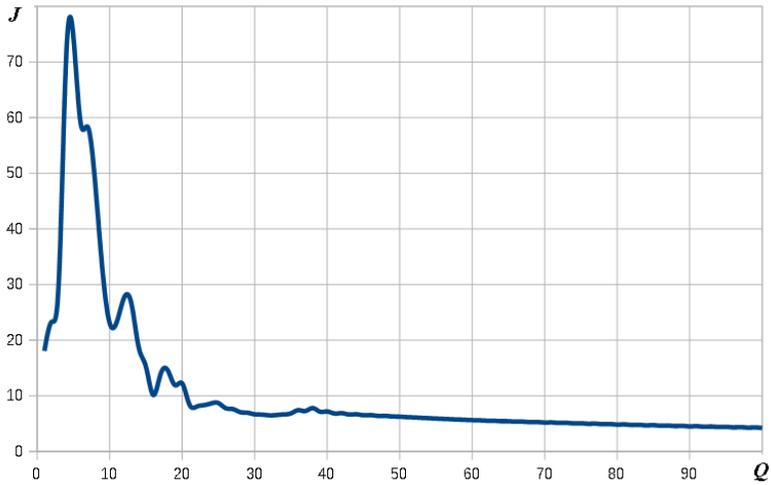


Рис. 6. Изменение критерия в процессе обучения

Результаты применения нейронной сети для предсказания результатов лечения одного класса заболеваний приведены на рис. 7. Количество нейронов во входном и промежуточном слоях было равно размерности входного вектора, $R = S^1 = S^2 = 18$. Количество нейронов в выходном слое $S^3 = 3$, т. е. равно возможному числу исходов курса лечения. Для трехслойной сети явление переобучения наступало после 600 итераций.

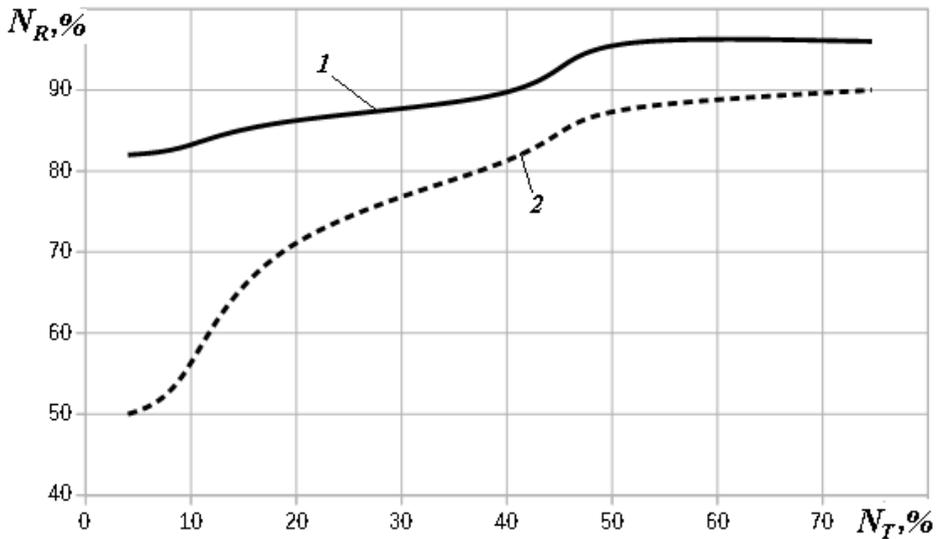


Рис. 7. Зависимость процента правильного распознавания в зависимости от объема обучающей выборки:

1 – сигмоидальная функция активации; 2 – линейная функция активации

В процессе обучения использовалась генеральная совокупность 300 выборок – пациенты, прошедшие определенный курс лечения. На рис. 7 N_T – количе-

ство выборок, используемых для обучения, в процентах от общего числа выборок; N_R – процент правильного распознавания. Из графика следует, что предпочтительно использовать сигмоидальную функцию активации и для обучения использовать не менее 50 % выборок от общего их количества, при этом процент правильного распознавания будет более 90 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Jeff Heaton* to Neural Network for Java, 2nd ed. Publisher: Heaton Research, Inc. – 2008, 438 p.
2. *Jeff Heaton*. Programming Neural Network with Encog3 in Java, 2nd ed. Publisher: Heaton Research, Inc. – 2011, 210 p.
3. *Haykin, Simon*. Neural networks and learning machines / Simon Haykin. – 3rd ed. by Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, New Jersey 07458. – 2009, 936 p.

Статья поступила в редакцию 25 ноября 2015 г.

NEURAL NETWORK REALIZATION IN THE SPREADSHEET

N.N. Hrisanov

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

The paper deals with the realization of a neural network in OpenOffice.org package. The scheme of a neural network is given, the choice activation functions, the calculation scheme of criterion quality gradient in the course of training is justified. The software structure is discussed. The software includes the modules of experimental-data preliminary processing and normalization, interaction with the database, a neural network initialization and training, dialogue management, and a diagnostics module. The results of a neural-network application for the solution of a recognition task are given. The results enable the justification of the choice of activation functions, sample size for the neural network training, and the high level of recognition.

Keywords: *neural network, activation function, quality criterion of training, spreadsheet, OpenOffice.*

УДК 338.24; 519.7

СИСТЕМНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ИННОВАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ*

М.В. Цапенко

Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: usat@samgtu.ru

Рассматриваются вопросы синтеза глобальных оценок инновационной активности на примере экономики Самарской области. В качестве метода системного оценивания выбран способ обобщенного ранжирования на основе метода многокритериального оценивания эффективности Data Envelopment Analysis. В работе реализованы процедуры многокритериального оценивания и системного ранжирования инновационной активности региона на временном интервале. Информационной базой процедур оценивания являются локальные показатели государственной статистики, характеризующие сферу научных исследований и инноваций на региональном уровне.

Ключевые слова: инновационная активность, многокритериальное оценивание, синтез глобальных приоритетов, Data Envelopment Analysis.

В статье рассмотрены вопросы системного оценивания инновационной активности региональной экономики. Государственная статистика характеризует эффективность процессов в сфере научных исследований и инноваций на мезоэкономическом уровне по шести группам критериев:

- характеристики организаций, выполняющих исследования и разработки;
- параметры научных кадров;
- характеристики процессов подготовки научных кадров;
- параметры финансирования научных исследований;
- результативность исследований и разработок;
- характеристики технологических, организационных и маркетинговых инноваций [1].

В каждой из этих групп содержится от двух до восьми базовых локальных показателей эффективности, их общее число – 26 без учета уточняющих характеристик.

На основе ряда локальных показателей эффективности проведено системное оценивание инновационной активности региональной экономики на временном интервале с 2004 по 2014 гг.

Предмет исследования

Предметом исследования является инновационная активность региональной экономики. Отметим многогранность трактовки этого понятия в современной

*Исследование выполнено в рамках гранта РФФИ № 15-46-02135.

Михаил Владимирович Цапенко (к.э.н., доц.), доцент кафедры «Управление и системный анализ теплоэнергетических и социотехнических комплексов».

науке. При анализе этой категории проводятся аналогии с инновационной деятельностью или интенсивностью разработки и вовлечения новых технологий. В рамках нашего исследования будем интерпретировать эту категорию как комплексную характеристику инновационной деятельности субъекта хозяйствования, состоящую в способности к мобилизации инновационного, интеллектуального, ресурсного и другого потенциала [2, с. 156].

Также существует многообразие методов оценивания этой категории, например: индексный метод, метод рейтингования [3], инструменты, разработанные Ассоциацией инновационных регионов России [4] и Национальной ассоциацией инноваций и развития информационных технологий [5].

В рамках настоящего исследования реализуем конструктивную процедуру многокритериального системного оценивания Data Envelopment Analysis (DEA) для целей оценки инновационной активности на основе обобщенного показателя.

Метод исследования

Рассмотрим формальный метод многокритериального системного оценивания – DEA. Особенностью метода является использование формальных алгоритмов оценивания без учета субъективных экспертных суждений. Этот подход был разработан в 1978 г. в США [6], в отечественных исследованиях он известен под названием «Анализ среды функционирования» (АСФ) [7].

Свойства метода и алгоритм его применения рассмотрены в работе [8], результаты апробации для решения различных задач многокритериального оценивания представлены в материалах [9].

Для применения метода DEA объекты оценивания представляются в виде систем, которые характеризуются m входными – X_m и k выходными – Y_k параметрами. При этом увеличение выходных характеристик и уменьшение входных должно вести к росту интегрального показателя эффективности, и наоборот.

Как правило, в качестве выходных параметров Y_k выбираются характеристики, определяющие результаты функционирования системы: производство продукции, создание технологий и т. п. В качестве входных характеристик X_m выбираются затраты различного рода ресурсов, которые определили получение этих результатов.

Обобщенный показатель эффективности исследуемых систем в базовом варианте метода DEA формируется как отношение взвешенных некоторым образом аддитивных наборов выходных характеристик к входным:

$$f = \frac{u_1 \cdot Y_1 + u_2 \cdot Y_2 + \dots + u_k \cdot Y_k}{v_1 \cdot X_1 + v_2 \cdot X_2 + \dots + v_m \cdot X_m}. \quad (1)$$

В обобщенном показателе эффективности (1) u_i ($i=1, 2, \dots, k$) – положительные, произвольные и заранее неизвестные коэффициенты, определяющие значимость каждого выходного фактора Y_i в системном критерии эффективности f . Соответственно, v_j ($j=1, 2, \dots, m$) – веса входных величин X_j .

Процедура нахождения численных значений обобщенных показателей эффективности f для каждой из оцениваемых систем предполагает их ранжировку на единичном интервале. Такая ранжировка реализуется максимизацией обобщенного показателя (1) для каждого объекта оценки и нахождением набора весовых коэффициентов u_i, v_j на основе решения задачи математического программирования при системе ограничений, определяющей область значения весов u_i, v_j :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{u_{11} \cdot Y_{11} + u_{21} \cdot Y_{21} + u_{31} \cdot Y_{31} + \dots + u_{k1} \cdot Y_{k1}}{v_{11} \cdot X_{11} + v_{21} \cdot X_{21} + v_{31} \cdot X_{31} + \dots + v_{m1} \cdot X_{m1}} \leq 1; \\ \frac{u_{12} \cdot Y_{12} + u_{22} \cdot Y_{22} + u_{32} \cdot Y_{32} + \dots + u_{k2} \cdot Y_{k2}}{v_{12} \cdot X_{12} + v_{22} \cdot X_{22} + v_{32} \cdot X_{32} + \dots + v_{m2} \cdot X_{m2}} \leq 1; \\ \dots\dots\dots \\ \frac{u_{1n} \cdot Y_{1n} + u_{2n} \cdot Y_{2n} + u_{3n} \cdot Y_{3n} + \dots + u_{kn} \cdot Y_{kn}}{v_{1n} \cdot X_{1n} + v_{2n} \cdot X_{2n} + v_{3n} \cdot X_{3n} + \dots + v_{mn} \cdot X_{mn}} \leq 1; \\ u_{in} \geq 0; v_{jn} \geq 0; \end{array} \right. \quad (2)$$

$$i = \{1, 2 \dots k\}; j = \{1, 2 \dots m\}; n = \{1, 2 \dots N\}.$$

Отметим, что применение этого метода возможно как в пространствах сравниваемых систем, так и на временных интервалах функционирования одного объекта. В этом случае метод позволяет проводить анализ динамики сравнительной эффективности объекта.

Наряду с обобщенным показателем эффективности в виде отношения (1) также применяются линейные конструкции – аддитивные наборы факторов, требующих максимизации для обеспечения роста системной эффективности.

Далее для оценивания будем использовать только линейные постановки обобщенного критерия для анализа инновационной активности региона на временном интервале.

Исходные данные

На основе данных Федеральной службы государственной статистики по Самарской области (Самарстат) [1] систематизируем исходные данные, характеризующие инновационную деятельность в Самарской области в период с 2004 по 2014 гг.

Из 26 базовых локальных показателей выберем шесть характеристик – индикаторов, наблюдаемых на выбранном временном интервале:

I_1 – объем выполненных работ, услуг в сфере исследований и разработок;

I_2 – затраты на выполнение научных исследований и разработок;

I_3 – затраты организаций на технологические, маркетинговые и организационные инновации;

I_4 – число организаций, выполнявших научные исследования и разработки;

I_5 – численность персонала, занятого научными исследованиями и разработками;

I_6 – число используемых передовых технологий.

Количественные значения выбранных локальных показателей представлены в таблице.

Показатель I_1 – объем выполненных работ, услуг в сфере исследований и разработок, не включает объемы научно-технических услуг, а также прочих работ и услуг.

Индикатор I_2 – затраты на выполнение научных исследований и разработок, учитывает внутренние затраты, внутренние текущие затраты, капитальные и внешние затраты.

Исходные данные – количественные значения локальных показателей

Индикатор	Измеритель	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
I_1	млрд руб.	8,70	9,81	10,62	12,51	11,74	14,67	16,49	16,70	26,90	24,28	24,02
I_2	млрд руб.	8,64	9,48	11,42	12,28	11,41	14,22	16,10	19,31	24,28	23,63	22,74
I_3	млрд руб.	10,54	7,68	17,46	12,01	10,89	8,19	9,94	17,64	74,28	65,98	57,94
I_4	ед.	54,00	51,00	52,00	63,00	59,00	57,00	53,00	62,00	61,00	62,00	62,00
I_5	тыс. чел.	24,04	24,51	24,86	23,39	20,46	20,63	20,19	15,67	17,31	16,72	12,89
I_6	тыс. ед.	4,38	4,73	4,50	4,99	5,30	5,65	6,19	6,87	6,69	7,29	7,77

В третьем индикаторе I_3 :

– под технологическими инновациями будем понимать конечный результат инновационной деятельности, получивший воплощение в виде нового либо усовершенствованного продукта или услуги, внедренных на рынке, нового либо усовершенствованного процесса или способа производства (передачи) услуг, используемых в практической деятельности [1, с. 271];

– под маркетинговыми инновациями будем понимать процесс реализации новых или значительно улучшенных маркетинговых методов, охватывающих существенные изменения в дизайне и упаковке товаров, работ, услуг; использование новых методов продаж и презентации товаров, работ, услуг, их представления и продвижения на рынки сбыта; формирование новых ценовых стратегий [1, с. 271];

– под организационными инновациями будем понимать реализованные новые методы ведения бизнеса, организации рабочих мест, внешних связей [1, с. 271].

В четвертом индикаторе I_4 в число организаций, выполняющих научные исследования и разработки, включены организации государственного и предпринимательского сектора, а также организации высшего образования.

В пятом индикаторе I_5 под персоналом, занятым научными исследованиями и разработками, понимается совокупность лиц, чья творческая деятельность, осуществляемая на систематической основе, направлена на увеличение и поиск новых областей применения знаний, а также занятых оказанием прямых услуг, связанных с выполнением исследований и разработок. В статистике персонал, занятый исследованиями и разработками, учитывается как списочный состав работников организаций (соответствующих подразделений образовательных организаций высшего образования, промышленных организаций и др.), выполняющих исследования и разработки, по состоянию на конец года [1, с. 270].

В шестом индикаторе I_6 под передовыми производственными технологиями будем понимать технологии и технологические процессы (включая необходимое для их реализации оборудование), управляемые с помощью компьютера или основанные на микроэлектронике и используемые при проектировании, производстве или обработке продукции (товаров и услуг) [1, с. 271].

Динамика изменения локальных индикаторов $I_1 - I_6$ представлена на графиках (рис. 1, 2).

На графиках рис. 1 показана динамика трех объемных показателей (I_1, I_2, I_3), измеряемых в денежном выражении.

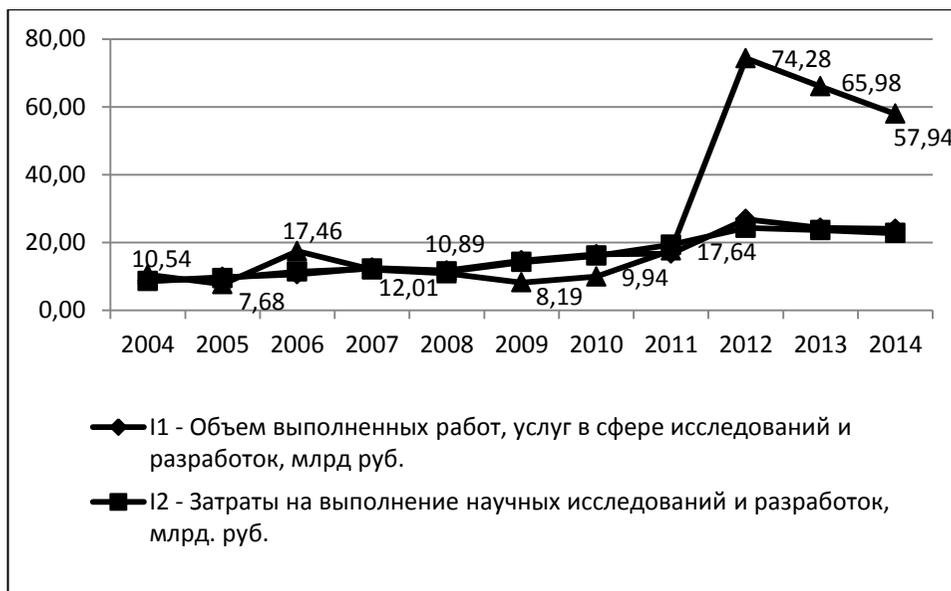


Рис. 1. Динамика объемных показателей I_1, I_2, I_3 в денежном выражении, млрд руб.

Как видно из представленных данных, индикаторы I_1 и I_2 имеют схожую динамику поведения на анализируемом временном интервале. Коэффициент корреляции между этими параметрами равен 0,98.

Для периода 2007–2008 гг. наблюдается тенденция незначительного снижения индикаторов – на 6,2 % (I_1) и на 7,1 % (I_2), что качественно можно объяснить кризисными явлениями в экономической системе, характерными для 2008 г.

С 2008 до 2012 гг. наблюдается систематический рост показателей: в 2,3 раза для I_1 и в 2,1 раза для I_2 . За два года, с 2012 по 2014 гг., эти показатели падают на 10,7 и 6,3 % соответственно.

В целом с 2004 по 2014 гг. показатели I_1, I_2 выросли в 2,8 и 2,6 раза соответственно.

В 2012 г. наблюдается скачкообразный рост затрат на технологические, маркетинговые и организационные инновации – в 4,2 раза относительно 2011 г. Такое поведение показателя можно объяснить корректировками в системе учета и сбора статистической информации по этим видам затрат в указанный период. Далее, начиная с 2012 г., наблюдается равномерное падение этого показателя со среднегодовым темпом 11–12 % в год. Однако в целом за период с 2004 по 2014 гг. значение этого показателя увеличилось в 5,5 раза. Таким образом, темп роста этого показателя в два раза превышает темпы роста индикаторов I_1 и I_2 в анализируемый период времени.

На графиках рис. 2 показана динамика трех показателей (I_4, I_5, I_6), измеряемых в натуральном выражении.



Рис. 2. Динамика показателей I_4 , I_5 , I_6

Как видно из представленных данных, динамика индикаторов I_4 , I_5 , I_6 имеет меньшую согласованность.

Значение коэффициента корреляции между числом организаций, выполняющих научные исследования и разработки (I_4), и численностью персонала, занятого научными исследованиями и разработками (I_5), составляет (минус) 0,7, что подтверждает разноплановые тенденции в поведении этих индикаторов.

Численность организаций, выполняющих научные исследования и разработки, за анализируемый период выросла в 1,15 раза, с 54 ед. в 2004 г. до 62 ед. в 2014 г., при этом численность персонала, занятого научными исследованиями и разработками, сократилась в 1,9 раза – с 24,04 тыс. чел. в 2004 г. до 12,89 тыс. чел. в 2014 г.

В удельном исчислении в 2004 г. на одну организацию, выполняющую научные исследования и разработки, приходилось около 445 исследователей и порядка 80 передовых технологий, в 2008 г. – 347 человек и 90 технологий, в 2014 г. – 208 сотрудников и 125 технологий. Прослеживается динамика уменьшения удельной численности занятых в наукоемкой сфере при росте передовых технологий.

Таким образом, видна противоречивая динамика поведения локальных показателей эффективности – их слабая согласованность, а в отдельных случаях и антагонистический характер поведения.

В этом случае для конструирования системного показателя, оценивающего инновационную активность, необходимо применять формализованные способы синтеза глобальных оценок эффективности.

Системное оценивание инновационной активности

На базе определенных выше индикаторов в соответствии с методом DEA сконструируем обобщенный показатель эффективности для каждого момента времени t в виде линейного критерия:

$$f_t = \max_t (u_1 \cdot I_{1t} + u_2 \cdot I_{2t} + u_3 \cdot I_{3t} + u_4 \cdot I_{4t} + u_5 \cdot I_{5t} + u_6 \cdot I_{6t}), t \in [2004, 2014]. \quad (3)$$

Соответствующая система ограничений будет иметь вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} u_1 \cdot 54.00 + u_2 \cdot 8.70 + u_3 \cdot 4.38 + u_4 \cdot 8.64 + u_5 \cdot 10.54 + u_6 \cdot 24.04 \leq 1; \\ u_1 \cdot 51.00 + u_2 \cdot 9.81 + u_3 \cdot 4.73 + u_4 \cdot 9.48 + u_5 \cdot 7.68 + u_6 \cdot 24.51 \leq 1; \\ u_1 \cdot 52.00 + u_2 \cdot 10.62 + u_3 \cdot 4.50 + u_4 \cdot 11.42 + u_5 \cdot 17.46 + u_6 \cdot 24.86 \leq 1; \\ u_1 \cdot 63.00 + u_2 \cdot 12.51 + u_3 \cdot 4.99 + u_4 \cdot 12.28 + u_5 \cdot 12.01 + u_6 \cdot 23.39 \leq 1; \\ u_1 \cdot 59.00 + u_2 \cdot 11.74 + u_3 \cdot 5.30 + u_4 \cdot 11.41 + u_5 \cdot 10.89 + u_6 \cdot 20.46 \leq 1; \\ u_1 \cdot 57.00 + u_2 \cdot 14.67 + u_3 \cdot 5.65 + u_4 \cdot 14.22 + u_5 \cdot 8.19 + u_6 \cdot 20.63 \leq 1; \\ u_1 \cdot 53.00 + u_2 \cdot 16.49 + u_3 \cdot 6.19 + u_4 \cdot 16.10 + u_5 \cdot 9.94 + u_6 \cdot 20.19 \leq 1; \\ u_1 \cdot 62.00 + u_2 \cdot 16.70 + u_3 \cdot 6.87 + u_4 \cdot 19.31 + u_5 \cdot 17.64 + u_6 \cdot 15.67 \leq 1; \\ u_1 \cdot 61.00 + u_2 \cdot 26.90 + u_3 \cdot 6.69 + u_4 \cdot 24.28 + u_5 \cdot 74.28 + u_6 \cdot 17.31 \leq 1; \\ u_1 \cdot 62.00 + u_2 \cdot 24.28 + u_3 \cdot 7.29 + u_4 \cdot 23.63 + u_5 \cdot 65.98 + u_6 \cdot 16.72 \leq 1; \\ u_1 \cdot 62.00 + u_2 \cdot 24.02 + u_3 \cdot 7.77 + u_4 \cdot 22.74 + u_5 \cdot 57.94 + u_6 \cdot 12.89 \leq 1; \\ u_1 \geq 0; u_2 \geq 0; u_3 \geq 0; u_4 \geq 0; u_5 \geq 0; u_6 \geq 0; \end{array} \right. \quad (4)$$

Для каждого момента времени $t \in [2004, 2014]$ сконструируем соответствующие критерии оценивания вида (3) и решим 11 задач линейного математического программирования (ЗЛП) с системой ограничений (4).

Решения 11 ЗЛП определяют численные значения обобщенного показателя инновационной активности для каждого момента времени. Значения обобщенных показателей представлены на графике (рис. 3).

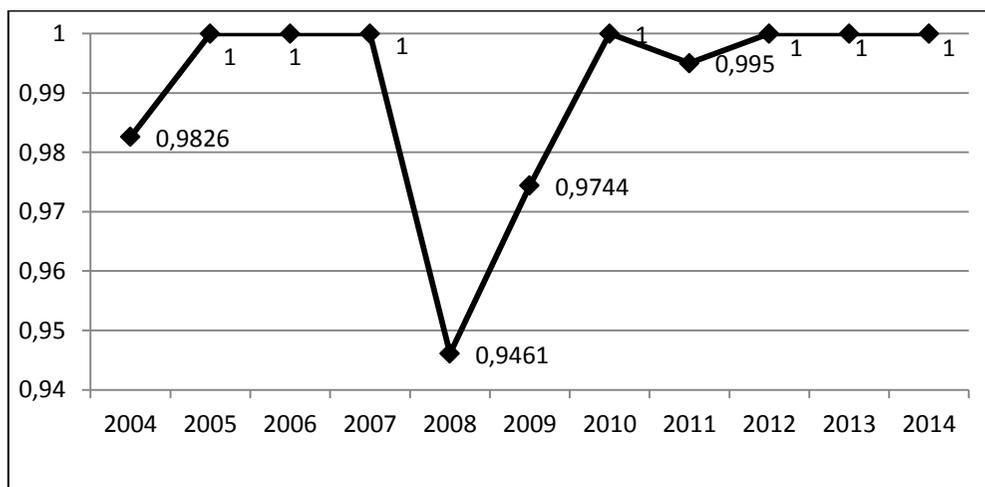


Рис. 3. Результаты оценивания инновационной активности Самарской области

Как видно из представленных данных, критерий системной оценки инновационной активности Самарской области идентифицирует кризисные проявления 2008 г., в этом периоде значение обобщенного показателя минимальное – 0,9461, а также отражает траекторию выхода экономической системы из кризиса в 2009 г. ($f_{2009} = 0,9744$) и восстановления в 2010 г. ($f_{2010} = 1,0000$).

Также отличные от максимальной оценки значения инновационной активности характерны для 2004 г. ($f_{2004} = 0,9826$) и 2011 г. ($f_{2011} = 0,9950$).

Заклучение

Таким образом, на примере оценивания инновационной активности региональной экономики был апробирован способ сравнительного многокритериального оценивания – DEA. Результаты применения метода показали адекватность оценок факторам внешней среды. Результирующие показатели инновационной активности региона имеют нормированный вид и позволяют проводить сравнительное сопоставление на временном интервале функционирования системы.

В качестве критерия оценивания была выбрана простейшая линейная конструкция на основе статистических данных, определяющих характеристики научных исследований и инноваций в Самарской области. Дальнейшее развитие исследования может быть направлено на модификацию видов критериев оценивания и сопоставления получаемых различных результатов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Самарский статистический ежегодник. 2015: Стат. сб. – Самара: СамараСтат, 2015. – 355 с.
2. Трилицкая О.Ю. Инновационная активность как фактор повышения конкурентоспособности предприятия // Вестник Волгоградского государственного университета. Сер. 3. Экономика. Экология. – 2013. – № 1 (22). – С. 155-161.
3. Белоусова О.М. Сравнительный анализ инновационной активности субъектов Российской Федерации. – М.: Академия естествознания, 2011. – 195 с.
4. Ассоциация инновационных регионов России [Электронный ресурс]. <http://www.i-regions.org/association>.
5. Национальная ассоциация инноваций и развития информационных технологий [Электронный ресурс]. <http://nair-it.ru>.
6. Charnes A., Cooper W.W., Rhodes E. Measuring the Efficiency of Decision Making Units // European Journal of Operational Research, Vol. 2, 1978, pp. 429-444.
7. Кривоножко В.Е., Пропой А.И., Сеньков Р.В., Родченков И.В., Анохин П.М. Анализ эффективности функционирования сложных систем // Автоматизация проектирования. – 1999. – № 1. < <http://www.osp.ru/ap/1999/01/02.htm> >.
8. Дилигенский Н.В., Цапенко М.В., Давыдов А.Н. Многокритериальная методология выявления перспективных направлений научных исследований // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2011. – № 4 (32). – С. 26-33.
9. Дилигенский Н.В., Цапенко М.В., Давыдов А.Н., Барболин Д.А. Программно-аналитический инструментальный для многокритериального оценивания эффективности научных исследований // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2012. – № 4 (36). – С. 39-45.

Статья поступила в редакцию 1 февраля 2016 г.

SYSTEM ESTIMATION OF INNOVATIVE ACTIVITY OF REGIONAL ECONOMY

M.V. Tsapenko

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

In this article the questions of synthesis of global assessments of innovative activity on an example of the Samara Region economy. As a method of systematic evaluation selected generic way of ranking based on the method of multi-criteria evaluation of efficiency Data Envelopment Analysis. The work implemented multi-criteria evaluation procedure and the ranking system of innovative activity in the region over the time interval. The information base for assessment procedures are the local state statistical indicators characterizing the scope of research and innovation at the regional level.

Keywords: *innovation activity, multicriteria evaluation, synthesis of global priorities.*

Mihail V. Tsapenko (Ph.D. (Econ.)), Associate Professor.

УДК 681.5:621.315

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЯЕМОГО ПРОЦЕССА ЭКСТРУЗИИ ИЗОЛЯЦИИ ЖИЛ КАБЕЛЕЙ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Б.К. Чостковский, М.А. Строилова, Ю.В. Митрошин

Самарский государственный технический университет
Россия, 443110, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Разработана методика оптимизации технологического процесса экструзии, которая реализуется с использованием корреляционно-спектрального анализа характеристик кабеля с параметризацией его результатов. Для реализации аналитической оптимизации и имитационного моделирования систем управления технологическими процессами экструзии произведена параметризация бесконечномерных оценок корреляционно-спектрального анализа. Использованы два метода параметризации: аппроксимация оценок типовыми выражениями и расщепление спектральной плотности с получением передаточных функций формирующих фильтров.

Ключевые слова: *экструзия, производство кабелей связи, LAN-кабель, математическая модель, параметризация моделей, критерий оптимальности, спектральная плотность, корреляционная функция, корреляционно-спектральный анализ, формирующий фильтр.*

Все большую долю современных линий связи составляют электропроводные кабели для передачи данных (LAN-кабели). Они относятся к классу радиочастотных симметричных двухжильных кабелей, основу которых составляет так называемая витая пара из двух скрученных изолированных жил. Ее характеристики в основном и определяют первичные параметры передачи и параметры влияния между кабельными цепями (емкостные связи и магнитные или индуктивные связи). Распределение первичных параметров по длине кабеля определяет вторичные параметры передачи и влияния (погонное и переходное затухания, возвратные потери) [2]. Вторичные параметры определяют важнейшую эксплуатационную характеристику кабеля – скорость передачи данных, которая может достигать более 2,5 Гбит/с.

Важнейшей областью применения LAN-кабелей являются высокоскоростные структурированные кабельные сети для компьютерных сетей, содержащие вертикальные и горизонтальные проводки, для которых чаще всего используются четырехпарные неэкранированные кабели категории 5 – так называемые UTP-кабели. Однако новые структурированные компьютерные системы уже требуют кабелей более высоких категорий. Важное место в процессе формирования параметров передачи и влияния занимает технологический процесс экструзии изоляции и характеристики обслуживающих его локальных систем стабилизации.

Современное экструзионное оборудование кабельных производств, выполняющее наложение диэлектрического покрытия кабельной жилы, обеспечивает автоматизированный сбор статистических данных технологических режимных

Борис Константинович Чостковский (д.т.н., доц.), профессор кафедры «Автоматика и управление в технических системах».

Марина Александровна Строилова, магистрант.

Юрий Владимирович Митрошин, аспирант.

параметров и первичных параметров изолированной жилы, прежде всего погонной емкости $C_i(t)$ и диаметра изоляции $D_i(t)$. Статистическая обработка данных позволяет получать оценки их корреляционных функций и спектральных плотностей, которые являются непараметрическими бесконечномерными моделями соответствующих случайных функций, непригодными для имитационного моделирования [1].

Погонная емкость изоляции является измеряемым параметром экструдированной пористой изоляции, но она лишь косвенным образом связана с эксплуатационными характеристиками изготавливаемой витой пары.

В линеаризованном виде технологический процесс формирования параметров жилы представлен структурной схемой (рис. 1), где $\varepsilon(t)$ – диэлектрическая проницаемость изоляции, K_D и K_ε – чувствительности погонной емкости изолируемой жилы к ее диаметру и относительной диэлектрической проницаемости.

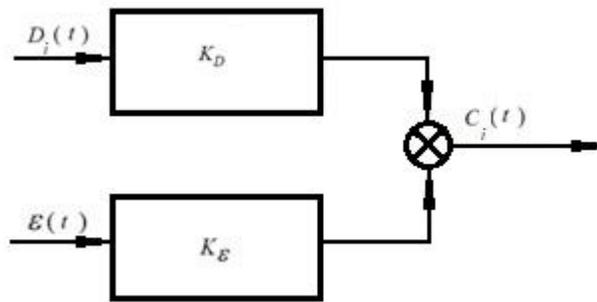


Рис. 1. Формирование параметров жилы

Определяющее значение в формировании рабочей емкости и, соответственно, первичных и вторичных параметров кабелей передачи данных имеет эквивалентная относительная диэлектрическая проницаемость среды между проводниками витой пары ε_e . Обычно при комбинированной изоляции она рассматривается как средневзвешенное значение проницаемости диэлектрических компонент сечения пары. Весовые коэффициенты при этом берутся равными долям площади сечения, занимаемым каждой из компонентов [2].

Точность данной оценки невелика, так как она не учитывает неравномерность электромагнитного поля в сечении витой пары. Поэтому для определения рабочей емкости было применено конформное преобразование на основе дробно-линейной функции и без использования принятых аппроксимаций получена следующая зависимость эквивалентной диэлектрической проницаемости от геометрических и электрических параметров жил витой пары [3]:

$$\varepsilon_e = \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2 \varepsilon [L_1 + L_2 + L_3]}{\varepsilon_2 \varepsilon \cdot L_1 + \varepsilon_1 \varepsilon \cdot L_2 + \varepsilon_1 \varepsilon_2 \cdot L_3}, \quad (1)$$

где $L_1 = D_{i2}(D_{i1} - d)(D_{i2} + d)$;

$L_2 = D_{i1}(D_{i2} - d)(D_{i1} + d)$;

$L_3 = (D_{i1} + D_{i2})(D_{i1} + d)(D_{i2} + d)$;

ε_1 и ε_2 – относительная диэлектрическая проницаемость изоляции первой и второй жил пары, которые оцениваются в процессе экструзии по измеряемым

«на проход» величинам погонной емкости [2];

D_{i1} и D_{i2} – диаметры изоляции жил;

d – диаметр медного проводника жил;

ε – относительная диэлектрическая проницаемость среды между изолированными жилами пары, равная единице при отсутствии дополнительных диэлектрических компонент.

Оптимизация управления требует, во-первых, обоснованного критерия оптимальности, и во-вторых, адекватных математических моделей оптимизируемых технологических процессов.

Для дальнейшего использования этих оценок в задачах аналитического описания, оптимизации технологических процессов и сертификации кабельной продукции необходим переход к параметрическим моделям, которые в дальнейшем будут рассматриваться и как математические модели возмущающих воздействий соответствующих контуров автоматической стабилизации первичных параметров кабельного изделия, например жил витой пары кабеля передачи данных [2, 4].

Параметризация оценок корреляционно-спектральных характеристик обычно производится следующими способами [1, 4]:

– аппроксимация оценки корреляционной функции или спектральной плотности одним из типовых аппроксимирующих выражений, например экспоненциально затухающей корреляционной функцией;

– аппроксимативный корреляционно-спектральный анализ экспериментальных данных в ортогональных базисах, чаще всего в базисе функции Лагерра;

– построение передаточной функции модели в виде формирующего фильтра путем факторизации спектральной плотности или интерполяции амплитудно-частотной характеристики формирующего цифрового фильтра по важнейшим точкам оценки спектральной плотности [4].

Обобщенный стохастический показатель качества $Q(f)$ кабеля с двухпарной скруткой, определяющий эксплуатационные характеристики кабеля для передачи данных, строится по выражению (2), в котором роль функции изменения обобщенного параметра качества $q'(x)$, изменяющейся по длине кабеля x , играет коэффициент электромагнитной связи $N_{12}(x)$ [2]:

$$Q(f) = \int_0^l q'(x) e^{-2\gamma x} dx. \quad (2)$$

При этом обобщенный показатель $Q(f)$ представляет собой частотную передаточную функцию влияния на ближнем конце $K_o(f)$, определяющую переходное затухание на ближнем конце $A_o(f)$:

$$K_o(f) = \int_0^l N_{12}(x) e^{-2\gamma x} dx, \quad (3)$$

где γ – коэффициент распространения;

l – длина кабеля;

f – частота передаваемого сигнала.

При небольшом коэффициенте затухания α коэффициент распространения линейно зависит от частоты:

$$\gamma = \alpha + j\beta \approx j\beta = j \frac{2\pi f}{v},$$

где v – фазовая скорость электромагнитной волны.

При передаче сигналов с верхней частотой f_g среднее значение показателя (3)

$$\overline{K_o}(f) = \frac{1}{f_g} \cdot \int_0^{f_g} K_o(f) df. \quad (4)$$

Тогда взаимное влияние на ближнем конце линии определяется средним значением переходного затухания:

$$\overline{A_o}(f) = \ln \frac{2}{|\overline{K_o}(f)|}.$$

Математическая модель симметричного кабеля в стохастической постановке определяется спектральной плотностью волнового сопротивления $S_z(\frac{2f}{v})$, аргумент которой соответствует пространственной частоте гармоники волнового сопротивления, взаимодействующей с частотой f проходящего по кабелю сигнала. Спектральная плотность волнового сопротивления, в свою очередь, выражается через спектральные плотности параметров изолированных жил, формируемых как спектральные плотности динамических ошибок соответствующих контуров автоматической стабилизации с возмущаемыми воздействиями, имеющими характер стационарных случайных процессов. Так, математическое ожидание приращения затухания кабеля $\Delta\alpha l$ за счет случайной нерегулярности со спектральной плотностью $S_z(\frac{2f}{v})$ определяется выражением [2]

$$\Delta\alpha l = K_o(f) \frac{1 - e^{-4\alpha l}}{\alpha} \cdot f^2 S_z(\frac{2f}{v}), \quad (5)$$

где вид частотно-зависимого коэффициента $K_o(f)$ определяется конкретными особенностями кабеля и уточняется эмпирически.

В работе исследуются реализации диаметра изоляции и погонной емкости. Данные случайные процессы экспериментально сняты при изолировании провода ТПппП-0,5-0,84 на линии ТЕМ-35 № 1 Самарской кабельной компании. Диаметр изоляции изменялся в диапазоне от 0,85 до 0,95 мм, погонная емкость менялась в диапазоне от 171,66 до 216,47 пФ/м. Реализации погонной емкости (рис. 2) и диаметра изоляции (рис. 3) приведены в нормированном виде после центрирования. Нормирующие множители взяты равными $1,065 \text{ пФ}^{-1} \cdot \text{м}$ для погонной емкости и $962,9 \text{ мм}^{-1}$ для диаметра изоляции.

Далее построена стохастическая модель объекта управления по исходным данным, полученным путем статистического обследования с регистрацией реализаций.

По виду оценок корреляционных функций (1 на рис. 4, 5) выбрана колебательная модель корреляционной функции [1]:

$$R_X(\tau) = \sigma_x^2 \cdot e^{-\alpha|\tau|} \cos \omega_0 \tau, \quad (6)$$

где σ_x^2 – дисперсия случайного процесса;

α – коэффициент затухания;

ω_0 – угловая частота.

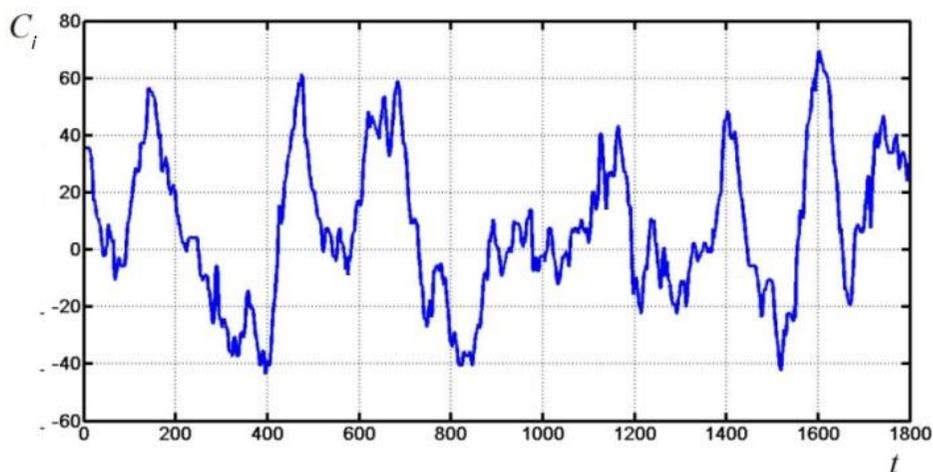


Рис. 2. Экспериментально снятая реализация погонной емкости $C_i(t)$

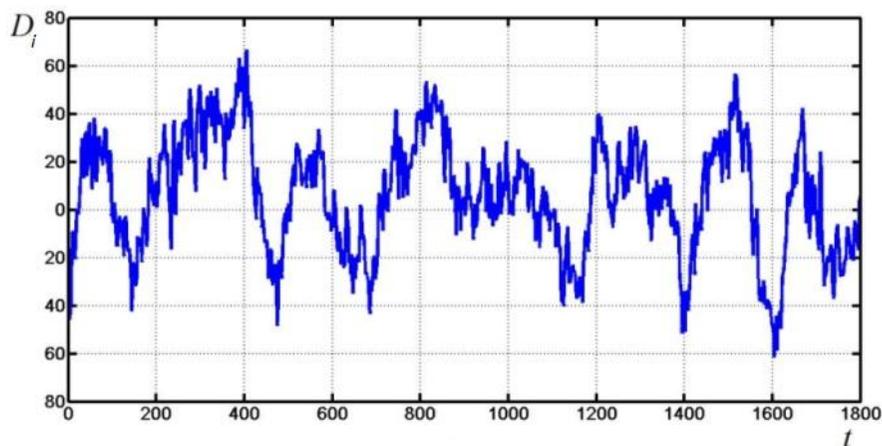


Рис. 3. Экспериментально снятая реализация диаметра изоляции $D_i(t)$

В результате аппроксимации получены аналитические модели нормированных корреляционных функций погонной емкости

$$R_C(\tau) = 640 \cdot e^{-0,012|\tau|} \cos 0,025\tau \quad (7)$$

и диаметра изоляции

$$R_D(\tau) = 558 \cdot e^{-0,013|\tau|} \cos 0,030\tau. \quad (8)$$

Адекватность аналитических моделей является удовлетворительной (2 на рис. 4, 5), что означает приемлемость их дальнейшего использования для синтеза имитационной модели технологического процесса экструзии с целью оптимальной настройки регуляторов систем стабилизации.

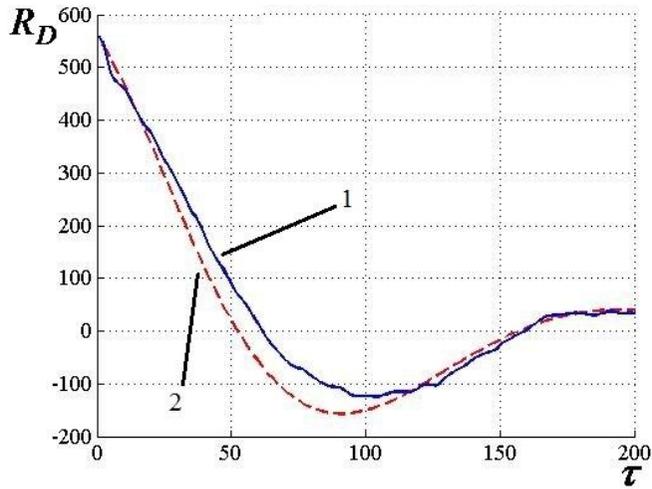


Рис. 4. Проверка адекватности аналитической модели КФ погонной емкости:
1 – экспериментальная оценка; 2 – аналитическая модель

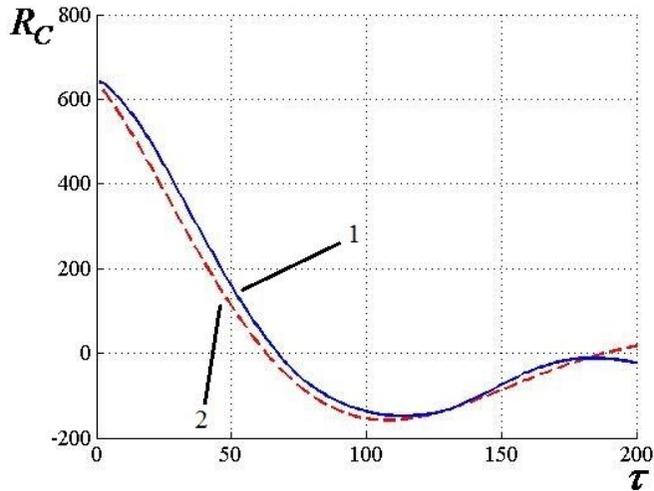


Рис. 5. Проверка адекватности аналитической модели КФ диаметра изоляции:
1 – экспериментальная оценка; 2 – аналитическая модель

По известной корреляционной функции $R_X(\tau)$ определяется спектральная плотность возмущающего воздействия $S_X(\omega)$ [1, 4]. Спектральная плотность данного процесса описывается выражением

$$S_X(\omega) = 2\alpha\sigma_X^2 \frac{b^2 + \omega^2}{b^4 + 2(\alpha^2 - \omega_0^2)\omega^2 + \omega^4}, \quad (9)$$

где $\omega_0 = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} = 0,035 \text{ c}^{-1}$ при периоде 180 с;

$$b = \sqrt{\omega_0^2 + \alpha^2} = 0,038 \text{ c}^{-1}.$$

Параметрические модели спектральных плотностей параметров кабельной жилы были получены в виде:

$$S_C(\omega) = \frac{5,819\omega^2 + 0,005}{\omega^4 - 0,002\omega^2 + 6,872 \cdot 10^{-7}}; \quad (10)$$

$$S_D(\omega) = \frac{9,241\omega^2 + 0,012}{\omega^4 - 0,001\omega^2 + 1,315 \cdot 10^{-6}}.$$

Исходя из анализа рис. 6 и 7 можно сделать вывод, что найденные модели адекватны ввиду идентичности экспериментальным оценкам спектральных плотностей.

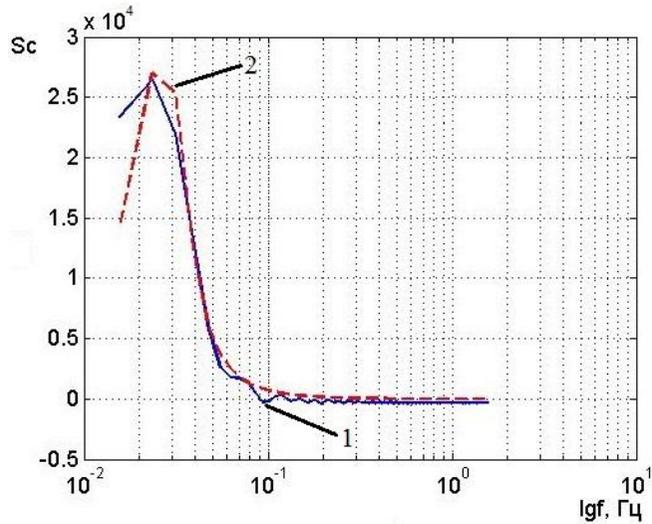


Рис. 6. Проверка адекватности аналитической модели спектральной плотности погонной емкости:

1 – экспериментальная оценка; 2 – аналитическая модель

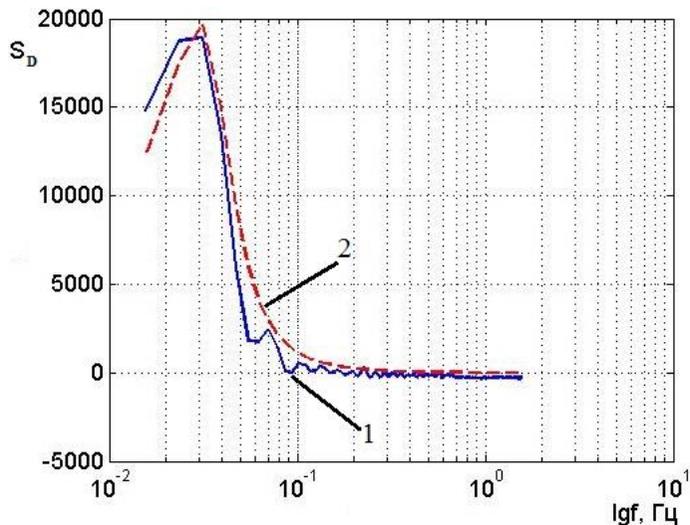


Рис. 7. Проверка адекватности аналитической модели спектральной плотности диаметра изоляции:

1 – экспериментальная оценка; 2 – аналитическая модель

Непрерывная передаточная функция параметрической модели процесса в виде формирующего фильтра имеет вид

$$W_{FF}(p) = \sigma_x \sqrt{2\alpha} \frac{b+p}{b^2 + 2\alpha p + p^2}. \quad (11)$$

Исходя из (11) определены непрерывные передаточные функции формирующих фильтров погонной емкости

$$W_{FFC}(p) = \frac{2,412p + 0,069}{p^2 + 0,020p + 0,829 \cdot 10^{-3}} \quad (12)$$

и диаметра изоляции

$$W_{FFD}(p) = \frac{3,040p + 0,010}{p^2 + 0,031p + 1,147 \cdot 10^{-4}}. \quad (13)$$

Для моделирования в дискретной форме и настройки цифровых регуляторов передаточные функции формирующих фильтров могут быть переведены в эквивалентные дискретные передаточные функции с помощью известных подстановок [5], например:

$$p = \frac{2}{T_o} \cdot \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}},$$

где T_o – выбранный интервал квантования по времени.

Если же при построении модели случайного возмущающего воздействия приоритетной является адекватность в частотной области, то следует рассматривать спектральную плотность возмущающего воздействия как квадрат амплитудно-частотной характеристики цифрового формирующего фильтра. Задавшись порядком цифрового фильтра, можно записать аналитическое выражение его АЧХ, параметры которого определяются из условия прохождения кривой АЧХ через выбранные точки оценки спектральной плотности возмущающего воздействия [4].

Данным методом построена дискретная передаточная функция формирующего фильтра диаметра изоляции:

$$G_{FFD}(z) = \frac{1 + 0,5z^{-1} - 0,97z^{-2}}{1 - 1,3z^{-1} + 0,52z^{-2}}.$$

Объект управления каждого контура стабилизации экструзионной линии описан как апериодическое звено первого порядка с транспортным запаздыванием. Передаточная функция объекта выглядит как

$$W_o(p) = \frac{K_o}{Tp + 1} \cdot e^{-\tau p}. \quad (14)$$

На технологической установке, осуществляющей наложение изоляции на жилу провода ТПппП-0,5-0,84, расстояние от головки экструдера до центра датчика погонной емкости 22,96 м, а расстояние от головки экструдера до датчика диаметра 19,31 м. Соответственно, при скорости изолирования 25 м/с запаздывание в контурах составляет

$$\tau_C = \frac{L_i}{V_T} = \frac{22,96}{25} \approx 0,9, c;$$

$$\tau_D = \frac{L_i}{V_T} = \frac{19,31}{25} \approx 0,8, c.$$

Для удобства сравнения параметры нормированы умножением на указанные

выше нормирующие множители.

Нормированные параметры объекта управления контура погонной емкости:

$$K_o = 1; T = 2 \text{ с}; \tau = 0,9 \text{ с}. \quad (15)$$

Нормированные параметры объекта управления контура диаметра изоляции:

$$K_o = 2; T = 1,5 \text{ с}; \tau = 0,8 \text{ с}. \quad (16)$$

При сравнении (15) и (16) видно, что контур погонной емкости обладает несколько большей инерционностью, чем контур диаметра изоляции.

ПИ-регуляторы введены в каждый из контуров управления и обеспечивают возможность изменения динамических свойств системы [4].

Передаточная функция регулятора имеет вид

$$W_p(p) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_u p} \right), \quad (17)$$

где T_u – постоянная времени интегрирования;

K_p – коэффициент передачи регулятора (параметр П-составляющей).

Рассчитаны начальные настройки регулятора, которые удовлетворяют условию устойчивости системы. Для этого используются формулы Гурецкого (18)–(19), предназначенные для систем с запаздыванием [6]:

$$K_p = \frac{K}{K_o}, \quad (18)$$

где

$$K = 2T \cdot \left(\sqrt{2 + \left(\frac{1}{2T} \right)^2} - 1 \right) \cdot \exp \left(\sqrt{2 + \left(\frac{1}{2T} \right)^2} - \left(2 + \frac{I}{2T} \right) \right), \quad (19)$$

где T – время запаздывания;

$$T_u = I \cdot \tau, \quad (20)$$

где

$$I = \frac{1 + \left(\frac{1}{2T} \right)^2}{3 + \frac{1}{2T} + 4 \left(\frac{1}{2T} \right)^2 + \left(\frac{1}{2T} \right)^3 - \left[2 + \left(\frac{1}{2T} \right)^2 \right] \sqrt{2 + \left(\frac{1}{2T} \right)^2}}. \quad (21)$$

Для контура погонной емкости со структурой, показанной на рис. 6, получены начальные настройки регулятора:

$$K_p = 0,680; T_u = 1,882 \text{ с}. \quad (22)$$

Переходный процесс контура погонной емкости с настройками регулятора (22) приведен на рис. 8. На рис. 9 и 10 приведены графики изменения ошибки и производной ошибки.

Критерий *минимума дисперсии ошибки* (23) является одним из типовых критериев оптимальности. Данный критерий используется для ограничения дисперсии случайного возмущенного воздействия и обеспечения требуемой точности по задающему воздействию:

$$J = \int e^2(t)dt \rightarrow \sum_{k=1}^N e^2(k) \rightarrow \min. \quad (23)$$

В процессе выполнения программы оптимизации были получены настройки:

$$K_p = 1,012; \quad T_u = 1,697 \text{ с.} \quad (24)$$

Для сравнения применен критерий *минимума дисперсии производной ошибки* (25), который адекватен требованию изготовления кабеля с наилучшими эксплуатационными характеристиками, формирующимися соответственно производным по длине геометрических и электрических параметров кабеля, как это показано в [2]:

$$J = \int \dot{e}^2(t)dt \rightarrow \sum_{k=1}^N (e(k) - e(k-1))^2 \rightarrow \min. \quad (25)$$

В процессе выполнения программы оптимизации получены настройки:

$$K_p = 0,918; \quad T_u = 1,788 \text{ с.} \quad (26)$$

По результатам моделирования значение дисперсии производной ошибки значительно уменьшилось при использовании оптимальных настроек.

На рис. 8 изображены переходные процессы локальной САУ погонной емкости с настройками регулятора (22), (24) и (26). Анализ рисунка показывает, что настройки регулятора (22) обеспечивают форму переходного процесса, близкую к апериодической. С настройками регулятора (24) значение критерия оптимальности лучше, чем с настройками (22); время переходного процесса меньше, но перерегулирование увеличивается. Настройки (26) обеспечивают наилучшее значение критерия по дисперсии производной ошибки. С ними время переходного процесса меньше, чем с настройками (22), но больше, чем с настройками (24), однако перерегулирование меньше, чем с настройками (24).

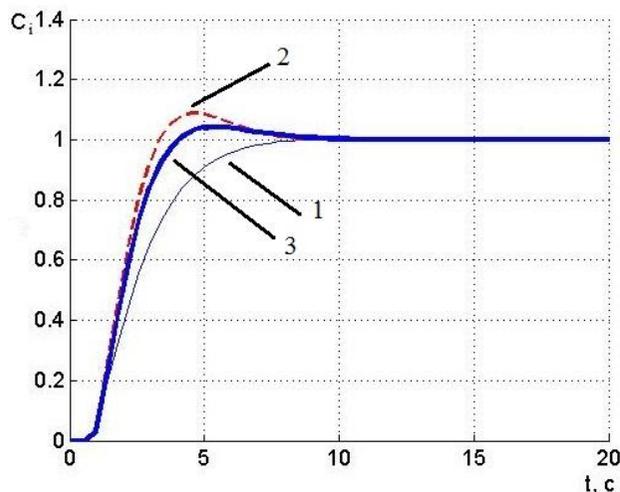


Рис. 8. Сравнение переходных процессов контура погонной емкости:

- 1 – начальные настройки регулятора;
- 2 – настройки по критерию минимума дисперсии ошибки;
- 3 – настройки по критерию минимума дисперсии производной ошибки

Для окончательного выбора оптимальных настроек рекомендуется учитывать их влияние на частотные характеристики взаимных влияний организованных линий связи. Наилучшим путем здесь является выпуск опытных партий кабеля при различных настройках регулятора и сравнительный анализ достигнутых частотных характеристик, измеряемых в ходе приемо-сдаточных испытаний.

На рис. 9 и 10 показана динамика ошибки и производной ошибки в трех вышеперечисленных случаях настроек регулятора.

Оптимальными являются настройки (26), полученные по критерию минимума дисперсии производной ошибки. Выбор данного критерия оптимальности также обусловлен физикой формирования частотных характеристик кабеля [2]. В соответствии с уравнениями Максвелла, описывающими передачу сигнала по электрической цепи, вторичные параметры линии передачи определяются производными по длине кабеля его первичных параметров [2], что обуславливает предпочтительность настроек (26).

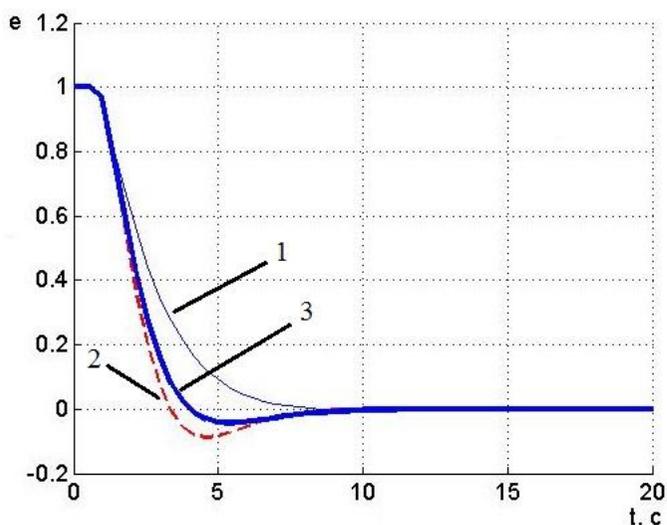


Рис. 9. Сравнение графиков изменения ошибки:

- 1 – начальные настройки регулятора;
- 2 – настройки по критерию минимума дисперсии ошибки;
- 3 – настройки по критерию минимума дисперсии производной ошибки

Последним этапом проектирования стохастической управляемой системы является оптимизация параметров цифрового регулятора с учетом реальных оценок параметров модели объекта и возмущающего воздействия. Аналитическая оптимизация возможна только при невысоком порядке модели [4, 5]. Наибольшая эффективность управления достигается при оптимальной эмпирической настройке параметров регулятора системы на ее имитационной модели, адекватность которой и достигается использованием построенных в данной работе параметрических моделей.

Для глобальной оптимизации комплекса систем автоматического управления АСУ ТП производства кабелей передачи данных необходимо провести обследование технологических процессов изготовления кабеля с регистрацией первичных параметров изолированной жилы, рассматриваемых как реализации стационарных случайных процессов, по которым рассчитываются оценки корреляцион-

но-спектральных характеристик, необходимые для оптимальной настройки цифровых регуляторов всех контуров комплекса на их имитационных моделях.

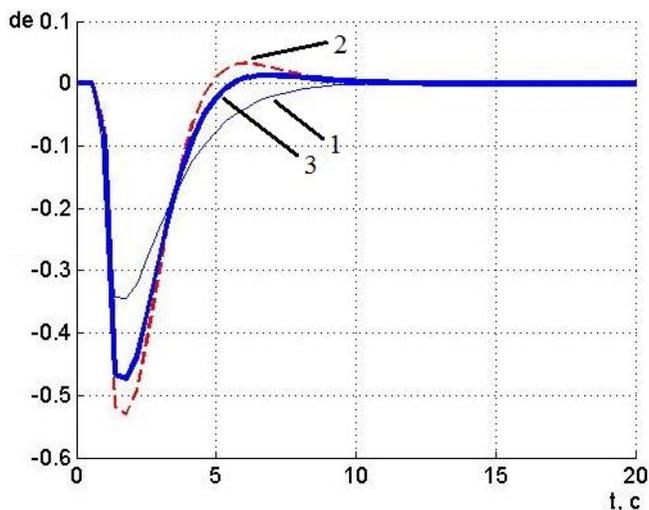


Рис. 10. Сравнение графиков изменения производной ошибки:
1 – начальные настройки регулятора;
2 – настройки по критерию минимума дисперсии ошибки;
3 – настройки по критерию минимума дисперсии производной ошибки

На рис. 4 и 5 показаны результаты корреляционно-спектрального анализа, которые позволили определить оптимальные настройки регулятора (26).

Описанный подход, методика и процедуры построения параметрических моделей стохастических процессов формирования первичных и вторичных параметров кабелей обеспечивают возможность решения задач оптимизации параметров цифровых регуляторов локальных систем стабилизации по нестандартным критериям оптимальности, учитывающим эксплуатационные характеристики выпускаемой кабельной продукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Прикладной анализ случайных процессов / Под ред. С.А. Прохорова. – М.: СНЦ РАН, 2007. – 582 с. – ISBN 978-5-93424-283-2.
2. Чостковский Б.К. Методы и системы оптимального управления технологическими процессами производства кабелей связи: Моногр. – М.: Машиностроение, 2009. – 189 с. – ISBN 978-5-94275-475-4.
3. Чостковский Б.К., Смородинов Д.А. Математическая модель витой пары радиочастотного кабеля объекта управления // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Физ.-мат. науки. – 2008. – № 1 (16). – С. 113-118. – ISSN 1991-8615.
4. Чостковский Б.К. Синтез и оптимизация управляемых стохастических систем: Учеб. пособие. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2013. – 136 с.
5. Чостковский Б.К., Ландфанг М.А. Цифровые системы управления: лабораторный практикум. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2015. – 134 с.
6. Гурецкий Х. Анализ и синтез систем управления с запаздыванием. – М.: Машиностроение, 1974. – 328 с.

Статья поступила в редакцию 1 февраля 2016 г.

PARAMETRIC MODELING AND OPTIMIZATION OF DATA CABLE CORE INSULATION EXTRUSION CONTROL PROCESS

B.K. Chostkovskiy, M.A. Stroilova, Y.V. Mitroshin

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

Extrusion technological process optimization method, which is implemented by correlation and spectral analysis of cable characteristics with parameterization of its results, is developed. Parameterization of infinite-dimensional evaluations of correlation and spectral analysis for analytical optimization realization and imitation modeling of extrusion technological processes control systems is performed. Two methods of approximation are used: approximation of evaluations by typical expressions and spectral density splitting with obtaining of shaping filters transfer functions.

Keywords: *extrusion, communication cables production, LAN-cable, mathematical model, model parametrization, optimum criterion, spectral density, correlation function, correlation and spectral analysis, shaping filter.*

*Boris K. Chostkovskiy (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.
Marina A. Stroilova, Graduate Student.
Yury V. Mitroshin, Postgraduate Student.*