

УПРАВЛЕНИЕ

УДК 681.3

**И.В. Бриндикова, А.А. Воеводин, В.С. Гуров,
В.П. Корячко, А.И. Таганов, С.В. Чернышев**

**СИСТЕМНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ПОСТРОЕНИЕ
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО
ОБУЧЕНИЯ ПО НАПРАВЛЕНИЮ «ГЛОНАСС»**

Рассматривается решение системных задач в условиях нечеткости по системно-функциональному построению и многокритериальному выбору базовой платформы автоматизированной системы дистанционного обучения, ориентированной на образовательный процесс по профилю «Глонасс».

Ключевые слова: *автоматизированная система дистанционного обучения, системный проект, многокритериальный анализ и выбор альтернатив в условиях нечеткости.*

Введение. Глобальная навигационная система «Глонасс», созданная в основном для нужд оборонного значения, переживает сейчас второе рождение, которое выражается в реализации государственных планов по эффективному использованию возможностей космических средств навигации во многих отечественных отраслях и в том числе в геодезии, строительстве и на транспорте.

Реализация этих планов тесно сопряжена с решением другой государственной проблемы, заключающейся в необходимости подготовки и повышении квалификации широкого круга специалистов по направлению эффективного использования больших возможностей космических навигационных систем в отмеченных отраслях [1,2].

В настоящее время практическая реализация в Российской Федерации указанных планов и задач осуществляется посредством организации и выполнения специальных конкурсных мероприятий в рамках федеральной целевой программы «Глобальная навигационная система».

Результатом этих мероприятий явилось открытие в ОАО «Российские космические системы» проекта «Квалификация», ориентированного на создание специализированной автоматизированной системы дистанционного обучения (АСДО) по направлению «Глонасс».

АСДО, соисполнителем которой по конкурсу является ГОУВПО «РГРТУ», предназначена прежде всего для обеспечения процесса подготовки и повышения квалификации специалистов в области создания и использования спутниковых навигационных систем для субъектов Российской Федерации, заинтересованных министерств и ведомств, коммерческих структур, некоммерческих организаций и массовых потребителей.

Первым этапом и целью системного проекта АСДО явились определение системно-функционального построения и выбор базовой платформы виртуальной образовательной среды по направлению «Глонасс» с учетом разработанных системных и пользовательских требований к АСДО [2,3].

1. Определение рационального системно-функционального построения АСДО

Проблема определения рационального системно-функционального построения виртуальной образовательной среды по направлению «Глонасс» является ключевой в проекте АСДО и ее успешное решение во многом зависит от выбранного перечня системно-функциональных критериев и факторов [1-3,6].

1.1. Выбор системно-функциональных критериев

С учетом задач АСДО к основным крите-

риям системно-функционального построения АСДО следует отнести следующие характеристики [2,3].

- *Функциональность.* Обозначает наличие в системе набора функций различного уровня, таких как форумы, чаты, анализ активности обучаемых, управление курсами и обучаемыми, а также другие.

- *Надежность.* Этот параметр характеризует удобство администрирования и простоту обновления контента на базе существующих шаблонов. Удобство управления и защита от внешних воздействий существенно влияют на отношение пользователей к системе и на эффективность ее использования.

- *Стабильность.* Означает степень устойчивости работы системы по отношению к различным режимам работы и степени активности пользователей.

- *Стоимость.* Складывается из стоимости самой системы, а также из затрат на ее внедрение, разработку курсов и сопровождение, наличие или отсутствие ограничений по количеству лицензий на слушателей (студентов).

- *Наличие средств разработки контента.* Встроенный редактор учебного контента не только облегчает разработку курсов, но и позволяет интегрировать в едином представлении образовательные материалы различного назначения.

- *Поддержка SCORM.* Стандарт SCORM является международной основой обмена электронными курсами, и отсутствие в системе его поддержки снижает мобильность и не позволяет создавать переносимые курсы.

- *Система проверки знаний.* Позволяет в режиме онлайн оценить знания учеников. Обычно такая система включает в себя тесты, задания и контроль активности обучаемых на форумах.

- *Удобство использования.* При выборе новой системы необходимо обеспечить удобство ее использования. Это важный параметр, поскольку потенциальные ученики никогда не станут использовать технологию, которая кажется громоздкой или создает трудности при навигации. Технология обучения должна быть интуитивно понятной. В учебном курсе должно быть просто найти меню помощи, должно быть легко переходить от одного раздела к другому и общаться с инструктором.

- *Модульность.* В современных системах ЭО курс может представлять собой набор микромодулей или блоков учебного материала, которые могут быть использованы в других

курсах.

- *Обеспечение доступа.* Обучаемые не должны иметь препятствий для доступа к учебной программе, связанных с их расположением во времени и пространстве, а также с возможными факторами, ограничивающими возможности обучаемых (ограниченные функции организма, ослабленное зрение). Также использование технологий «завтрашнего дня», которые поддерживаются ограниченным кругом программного обеспечения, существенно снижает круг потенциальных пользователей.

- *100%-я мультимедийность.* Возможность использования в качестве контента не только текстовых, гипертекстовых и графических файлов, но и аудио, видео, gif- и flash-анимации, 3D-графики различных файловых форматов.

- *Масштабируемость и расширяемость.* Возможность как расширения круга слушателей, обучаемых по АСДО, так и добавления программ и курсов обучения и образования.

- *Перспективы развития платформы.* АСДО должна быть развивающейся средой, в которую должны выходить новые, улучшенные версии системы с поддержкой новых технологий, стандартов и средств.

- *Кросс-платформенность АСДО.* В идеале система дистанционного обучения не должна быть привязана к какой-либо операционной системе или среде, как на серверном уровне, так и на уровне клиентских машин. Пользователи должны использовать стандартные средства без загрузки дополнительных модулей, программ и т.д.

- *Качество технической поддержки.* Возможность поддержки работоспособности, стабильности АСДО, устранения ошибок и уязвимостей с привлечением как специалистов организации разработчика АСДО, так и специалистов собственной службы поддержки организации.

- *Наличие (отсутствие) русской локализации продукта.* Локализованная версия продукта более дружелюбна как для администрирования, разработки курсов, так и для конечных потребителей образовательных услуг.

С учетом указанных основных системно-функциональных требований и характеристик качества, предъявляемых к построению современных систем дистанционного обучения, далее в статье представлены результаты исследований и разработок по определению системно-функционального состава АСДО.

В соответствии с существующей концепцией АСДО предназначена для решения важных

функциональных задач в тесном взаимодействии со смежным информационно-аналитическим комплексом (ИАК) и комплексом научно-технического и методического обеспечения (КНТМО) по направлению «Глонасс» [1,2].

1.2. Решения АСДО по системно-функциональному построению

Анализ предметной области проекта показал, что основными, подлежащими в системном проекте АСДО к реализации, являются следующие функции [2,6]:

- получение исходных данных от смежных систем (ИАК, КНТМО) для текущего оперативного планирования процесса подготовки специалистов в области спутниковой навигации;
- регистрация и распределение прав доступа к ресурсам и функциям АСДО преподавателей и администраторов;
- формирование электронных учебных курсов в составе интерактивных электронных обучающих систем (ИЭОС);
- ведение каталогов учебных ресурсов;
- формирование групп обучаемых и назначения необходимых преподавателей для групп;
- планирование учебного процесса;
- обеспечение информационного взаимодействия со слушателями;
- проведение промежуточного и итогового тестирования;
- ведение статистики активных действий слушателей;
- проведение занятий по дистанционной технологии;
- формирование отчетов по обучению и статистике и др.

Углубленный состав указанных системных функций детализирован до уровня функциональных задач по каждой системной функции.

1.3. Решения АСДО по структурно-функциональному построению

Структурное построение АСДО, в соответствии с существующей современной практикой построения систем дистанционного обучения, включает в себя следующие компоненты [2,6]:

- комплекс технических средств (КТС);
- специальное программное обеспечение (СПО);
- информационное обеспечение;
- интерактивные электронные обучающие системы (ИЭОС).

При этом комплекс технических средств АСДО включает:

- серверные технические средства;
- технические средства рабочих мест на основе ПЭВМ;

- общее программное обеспечение;
- телекоммуникационные средства и средства защиты информации.

В проектно-обоснованный состав СПО АСДО вошли:

- комплекс программ администрирования АСДО;
- комплекс программ управления учебным процессом;
- комплекс программ отчетности и статистики;
- комплекс программ управления Web-порталом.

Подсистема администрирования как часть СПО состоит из программных средств (ПС) управления учетными данными пользователей АСДО, реализующих задачи АСДО в части администрирования.

Подсистема управления учебным процессом состоит из ПС и модулей, реализующих задачи АСДО в части управления учебным процессом:

- планирования учебного процесса;
- администрирования учебного процесса;
- мониторинга обучения;
- информационного взаимодействия с ИАК.

Подсистема отчетности и статистики состоит из ПС и модулей, реализующих задачи АСДО в части формирования отчетности:

- формирования и отправки статистики для ИАК;
- формирования отчетов по обучению.

Подсистема Web-портала АСДО состоит из программных средств и модулей, реализующих задачи интеграции и взаимодействия компонентов АСДО:

- интеграции компонентов АСДО;
- информационного взаимодействия пользователей в процессе дистанционного обучения;
- поиска и печати учебных материалов в электронных учебных курсах (ЭУК);
- формирования интерфейса.

В состав информационного обеспечения АСДО также входят:

- базы данных (БД) нормативно-справочной информации в области создания и использования спутниковых навигационных систем;
- БД всей системы АСДО.

1.4. Решения АСДО по электронным обучающим системам

В свою очередь интерактивные электронные обучающие системы как составная часть АСДО содержат следующие компоненты [2,3,6]:

- программные средства;
- информационное обеспечение.

При этом программные средства ИЭОС включают в себя:

- ПС проигрывателя электронных учебных курсов (ЭУК);
- ПС создания комплекса автономного обучения;
- ПС каталогизированного хранения ЭУК;
- ПС редактирования ЭУК, состоящие из редактора теоретических материалов ЭУК; редактора тестов; редактора упражнений;
- ПС информационного взаимодействия с КНТМО.

Информационное обеспечение ИЭОС содержит базу данных ИЭОС.

В процессе разработки функционального и методического построения АСДО были определены категории пользователей и их роли в системе:

- пользователи АСДО - обучаемые (слушатели);
- пользователи АСДО - преподаватели (обучающие);
- пользователи АСДО - работники центра дистанционного обучения (ЦДО): преподаватели; разработчики курсов и ИЭОС; методисты; публикатор WEB-портала; редактор WEB-портала; учебно-вспомогательный персонал;
- эксплуатационный персонал АСДО - работники ЦДО: администраторы АСДО; администраторы баз данных АСДО; администраторы вычислительной сети АСДО; администраторы безопасности информации (персонал службы обеспечения безопасности информации) АСДО; администратор WEB-портала.

После выполнения этапа, связанного с определением системно-функционального построения АСДО, следует этап по решению задачи выбора базовой платформы для практической реализации функций АСДО.

2. Выбор базовой платформы АСДО в условиях многокритериальности и нечеткости

Задача многокритериального выбора базовой платформы АСДО из множества возможных альтернативных платформ по указанным выше критериям является достаточно сложной по причине нечеткости и субъективности экспертных оценок по оцениваемым вариантам. Для решения указанной задачи использованы формализованные методы и, в частности, метод выбора альтернатив на основе нечеткого отношения предпочтения [4,5].

2.1. Постановка задачи

Постановку задачи многокритериального выбора базовой платформы (БП) АСДО в краткой форме представим следующим образом.

Пусть задано множество альтернатив A базовых платформ АСДО и каждая альтернатива характеризуется несколькими критериями качества с номерами $j = 1, \dots, m$. Информация о попарном сравнении альтернатив по каждому критерию качества j представлена в форме отношения предпочтения R_j . Таким образом, имеется m отношений предпочтения R_j на множестве A . Требуется выбрать лучшую альтернативу из множества базовых платформ $\{A, R_1, \dots, R_m\}$.

2.2. Метод решения задачи

Для решения указанной задачи многокритериального выбора БП АСДО выбран достаточно эффективный метод решения, основанный на нечетком отношении предпочтения [4,5]. Укажем ряд необходимых определений для пояснения метода.

Определение 1. Нечетким отношением R на множестве A называется нечеткое подмножество декартова произведения $A \times A$, характеризующееся функцией принадлежности $\mu_R : A \times A \rightarrow [0, 1]$. Значение $\mu_R(a, b)$ этой функции понимается как степень выполнения отношения $a \wedge b$.

Определение 2. Нечетким отношением предпочтения на A называется любое заданное на этом множестве рефлексивное нечеткое отношение, функция принадлежности которого вычисляется следующим образом:

$$\mu_{R^s}(a, b) = \begin{cases} \mu_R(a, b) - \mu_R(b, a), & \text{если } \mu_R(a, b) \geq \mu_R(b, a); \\ 0, & \text{если } \mu_R(a, b) < \mu_R(b, a). \end{cases}$$

Определение 3. Пусть A - множество альтернатив и μ_R - заданное на нем нечеткое отношение предпочтения. Нечеткое подмножество недоминируемых альтернатив множества (A, μ_R) описывается функцией принадлежности

$$\mu_R^{нд} = 1 - \sup_{a, b \in A} (\mu_{R^s}(b, a) - \mu_{R^s}(a, b)), \quad a \in A.$$

Определение 4. Четко недоминируемыми называются альтернативы, для которых $\mu_R^{нд}(a) = 1$, а множество таких альтернатив

$$A^{чнд} = \{a | a \in A, \mu_R^{нд}(a) = 1\}.$$

Определение 5. Носителем нечеткого множества B с функцией принадлежности $\mu_B(a)$ является множество $\{a | a \in A, \mu_B(a) > 0\}$.

Этапы метода решения задачи

С учетом введенных формализмов решение

задачи многокритериального выбора базовой платформы АСДО методом нечеткого отношения предпочтения выполняется в несколько шагов.

Шаг 1. Строится нечеткое отношение Q_1 , которое является пересечением исходных отношений предпочтения:

$$\mu_{Q_1}(a, b) = \min(\mu_{R_1}(a, b), \dots, \mu_{R_m}(a, b)),$$

и определяется нечеткое подмножество недоминируемых альтернатив в множестве (A, μ_{Q_1}) :

$$\mu_{Q_1}^{hd}(a) = 1 - \sup_{b \in A} (\mu_{Q_1}(b, a) - \mu_{Q_1}(a, b)).$$

Шаг 2. Строится нечеткое отношение Q_2 :

$$\mu_{Q_2}(a, b) = \sum_{j=1}^m w_j \mu_{R_j}(a, b)$$

и определяется нечеткое подмножество недоминируемых альтернатив в множестве (A, μ_{Q_2}) :

$$\mu_{Q_2}^{hd}(a, b) = 1 - \sup_{b \in A} (\mu_{Q_2}(b, a) - \mu_{Q_2}(a, b)).$$

Данная функция упорядочивает альтернативы по степени их недоминируемости. Числа w_j в приведенной выше свертке представляют собой коэффициенты относительной важности рассматриваемых критериев, для которых выполняются следующие условия:

$$\sum_{j=1}^m w_j = 1, \quad w_j \geq 0, \quad j = \overline{1, m}.$$

Шаг 3. Отыскивается пересечение множеств $\mu_{Q_1}^{hd}$ и $\mu_{Q_2}^{hd}$:

$$\mu^{hd}(a) = \min(\mu_{Q_1}^{hd}(a), \mu_{Q_2}^{hd}(a)).$$

Шаг 4. Рациональным считается выбор альтернатив из множества

$$A^{hd} = \{a' | a' \in A, \mu^{hd}(a') = \sup_{a \in A} \mu^{hd}(a)\}.$$

Вывод. Наиболее рациональной альтернативой из множества базовых платформ A^{hd} является та, которая имеет максимальную степень недоминируемости.

2.3. Решение задачи

2.3.1. Анализируемый перечень базовых платформ АСДО

Решение задачи многокритериального выбора базовой платформы АСДО (с учетом наиболее важных критериев качества) выпол-

нялось на основе заданного перечня следующих корпоративных систем дистанционного обучения [5]:

1. Система дистанционного обучения TrainingWare (<http://www.ksob.ru>)

Система дистанционного обучения (СДО) TrainingWare предназначена для создания единой среды обучения, взаимодействия обучаемых с преподавателем и между собой, организации проведения различных видов обучения, контроля компетенции, проведения регулярных тренингов и аттестаций, автоматизации входного тестирования. Система ориентирована на предприятия, имеющие разветвленную структуру и потребность в организации дистанционного обучения, системы повышения квалификации, удаленного обучения, а также тестирования и сертификации.

Система TrainingWare - это современное программное обеспечение, позволяющее развернуть в Интернет или Интранет-сетях учебные центры дистанционного обучения.

К технологическим достоинствам системы можно отнести следующие.

- Система внедряется в открытом коде (PHP).
- Система устанавливается под наиболее распространенные типы ОС, включая семейство Unix, Linux.
- Система масштабируется при использовании таких СУБД, как MSSQL, Oracle.
- Система не требует покупки дополнительного программного обеспечения или дополнительных лицензий (Windows, MS IIS и т.п.).
- Наличие сертификата качества ISO 9000.

2. Система дистанционного обучения WebTutor (<http://www.websoft.ru>)

Система дистанционного обучения WebTutor состоит из следующих модулей:

1) модуль управления дистанционным обучением:

- редактор учебных курсов;
 - редактор интерактивных упражнений;
 - редактор тестов/контрольных вопросов;
- 2) модуль управления учебным порталом:
- редактор информационных материалов портала;
 - хранилище организационной структуры/ведение пользователей;
 - управление/моделирование форумов;
- 3) шлюз для обмена с корпоративными данными:

- загрузка данных из системы учета персонала;
- интеграция с Active Directory, Dimino

Directory, LDAP;

- экспорт данных в хранилище данных, построенное на основе любой реляционной базы данных.

Поддерживает международные стандарты обмена учебными материалами (SCORM, AICC), заявлена возможность построения на основе ПО WebTutor распределенной системы дистанционного обучения для компаний с филиальной сетью любого масштаба.

3. Система дистанционного обучения "Прометей" (<http://www.prometeus.ru>)

Система "Прометей" имеет модульную архитектуру, что позволяет расширять, модернизировать и масштабировать систему по мере необходимости. Система состоит из следующих модулей.

- Типовой Web-узел - набор HTML-страниц, предоставляющих информацию об учебном центре, списке курсов и дисциплин, списке тьюторов в Интернете или ЛВС (Интранете) организации.

- Автоматизированные рабочие места пользователей (администратора, преподавателя, слушателя, куратора и др.).

- Модуль "Дизайнер курсов". Модуль позволяет в автономном режиме создавать электронные учебные курсы с их последующим размещением на сервере учебного центра.

4. Система дистанционного тренинга REDCLASS (<http://www.redcenter.ru>)

Система дистанционного тренинга REDCLASS - это комплекс программно-аппаратных средств, учебных материалов и методик обучения, которые позволяют дистанционно обучаться, повышать квалификацию, контролировать знания в любых отраслях деятельности человека, а также вырабатывать практические навыки по эксплуатации и управлению программными продуктами, оборудованием и технологиями. Система REDCLASS сертифицирована по международному стандарту SCORM 1.2.

2.3.2. Критерии оценивания альтернатив

Для оценивания базовых платформ АСДО на альтернативной основе будем использовать следующие критерии качества:

- F_1 — стоимость;
- F_2 — функциональность;
- F_3 — надежность;
- F_4 — удобство использования;
- F_5 — качество технической поддержки;
- F_6 — модульность;
- F_7 — масштабируемость;
- F_8 — кросс-платформенность.

2.3.3. Экспертные оценки альтернатив

Экспертным способом на основании функ-

ций принадлежности всех альтернатив по восьми указанным критериям определены их конкретные нормированные значения, которые представляют собой следующие нечеткие множества:

$$\mu_{F_1} = 0,25/1,5 + 0,25/1,5 + 0,1/1,8 + 0/2,2;$$

$$\mu_{F_2} = 1,0/10 + 1,0/15 + 1,0/15 + 0,5/5,0;$$

$$\mu_{F_3} = 0,9/0,2 + 1,0/0,1 + 0,1/0,5 + 0/0,7;$$

$$\mu_{F_4} = 0,9/1,5 + 0,25/3,5 + 0,25/3,5 + 0,75/2,5;$$

$$\mu_{F_5} = 0,15/2,0 + 1,0/6,0 + 1,0/6,0 + 0,75/4,5;$$

$$\mu_{F_6} = 0,25/18 + 0,2/20 + 0,8/12 + 0,9/10;$$

$$\mu_{F_7} = 0,95/1,0 + 0,25/7,0 + 1,0/9,0 + 0,75/5,0;$$

$$\mu_{F_8} = 0,75/6,0 + 0,5/3,0 + 0,5/3,0 + 0,5/3,0.$$

По этим данным составлены матрицы нечетких отношений предпочтения R_1, \dots, R_8 .

F_1	a_1	a_2	a_3	a_4
$\mu_{R_1} = a_1$	1	0	0,15	0,25
a_2	0	1	0,15	0,25
a_3	0	0	1	0,1
a_4	0	0	0	1

F_2	a_1	a_2	a_3	a_4
$\mu_{R_2} = a_1$	1	0	0	0,5
a_2	0	1	0	0,5
a_3	0	0	1	0,5
a_4	0	0	0	1

F_3	a_1	a_2	a_3	a_4
$\mu_{R_3} = a_1$	1	0	0,8	0,9
a_2	0,1	1	0,9	1,0
a_3	0	0	1	0,1
a_4	0	0	0	1

F_4	a_1	a_2	a_3	a_4
$\mu_{R_4} = a_1$	1	0,65	0,65	0,15
a_2	0	1	0	0
a_3	0	0	1	0
a_4	0	0,5	0,5	1

F_5	a_1	a_2	a_3	a_4
$\mu_{R_5} = a_1$	1	0	0	0
a_2	0,85	1	0	0,25
a_3	0,85	0	1	0,25
a_4	0,6	0	0	1

	F ₆	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄
μ _{R₆} =	a ₁	1	0,05	0	0
	a ₂	0	1	0	0
	a ₃	0,5	0,55	1	0
	a ₄	0,65	0,7	0,15	1

	F ₇	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄
μ _{R₇} =	a ₁	1	0,7	0,85	0,2
	a ₂	0	1	0,15	0
	a ₃	0	0	1	0
	a ₄	0	0,5	0,65	1

	F ₈	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄
μ _{R₈} =	a ₁	1	0,25	0,25	0,25
	a ₂	0	1	0	0
	a ₃	0	0	1	0
	a ₄	0	0	0	1

2.3.4. Этапы решения задачи

Задачу выбора решаем в соответствии с описанным выше методом нечеткого отношения предпочтения.

Шаг 1. Строим нечеткое отношение Q₁=R₁ ∩ R₂ ∩ ... ∩ R₈:

$$\mu_{Q_1}(a_i, a_j) = \begin{matrix} & a_1 & a_2 & a_3 & a_4 \\ \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{matrix} & \left\| \begin{matrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{matrix} \right\| \end{matrix}$$

Находим подмножество недоминируемых альтернатив на множестве {A, μ_{Q₁}}:

$$\mu_{Q_1}(a_i) = 1 - \sup_{a_j \in A} (\mu_{Q_1}(a_j, a_i) - \mu_{Q_1}(a_i, a_j))$$

по всем i и j (i ≠ j):

$$\begin{aligned} \mu_{Q_1}^{нд}(a_1) &= 1 - \sup(\mu_{Q_1}(a_2, a_1) - \mu_{Q_1}(a_1, a_2); \\ &\mu_{Q_1}(a_3, a_1) - \mu_{Q_1}(a_1, a_3); \\ &\mu_{Q_1}(a_4, a_1) - \mu_{Q_1}(a_1, a_4)) = 1; \\ \mu_{Q_1}^{нд}(a_2) &= 1 - \sup(\mu_{Q_1}(a_1, a_2) - \mu_{Q_1}(a_2, a_1); \\ &\mu_{Q_1}(a_3, a_2) - \mu_{Q_1}(a_2, a_3); \\ &\mu_{Q_1}(a_4, a_2) - \mu_{Q_1}(a_2, a_4)) = 1; \\ \mu_{Q_1}^{нд}(a_3) &= 1 - \sup(\mu_{Q_1}(a_1, a_3) - \mu_{Q_1}(a_3, a_1); \end{aligned}$$

$$\mu_{Q_1}(a_2, a_3) - \mu_{Q_1}(a_3, a_2);$$

$$\mu_{Q_1}(a_4, a_3) - \mu_{Q_1}(a_3, a_4)) = 1;$$

$$\mu_{Q_1}^{нд}(a_4) = 1 - \sup(\mu_{Q_1}(a_1, a_4) - \mu_{Q_1}(a_4, a_1);$$

$$\mu_{Q_1}(a_2, a_4) - \mu_{Q_1}(a_4, a_2);$$

$$\mu_{Q_1}(a_3, a_4) - \mu_{Q_1}(a_4, a_3)) = 1.$$

Таким образом,

$$\mu_{Q_1}^{ia} = \|1 \ 1 \ 1 \ 1\|.$$

Шаг 2. Строим отношение Q₂:

$$\mu_{Q_2}(a_i, a_j) = \sum_{k=1}^8 w_k \mu_{R_k}(a_i, a_j).$$

Коэффициенты w_k относительной важности критериев имеют следующие значения: w₁ = 0,23, w₂ = 0,09, w₃ = 0,04, w₄ = 0,23, w₅ = 0,04, w₆ = 0,09, w₇ = 0,23, w₈ = 0,04.

Определяем нечеткое отношение Q₂:

$$\mu_{Q_2}(a_i, a_j) = \begin{matrix} & a_1 & a_2 & a_3 & a_4 \\ \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{matrix} & \left\| \begin{matrix} 1 & 0,325 & 0,427 & 0,229 \\ 0,038 & 1 & 0,105 & 0,152 \\ 0,079 & 0,05 & 1 & 0,082 \\ 0,082 & 0,293 & 0,278 & 1 \end{matrix} \right\| \end{matrix}$$

Находим подмножество недоминируемых альтернатив множества {A, μ_{Q₂}}:

$$\mu_{Q_2}^{нд}(a_i) = 1 - \sup_{a_j \in A} (\mu_{Q_2}(a_j, a_i) - \mu_{Q_2}(a_i, a_j))$$

по всем i и j (i ≠ j);

$$\mu_{Q_2}^{нд}(a_i) = \|1,0 \ 0,712 \ 0,652 \ 0,854\|.$$

Шаг 3. Результирующее множество недоминируемых альтернатив есть пересечение множеств μ_{Q₁}^{нд} и μ_{Q₂}^{нд}:

$$\begin{aligned} \mu_{Q_1}^{нд} \cap \mu_{Q_2}^{нд} &= \{(1 \ 1 \ 1 \ 1) \cap \\ &\cap (1,0 \ 0,712 \ 0,652 \ 0,854)\} = \\ &= \{(1,0 \ 0,712 \ 0,652 \ 0,854)\}. \end{aligned}$$

Шаг 4. Следовательно, рациональным следует считать выбор альтернативы a₁, имеющей максимальную степень недоминируемости.

Вывод. Результатом решения задачи явился обоснованный выбор системы TrainingWare ЗАО «Корпоративные Системы Обучения» в качестве базовой платформы АСДО.

Заключение. Наряду с полученными и представленными в статье научно-техническими решениями по системно-функциональному построению автоматизированной системы дистанционного обучения по профилю «Глонасс» в проекте также определены и обоснованы решения по ряду других системных и прикладных задач. К последним следует отнести задачи, связанные с разработкой необходимых видов обеспечения АСДО [5,6]: научно-методологического, методического, нормативного и информационно-инструментального. В том числе результаты проведенных прикладных исследований и экспериментальных разработок включают в себя:

- исследование и анализ предметной области, связанной с решением задач по созданию автоматизированных систем дистанционного обучения с учетом концепции открытых образовательных систем;

- системный анализ современного состояния научно-методического и инструментального обеспечения процессов создания современных программно-технических комплексов АСДО с учетом требований по системно-функциональному построению АСДО по направлению «Глонасс»;

- разработку и исследование научных подходов, моделей и методов актуализации проектной информации для информационной поддержки процесса создания ПТК АСДО по стадиям жизненного цикла АСДО;

- алгоритмизацию функциональных процедур АСДО и разработку логических структур баз данных и баз знаний по контенту предметной области «Глонасс»;

- программно-аппаратную реализацию ПТК АСДО и создание экспериментальной версии АСДО, отвечающей заданным требо-

ваниям;

- разработку типовых нормативно-методических и образовательных и эксплуатационных документов промышленного и учебного применения для грамотного сопровождения и эффективного использования разработанных средств АСДО.

Библиографический список

1. <http://www.glonass-ianc.rsa.ru>.
2. Техническое задание на ОКР «Разработка автоматизированной системы дистанционного обучения подготовки и повышения квалификации специалистов по спутниковой навигации». - М.: ОАО «Российские космические системы», 2009. - 43 с.
3. Принципы построения и описания профилей стандартов и спецификаций информационно-образовательных сред. Метаданные для информационно-образовательных ресурсов сферы образования // Серия: Нормативно-техническое обеспечение информационных технологий в образовании: Гл. редактор В.А. Старых. - М.: Фонд «Европейский центр по качеству», 2009. - 376 с.
4. *Андрейчинков А.В., Андрейчинкова О.Н.* Анализ, синтез, планирование решений в экономике. - М.: Финансы и статистика, 2000. - 368 с.
5. *Корячко В.П., Таганов А.И., Таганов Р.А., Чернышев С.В.* Многокритериальный анализ и выбор платформы для реализации виртуальной образовательной среды специального назначения / В межвуз. сб. науч. тр. «Современные информационные технологии в научных исследованиях». - Рязань: РГРТУ, 2010. - С. 12-21.
6. *Гуров В.С., Гостин А.М., Корячко В.П., Митрошин А.А., Таганов А.И., Чернышев С.В.* Структурное и функциональное построение автоматизированной системы дистанционного обучения и повышения квалификации специалистов в области создания и использования спутниковых навигационных систем / В межвуз. сб. науч. тр. «Современные информационные технологии в образовании». - Рязань: РГРТУ, 2010. - С. 5-14.

УДК 336

О.Ю. Горбова, О.И. Дудукина

ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ ПОТРЕБНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ В МУНИЦИПАЛЬНЫХ УСЛУГАХ

Проведен анализ существующей практики и методик оценки потребности населения в муниципальных услугах. Обобщены положительные и отрицательные стороны данных методик. Предложена методология оценки потребности населения в муниципальных услугах, основанная на дифференцированном подходе к муниципальным услугам.

Ключевые слова: муниципальные услуги, муниципальное образование, потребность в муниципальных услугах.

Введение. Цель работы - исследовать существующие методики оценки потребности населения в муниципальных услугах, выделить их положительные и отрицательные стороны и разработать методологию оценки потребности населения в муниципальных услугах. Функционирование социальной сферы происходит через систему социально значимых благ (услуг), предоставляемых потребителям за счет средств соответствующего бюджета. Речь идет о тех услугах, без которых невозможно нормальное развитие и функционирование общества. К таким услугам относятся услуги дошкольного, школьного и дополнительного образования, медицинская помощь, услуги жилищно-коммунального хозяйства и транспортного обслуживания населения и т.д.

Современные подходы к управлению в настоящий момент сводятся к процессным методам управления, состоящим в представлении процесса управления как последовательности этапов, на каждом из которых фиксируются входные и выходные параметры и продукты и прописываются должности, ответственные за процесс или его составные части [1,2,3]. Одним из таких процессов является определение потребности населения в услугах муниципалитета. Входными параметрами оценки потребности населения в услугах выступают реестр муниципальных услуг, стандарты оказания муниципальных услуг и нормы и нормативы, установленные федеральным и региональным законодательством. Оценка потребности используется в целях планирования и организации оказания муниципальных услуг населению, а также для определения объемов бюджетного финансирования муниципальных услуг.

Анализ существующей практики оценки потребности населения в муниципальных услугах. Сложившаяся практика учета потребности населения в предоставляемых на территории муниципальных образований муниципальных услугах по различным отраслям социальной сферы имеет ряд недостатков. К основным недостаткам следует отнести следующие.

1. Отсутствие единого комплексного методологического подхода к выделению муниципальных услуг.

2. Выделение комитетами и бюджетными учреждениями муниципальных услуг осуществляется преимущественно для целей статистического учета, а не для целей бюджетного планирования.

3. Ежегодное определение потребности в

предоставляемых муниципальных услугах базируется в основном на данных, содержащихся в отчетах о сети, штатах и контингентах, формируемых бюджетными учреждениями.

Обозначенный спектр проблемных ситуаций требует создания единых методик оценки потребности в муниципальных услугах и усиления роли показателей количества и качества муниципальных услуг в бюджетном планировании.

Анализ существующих методик оценки потребности населения в муниципальных услугах. В большинстве регионов России на данный момент разработаны и приняты методики оценки потребности населения в муниципальных услугах и даже ведутся ежегодные расчеты. Практика показывает, что принятие соответствующих методик не изменило ситуации «советского» прогнозирования объемов оказания муниципальных услуг, в большинстве случаев сводимого к «планированию от достигнутого результата».

С целью выявления общих принципов построения методик оценки потребности в муниципальных услугах, обобщения положительных и отрицательных моментов их построения авторами статьи был проведен анализ методик, используемых в ряде муниципальных образований РФ.

Для анализа были взяты методики нескольких региональных центров (г. Самара, г. Иркутск, г. Рязань, г. Омск, г. Сыктывкар), а также муниципальных районов. Большинство принятых методик описывают механизм оценки в целом для муниципальных услуг, без их разделения на группы и виды. Однако есть регионы, где методики приняты отдельно для разных групп и наименований услуг (из рассматриваемых – г. Омск).

Структура методики состоит из следующих разделов.

1. Цель и задачи методики, объекты оценки.

2. Порядок проведения работы по оценке потребности в предоставлении муниципальных услуг или так называемый регламент оценки.

3. Оценка потребности в предоставлении муниципальных услуг в натуральном выражении.

4. Оценка потребности в предоставлении муниципальных услуг в стоимостном выражении.

5. Учет результатов оценки потребности в предоставлении муниципальных услуг на очередной финансовый год.

Цели и задачи рассматриваемых методик, как правило, сводятся к следующему:

- обеспечение учета обязательных для предоставления жителям муниципального образования муниципальных услуг, оплачиваемых за счет средств бюджета;
- определение приоритетных направлений для сбалансированного и эффективного распределения бюджетных средств по муниципальным услугам;
- формирование информационной базы для принятия решений о направлениях и способах оптимизации муниципальных расходов;
- обеспечение своевременного предоставления муниципальных услуг жителям города в необходимых объемах;
- обеспечение своевременной и полной оплаты предоставленных потребителям услуг;
- создание системы оценки и контроля деятельности муниципальных учреждений в части предоставления муниципальных услуг.

На рисунке 1 представлена стандартная схема этапов оценки потребности населения в муниципальных услугах, прописанных в методиках.

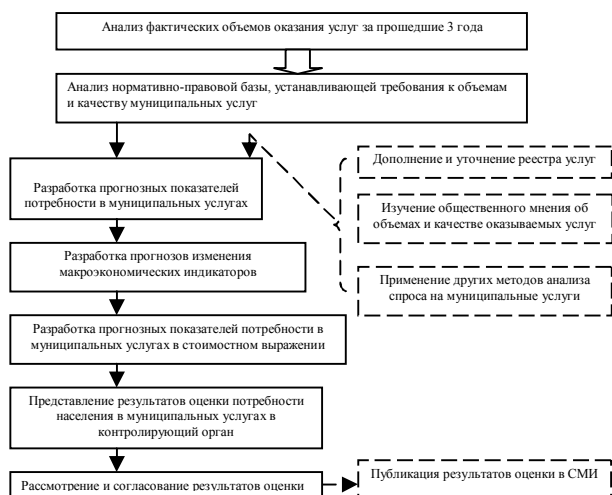


Рисунок 1 – Регламент проведения оценки потребности населения в муниципальных услугах

Проведенный анализ показывает, что во всех методиках есть стандартный набор составляющих. На схеме они помечены сплошной линией прямоугольников. Однако в некоторых методиках встречаются этапы, характерные для отдельных регионов. Например, в методике г. Рязани и г. Иркутска одним из этапов является изучение общественного мнения об объемах и качестве оказываемых услуг. В рязанской методике также требуется применение других методов анализа спроса на муниципальные услуги. Публикация результатов оценки в СМИ является этапом только методик г. Сыктывкара и

г. Рязани [4,5]. Указанные этапы помечены на схеме пунктиром.

Кроме этапов оценки, как правило, регламенты содержат даты их проведения и наименования органов власти, ответственных за проведение того или иного этапа.

Анализ рассмотренных регламентов показывает, что наиболее подробный и расширенный регламент используется в г. Рязани. Основным отличием его от регламентов других регионов является включение этапов косвенного и прямого анализа спроса на муниципальные услуги.

Оценка потребности населения в муниципальных услугах в натуральном выражении в рассматриваемых методиках также имеет ряд схожих положений. Исходными данными для оценки являются данные о численности получателей, фактические данные об оказанных услугах. Прогнозирование объема муниципальных услуг осуществляется отраслевыми органами исполнительной власти или структурными подразделениями администрации. При этом процесс прогнозирования не описан.

В некоторых методиках конкретизируется расчет индекса роста объема оказываемых услуг (г. Сыктывкар) [5]:

$$I = PO / PO_1, \quad (1)$$

где PO - прогнозный объем оказания муниципальной услуги в натуральном выражении;

PO_1 - фактический объем оказания муниципальной услуги в натуральном выражении за отчетный год.

При этом процесс вычисления составляющих формулы не рассматривается.

Таким образом, процесс прогнозирования объемов оказания услуг является многовариантным в рассматриваемых методиках и полностью регламентируется исполнителями расчетов.

Однако данное утверждение имеет исключения. Методики, посвященные отдельным группам услуг, достаточно подробно регламентируют процесс прогнозирования. Например, в г. Омске принята методика оценки потребности населения в муниципальных услугах в области культуры [8].

Методика, используемая в г. Омске, основывается на определении структуры групп потенциальных и фактических получателей соответствующих муниципальных услуг. В области культуры выделяются следующие группы получателей:

- 1) дети в возрасте от 3-х до 18-ти лет

включительно;

2) граждане в возрасте от 18-ти лет.

В качестве метода прогнозирования численности получателей муниципальных услуг в области культуры рекомендуется применять экстраполяционную модель и модель коллективного потребления.

1) Экстраполяционная модель - модель, позволяющая определить объем групп получателей муниципальных услуг на основании данных прошлых периодов и прогнозов численности получателей услуг.

Экстраполяционную модель рекомендуется использовать для муниципальных услуг, потребность в которых носит неизменяемый или малоизменяемый характер. Допускается применение этой модели для вновь вводимых муниципальных услуг или элементов муниципальных услуг, а также при введении новых групп получателей муниципальных услуг.

При определении численности групп получателей муниципальных услуг в области культуры рекомендуется структурировать исходные данные по группам получателей.

Численность группы получателей муниципальной услуги в области культуры определяется по формуле:

$$A_i = (B_{ij} + P_i) \times K_i \quad (2)$$

где A_i - численность i -й группы получателей муниципальной услуги в области культуры в плановом периоде;

B_{ij} - численность i -й группы получателей муниципальной услуги в области культуры в j -м отчетном периоде;

P_i - прирост численности i -й группы получателей муниципальной услуги в области культуры в плановом периоде по сравнению с отчетным;

K_i - индекс востребованности муниципальной услуги i -й группой получателей муниципальной услуги в области культуры в плановом периоде по сравнению с отчетным.

Индекс востребованности муниципальной услуги в области культуры (K_i) определяется по следующей формуле:

$$K_i = (d_i + c_i) / (D_i + C_i), \quad (3)$$

где K_i - индекс востребованности муниципальной услуги в области культуры;

D_i - прогноз численности i -й группы получателей муниципальной услуги в области культуры для отчетного периода;

C_i - прогноз прироста i -й группы в отчетном периоде по сравнению с периодом, предшеств-

ующим отчетному;

d_i - фактическая численность i -й группы получателей муниципальной услуги в области культуры в отчетном периоде;

c_i - фактический прирост численности i -й группы получателей муниципальной услуги в области культуры в отчетном периоде по сравнению с периодом, предшествующем отчетному.

Для определения оценки (мониторинга) потребности предоставления муниципальных услуг в области культуры на каждый год планового периода в качестве соответствующих показателей отчетного периода используются значения показателей в соответствующем финансовом году.

В случае отсутствия некоторых данных могут применяться другие методы планирования и прогнозирования потребности в предоставлении муниципальных услуг, обусловленные отраслевой спецификой.

2) Модель коллективного потребления ориентирована для предоставления муниципальных услуг коллективного характера. Например, проведение культурно-массовых и культурно-досуговых мероприятий. Отличительными чертами таких услуг является ориентированность на количество получателей, поэтому затраты на предоставление муниципальной услуги, как правило, не зависят от выделения групп получателей.

Численность получателей муниципальной услуги в области культуры определяется следующим образом:

$$N_{ij} = n_{ij}, \quad (4)$$

где N_{ij} - число получателей i -й муниципальной услуги в области культуры j -й группы получателей в плановом периоде;

n_{ij} - плановое значение предоставления i -й муниципальной услуги в области культуры в плановом периоде j -й группе получателей.

Плановое значение может определяться на основании:

- требований действующих нормативных правовых актов Российской Федерации, региона и муниципальных правовых актов;

- востребованности оказываемых муниципалитетом услуг в области культуры со стороны населения.

Разделение услуг на группы позволяет прописать механизм прогнозирования достаточно подробно. Однако таких методик мало в связи со сложностью и высокой детализацией анализа муниципальных услуг.

Оценка потребности населения в муници-

пальных услугах в стоимостном выражении в рассматриваемых методиках ограничивается несколькими формулами. Например, в г. Самара и Чесменском районе Челябинской области стоимость муниципальной услуги вычисляется следующим образом [6,7]:

$$A = V^* \times (B_1 \times I_1 + B_2 \times I_2 + \dots + B_N \times I_N), \quad (5)$$

где A – оценка стоимости муниципальной услуги в будущем периоде;

V^* – прогнозный объем предоставления муниципальной услуги в натуральном выражении;

B_1, B_2, \dots, B_N – элементы затрат по производству муниципальной услуги;

I_1, I_2, \dots, I_N – индексы роста (снижения) составных элементов стоимости (затрат) муниципальной услуги.

В некоторых методиках приводятся модификации этой формулы (г. Сыктывкар) [5]:

$$ПС = I \times (Y_1 \times K_1 + Y_2 \times K_2 + \dots + Y_n \times K_n), \quad (6)$$

где $ПС$ – прогноз стоимости муниципальной услуги;

I – индекс роста (сокращения) объема оказания муниципальной услуги;

Y_1, Y_2, Y_n – фактические затраты по статьям затрат в структуре себестоимости оказания муниципальной услуги, осуществленные за счет средств бюджета г. Сыктывкар;

K_1, K_2, K_n – индексы роста (сокращения) показателей, влияющих на структуру себестоимости муниципальной услуги.

В некоторых методиках приводятся различные варианты расчета. Например, в г. Рязань предлагаются три варианта оценки потребности в стоимостном выражении [4].

1. Оценка с использованием данных о фактических объемах предоставленных муниципальных услуг и данных о фактически сложившейся стоимости этих услуг.

Оценка стоимости предоставления муниципальных услуг производится по каждой из услуг по формуле:

$$СТ = БСТУ + (-) ИСТУ, \quad (7)$$

где $СТ$ – прогноз стоимости муниципальной услуги;

$БСТУ$ – базовая стоимость услуги, предусмотренная в бюджете города на текущий финансовый год;

$ИСТУ$ – изменение стоимости муниципальной услуги, определяемое отдельным расчетом и обусловленное изменением натуральных объемов предоставления услуги, а также воздействием на стоимость услуги иных факторов.

2. Оценка с использованием нормативов

стоимости единицы услуг.

Для проведения оценки стоимости муниципальных услуг необходимо произвести расчет нормативной стоимости услуг. Расчет нормативной стоимости услуг следует производить исходя из стоимости необходимых для оказания услуги финансовых и материальных ресурсов. При расчете нормативов должны быть учтены:

- требуемые и обоснованные затраты на оплату труда персонала учреждения, оказывающего муниципальную услугу;

- начисления на оплату труда персонала;

- требуемые и обоснованные материальные затраты, необходимые для оказания муниципальной услуги;

- расходы на коммунальные услуги;

- другие затраты, необходимые для оказания муниципальной услуги.

Оценка стоимости необходимых для предоставления муниципальных услуг производится по каждой из услуг по формуле:

$$СТ = О \times Н, \quad (8)$$

где $СТ$ – прогноз стоимости требуемой муниципальной услуги;

$О$ – прогнозный объем предоставления услуг в натуральном выражении;

$Н$ – норматив стоимости натуральной единицы муниципальной услуги.

3. Оценка с использованием метода прямого счета.

Метод прямого счета основывается на применении в расчетах денежных нормативов, установленных нормативными правовыми актами РФ, Рязанской области и города Рязани, а также утвержденных, прогнозируемых или расчетных цен, тарифов и ставок.

Анализ показывает, что стоимость услуги определяется различными способами. При этом все варианты расчета хорошо формализованы в рассматриваемых методиках.

Учет результатов оценки также имеет региональные особенности.

Результаты оценки учитываются при формировании бюджета и муниципального задания учреждениям. Непосредственно оценку проводят главные распорядители и получатели бюджетных средств. Далее результаты оценки направляются на анализ одному из подразделений администрации (г. Самара, Чесменский район).

В некоторых методиках рассматривается ситуация превышения прогноза потребности над предельными бюджетами субъекта финансового планирования. В г. Иркутске методика преду-

смачивает в этом случае определение приоритетности муниципальных услуг с помощью метода ранжирования. Приоритетность муниципальных услуг основывается на Конституции РФ, нормативных правовых актах органов государственной власти Иркутской области и муниципальных правовых актов г. Иркутска.

В г. Сыктывкаре аналогично в приоритетном порядке в проект бюджета включаются расходы на оказание муниципальных услуг, отказ от оказания которых:

- может повлечь возникновение угрозы жизни и здоровью населения;
- затрагивает интересы наиболее многочисленных групп населения;
- может повлечь нарушение норм федерального законодательства и конституционных прав граждан;
- может нанести материальный ущерб муниципальной собственности, собственности граждан.

Рассматриваемая методика предусматривает возможность для финансового управления Министерства финансов республики Коми в г. Сыктывкаре в случае если сумма, указанная в бюджетной заявке, превышает результат стоимостной оценки потребности в оказании соответствующей муниципальной услуги, полностью или частично отклонить рассматриваемую бюджетную заявку и предусмотреть в проекте бюджета расходы на финансирование данной услуги в соответствии с результатами стоимостной оценки потребностей в оказании услуги.

Порядок учета результатов оценки потребности в предоставлении муниципальных услуг при формировании расходов бюджета в г. Рязани оформлен отдельным положением. В соответствии с ним механизм учета описан более подробно, чем в уже рассмотренных нами методиках: подробно расписаны функции управлений, связанных с бюджетным процессом, а также сроки предоставления информации.

В случае превышения возможности бюджета города Рязани к их финансированию, финансово-казначейское управление доводит до отраслевых подразделений администрации города предельный размер прогнозируемых бюджетных ассигнований в стоимостном выражении на финансирование каждой отрасли.

Отраслевые подразделения администрации города в соответствии с доведенными прогнозируемыми объемами бюджетных ассигнований разрабатывают и реализуют предложения:

- по сокращению принимаемых к финансированию объемов предоставления муници-

пальных услуг;

- реализуют мероприятия по снижению издержек, связанных с предоставлением финансируемых из бюджета города Рязани услуг.

Предложения по сокращению объема предоставляемых муниципальных услуг разрабатываются с учетом:

- установленных приоритетов в расходовании муниципальных средств;
- порядка ранжирования муниципальных услуг (более полно финансируются услуги, имеющие более высокий ранг);
- принципа первичного сокращения объемов необязательных к предоставлению с точки зрения федерального законодательства муниципальных услуг (отсутствия в полномочиях органов местного самоуправления).

Окончательное решение по включению в проект бюджета города Рязани расходов на финансирование той или иной муниципальной услуги принимается главой администрации города.

Методология оценки потребности населения в муниципальных услугах. Проведенный анализ показал, что расчет потребности населения в муниципальных услугах будет более адекватным, если дифференцировать его по группам услуг, характеризующихся схожими характеристиками при прогнозировании натуральных показателей. Поэтому в методике логичнее выделить разные методы расчета потребности для разных групп услуг.

Дифференциация при расчете потребности должна основываться на следующих критериях.

- Периодичность оказания услуг. Все услуги можно разделить на постоянные, необходимость в которых существует постоянно, и разовые, к которым можно отнести так называемые услуги коллективного пользования, например, какие-либо общегородские мероприятия.

- Единица измерения услуги. При оказании услуг учитывается количество пользователей, количество посещений, количество койко-дней.

- Категория потребителей. Непосредственные получатели услуги.

По выявленным критериям необходимо классифицировать все услуги, содержащиеся в реестре муниципальных услуг.

На рисунке 2 приведен рекомендуемый регламент оценки потребности населения в муниципальных услугах. Приведенный рисунок вносит коррективы в стандартные процедуры принятых в большинстве муниципальных образований методик. В частности, процесс прогнозирования объемов услуг в натуральном

выражении прописан более подробно с учетом группы услуг. Далее, прогноз строится только для группы постоянных услуг, т.к. стоимость оказания разовых услуг не зависит от количества потребителей.

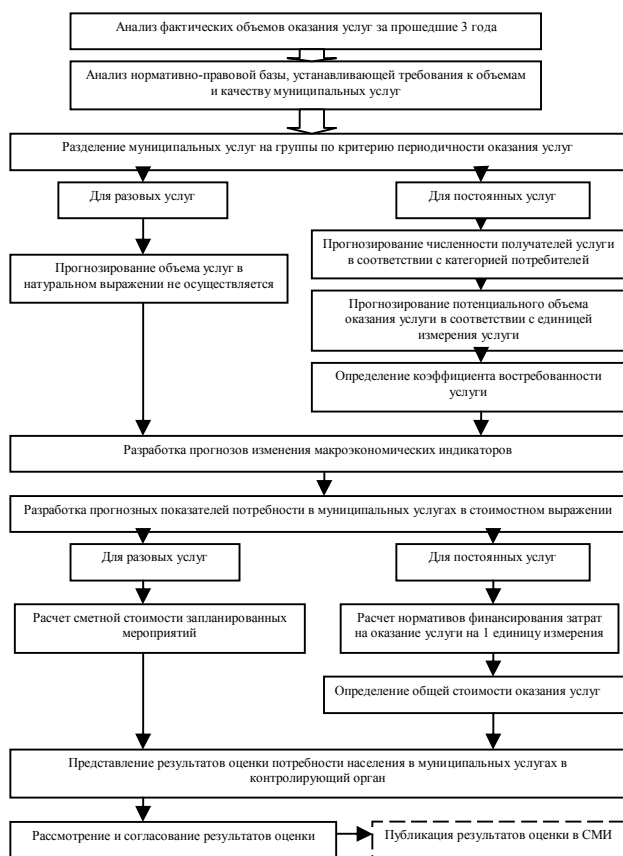


Рисунок 2 – Рекомендуемый регламент оценки потребности населения в муниципальных услугах

Прогнозирование объема оказания постоянных услуг происходит в три этапа.

1. Строится прогноз численности получателей услуги.

2. Прогнозируется потенциальный объем услуг в соответствии с единицей измерения услуги, т.е. если единицами измерения являются посещения или вызовы, то происходит коррекция на количество посещений или вызовов в процессе оказания услуги.

3. Рассчитывается коэффициент востребованности услуги. Данный коэффициент отражает долю реальных потребителей услуги в количестве потенциальных потребителей.

Далее приведем общую методику расчета потребности населения в муниципальных услугах.

1. Анализ фактических объемов оказания услуг за прошедшие 3 года, анализ нормативно-правовой базы, устанавливающей требования к объемам и качеству муниципальных услуг. Анализ проводится отраслевыми подразделения-

ми администрации муниципалитета с целью выявления требуемого содержания услуги, периодичности ее оказания, контингента получателей и единиц измерения услуги.

2. Классификация муниципальных услуг по критерию периодичности оказания услуг.

3. Прогнозирование объема постоянных услуг в натуральном выражении.

3.1. Прогнозирование численности получателей услуги в соответствии с категорией потребителей проводится с использованием метода экстраполяции или корреляционно-регрессионного метода.

При использовании метода экстраполяции строится функциональная зависимость количества получателей услуги от времени:

$$Q_i = F(t), \quad (9)$$

где Q_i – количество получателей i -й услуги; t – временной интервал, обозначаемый в данной модели цифрами 1, 2, 3 и т.д.

Цифрой 1 будет обозначен отчетный период, следовательно, 2, 3 и т.д. – прогнозные периоды.

При использовании корреляционно-регрессионного метода строится функциональная зависимость количества получателей услуги от факторов, влияющих на это количество:

$$Q_i = F(f_1, f_2, \dots, f_n), \quad (10)$$

где f_1, f_2, \dots, f_n – факторы, влияющие на количество получателей услуги. Данные факторы будут различны для групп услуг.

3.2. Прогнозирование потенциального объема оказания услуги в соответствии с единицей измерения услуги. Для услуг, учет оказания которых осуществляется не в количестве клиентов, происходит коррекция на единицы измерения:

$$Q_{potenc\ i} = Q_i \times K_{kor\ i}, \quad (11)$$

где $K_{kor\ i}$ – коэффициент коррекции количества получателей услуги. Данный коэффициент учитывает количество посещений в течение процесса оказания услуги, количество вызовов на душу населения и т.д.

3.3. Определение коэффициента востребованности услуги:

$$K_i = \frac{q_i + \Delta q_i}{Q_{sum\ i} + \Delta Q_{sum\ i}}, \quad (12)$$

где K_i – коэффициент востребованности муниципальной услуги;

$Q_{sum\ i}$ – прогноз объема i -й муниципальной услуги для отчетного периода;

$\Delta Q_{sum\ i}$ – прогноз прироста объема i -й услуги в

отчетном периоде по сравнению с периодом, предшествующим отчетному;

q_i - фактический объем i -й услуги в отчетном периоде;

Δq_i - фактический прирост объема i -й муниципальной услуги в отчетном периоде по сравнению с периодом, предшествующим отчетному.

4. Разработка прогнозов изменения макроэкономических индикаторов. Прогноз составляется по всем показателям, влияющим на стоимость услуги: индекс инфляции, изменение стоимости энергоносителей и т.д. При этом рассчитывается итоговый коэффициент прироста стоимости услуги:

$$I = \sum_{m=1}^M Ind_m, \quad (13)$$

где I - итоговый индекс прироста стоимости услуги;

Ind_m - индекс, учитывающий изменение m -го фактора, влияющего на стоимость услуги.

5. Разработка прогнозных показателей потребности в муниципальных услугах в стоимостном выражении.

5.1. Разработка прогнозных показателей потребности в муниципальных услугах в стоимостном выражении для разовых услуг. Стоимость оказания услуги рассчитывается методом прямого счета, т.е. путем составления сметы мероприятия.

5.2. Разработка прогнозных показателей потребности в муниципальных услугах в стоимостном выражении для постоянных услуг рассчитывается по формуле:

$$C_i = N_i \times Q_{sum i} \times I, \quad (14)$$

где C_i - планируемая стоимость оказания i -муниципальной услуги;

N_i - норматив финансирования оказания услуги 1 получателю или на 1 единицу измерения;

$Q_{sum i}$ - прогнозируемый объем оказания услуг.

Заключение. В статье проанализированы существующая практика и методики расчета потребности населения в муниципальных услугах на предстоящие периоды как в натуральном, так и в стоимостном выражении. Предложена методология определения потребности населения в муниципальных услугах. При этом также приводится последовательность действий при работе в этом направлении.

Таким образом, можно сделать следующие **выводы.**

1. Предлагаемая авторами методология позволяет унифицировать процесс оценки

потребности населения в муниципальных услугах, предлагая единый комплексный подход к их выделению, что отличает данную методику от ранее существующих. Учет отраслевых различий в муниципальных услугах осуществляется путем их отнесения к определенной группе услуг на основе описанных в статье критериев.

2. В соответствии с описанной в статье методологией оценка потребности населения в муниципальных услугах осуществляется в целях бюджетного планирования, а не статистического учета, что достигается на основе подробного перечня муниципальных услуг, формируемого исходя из реестра услуг.

3. Прогнозирование осуществляется детализировано на основе математических методов с учетом востребованности услуги в соответствии с единицей измерения услуги, т.е. если единицами измерения являются посещения или вызовы, то происходит коррекция на количество посещений или вызовов в процессе оказания услуги.

4. Регламент оценки построен с использованием процессного подхода на основе сформированной последовательности этапов, на каждом из которых определены входные и выходные параметры и продукты.

Статья выполнена в рамках НИР 3-09Г «Разработка теории и методологии управления социальной сферой на уровне местного самоуправления».

Библиографический список

1. Витт П., Мёллер Й., Ревенко Л.А., Савранская О.Л. Оказание и организация муниципальных услуг // Актуальные проблемы развития федеративных отношений в Российской Федерации. Сборник материалов проекта.

2. Вопросы местного значения. Методики пошаговой реализации: регламент папка / С.В. Вобленко. – М., 2008.

3. Муниципальные услуги: особенности предоставления и планирования / С.В. Перфильев, О.Ю. Одина, О.И. Дудукина, А.В. Чернухин, Н.А. Бычкова, И.В. Ковалев; под общ. ред. С.В. Перфильева. – Рязань: РГРТУ, 2009. – 156 с.

4. Постановление Администрации города Рязани от 28.06.2007 N 2001 «Об утверждении положения о порядке проведения ежегодной оценки потребности в предоставлении муниципальных услуг и положения о порядке учета результатов оценки потребности в предоставлении муниципальных услуг при формировании расходов бюджета на очередной финансовый год и плановый период» // www.admrzn.ru

5. Постановление Главы Администрации муниципального образования городского округа Сыктыв-

кар от 05.02.2008 № 2/354 «Об утверждении перечня муниципальных услуг, оказываемых населению МО ГО "Сыктывкар" за счет средств бюджета МО ГО "Сыктывкар", по которым должен производиться учет потребности в их предоставлении и порядка проведения ежегодной оценки потребности в предоставлении муниципальных услуг и учета результатов оценки при формировании расходов на очередной финансовый год» // www.syktyvkar.komi.com.

6. Постановление Главы городского округа Самара от 23.05.2008 № 356 «Об утверждении порядка проведения ежегодной оценки потребности в предоставлении муниципальных услуг и учета результатов оценки при формировании расходов бюджета городского округа Самара на очередной финансовый

год» // www.city.samara.ru/normativniye_acti.

7. Постановление Главы Чесменского муниципального района Челябинской области от 08.10.2008 № 403а «Об утверждении Порядка проведения ежегодной оценки потребности в предоставлении муниципальных услуг и учета результатов оценки при формировании расходов бюджета Чесменского муниципального района на очередной финансовый год» // www.chesma74.ru.

8. Постановление мэра города Омска от 30.06.2008 N 506-п «Об утверждении методики проведения ежегодной оценки (мониторинга) потребности в предоставлении муниципальных услуг в области культуры в натуральном и стоимостном выражении» // www.sibfo.consultant.ru/omsk.

УДК 681.515

А.И. Бобиков, С.А. Сивов

НЕЧЕТКОЕ СУПЕРВИЗОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫМИ ОБЪЕКТАМИ ПЕРВОГО ПОРЯДКА

Предложен закон супервизорного управления, который позволяет придать системе с нечеткой обратной связью по состоянию возможность безошибочного воспроизведения постоянного задающего воздействия. В качестве примера рассмотрено применение этого закона управления к реальному объекту, описываемому нелинейной нечеткой моделью первого порядка.

Ключевые слова: модель Такаги-Сугено, нечеткая обратная связь, супервизорное управление.

Введение. Задачи стабилизации и слежения - две типичных задачи управления. В общем, задача слежения [1] является более трудной, чем задача стабилизации применительно к нелинейным объектам управления (ОУ). При проектировании нелинейной системы для решения задачи слежения применяют два основных метода: точную линеаризацию (feedback linearization) и адаптивный метод управления. Метод точной линеаризации основывается на точной модели нелинейной системы и использует эту модель, чтобы скомпенсировать нелинейности объекта. Так как получить точную модель объекта управления практически невозможно, метод точной линеаризации в чистом виде кажется неприемлемым для расчета нелинейной системы слежения [2], [3]. Недавний подход, основанный на методе точной линеаризации, дает возможность применить адаптивные методы [4] для управления нелинейными объектами [5], [6]. Однако закон обновления параметров (алгоритм настройки) делает систему управле-

ния достаточно сложной, особенно в случае, когда алгоритм настройки параметров «обновляет» закон управления, чтобы избежать ошибок моделирования, обусловленных линеаризацией. Преимущество метода, положенного в основу скользящего режима управления, состоит в робастности получаемой в результате его использования системы к неопределенностям модели [7]. Однако «дребезг контактов» (chattering), возникающий при этом в процессе управления, порождает тепловые потери в цепях потребления электроэнергии, которые могут привести к сбою в работе системы. Это явление также может возникнуть из-за высокочастотных импульсов, которые ухудшают рабочие характеристики всей системы и могут даже привести к ее неустойчивости [8].

Недавно нечеткие регуляторы типа Такаги-Сугено (ТС) были успешно применены для управления нелинейными объектами [9], [10], представленными нечеткими моделями, построенными также как ТС модель. Заметим, что

ТС модели являются универсальными аппроксиматорами для нелинейных систем. Возможны два подхода для построения нечетких моделей ОУ

1. Использование априорных знаний (знаний экспертов) об ОУ, с помощью которых возможна формулировка правил ЕСЛИ ТО.

2. Метод идентификации, основанной на нечеткой кластеризации [11]. Задача нечеткой кластеризации состоит в том, чтобы найти нечеткое разбиение или нечеткое покрытие множества элементов исследуемой совокупности, которые образуют структуру нечетких кластеров, присутствующих в рассматриваемых данных, и поставить в соответствие каждому кластеру нечеткое правило ЕСЛИ ТО.

Идея построения модели ТС состоит в том, чтобы каждое правило в базе правил определяло диапазон входа для модели, в котором приемлема линейная аппроксимация. С помощью ТС моделей нелинейный объект управления описывается рядом линейных моделей так называемых *локальных моделей*. Механизм инференции осуществляет плавную (гладкую) интерполяцию между каждой локальной линейной моделью, чтобы обеспечить получение *глобальной нелинейной модели*. Затем, используя концепцию параллельно распределенной компенсации (ПРК) [12], можно для каждой локальной модели применить технологию проектирования линейных контроллеров и найти локальный контроллер, другими словами, построить нечеткую обратную связь по состоянию (НОС) [13]. Результирующий глобальный контроллер является нелинейным нечетким плавным сопряжением локальных контроллеров и обеспечивает стабилизацию нечеткой модели в целом в отсутствие задающего воздействия. Следовательно, нечеткая обратная связь по состоянию не позволяет воспроизводить даже постоянные задающие воздействия.

Расчет закона управления в задаче слежения - важная проблема для практических приложений. Например, слежение при автоматизированном управлении (робототехника, система технического зрения), слежение при управлении двигателями самолета. Однако задача слежения для систем на основе модели ТС еще слабо изучена.

Хотя в [14] предложен метод линеаризации обратной связью, чтобы спроектировать нечеткий ТС регулятор в дискретной системе слежения, но, как указано в [15], такой регулятор (контроллер) не обеспечивает внутреннюю устойчивость системы для неминимально-фазового объекта управления.

Цель работы. В данной работе рассматривается подход, который путем введения супервизорного управления позволяет придать системе с нечеткой обратной связью способность обрабатывать безошибочно в установившемся режиме постоянное задающее воздействие. При этом проектируемая система оказывается внутренне устойчивой.

Основная часть. Пусть известна глобальная нечеткая модель Такаги-Сугено дискретного нелинейного объекта первого порядка:

Если y есть A_l ,

$$\text{То } y[i+1] = ay[i] + bu[i], \quad l = \overline{1, N}, \quad (1)$$

где N - число правил, A_l ($j=1, 2, \dots, n$) - нечеткие множества, $u[i]$ управляющий сигнал, $y[i]$ - управляемая величина, (a_l, b_l) - коэффициенты l -й локальной динамической модели.

Цель управления заключается в том, что требуется построить нечеткий регулятор, обеспечивающий безошибочное воспроизведение постоянного задающего воздействия $v = const$ после окончания переходного процесса.

Используя стандартный метод нечеткой инференции [17], т.е. используя сингтонную фазификацию, алгебраическое произведение для вычисления степени истинности правил и центр тяжести для дефазификации, ТС нечеткую модель (1) можно представить как

$$y[i+1] = a(y)y[i] + b(y)u[i], \quad (2)$$

где

$$a(y) = \sum_{l=1}^N \lambda_l(y)a_l, \quad b(y) = \sum_{l=1}^N \lambda_l(y)b_l. \quad (3)$$

$\lambda_l(y)$ есть нормированная степень истинности l -го правила, определяемая выражением

$$\lambda_l(y) = \frac{\mu_l(y)}{\sum_{i=1}^N \mu_i(y)}. \quad (4)$$

$\mu_i(y)$ есть степень принадлежности управляемой величины к нечеткому множеству A_i , другими словами, степень истинности i -го правила, причем

$$\lambda_l(x) \geq 0, \quad \sum_{i=1}^N \lambda_i(x) = 1. \quad (5)$$

Заметим, что модель (2) является нелинейной моделью, т.к. функции принадлежности являются нелинейными функциями управляемой величины. Модель (2) фактически является нечеткой моделью в переменных состояния.

Для каждой локальной модели можно использовать технологию проектирования линейных регуляторов и найти локальный регулятор с учетом задающего воздействия V . Результирующий глобальный регулятор является нелинейным нечетким плавным сопряжением локальных регуляторов. В качестве локальных регуляторов используются статические регуляторы, другими словами, нечеткие обратные связи по состоянию. При этом каждый регулятор использует те же самые левые части соответствующего правила, что и объект (1), т.е. описывается ТС нечеткой моделью:

Если y_l есть A_l ,

$$\text{То } u_l[i] = v - k_l y_l[i], \quad l = \overline{1, N}, \quad (6)$$

где k_l - скалярный коэффициент локальной обратной связи по состоянию. Отсюда нечеткий глобальный регулятор (нечеткая глобальная связь по состоянию) будет определяться как

$$u[i] = v - k(y)y[i]. \quad (7)$$

Здесь

$$k(y) = \sum_{j=1}^N \lambda_j(y) k_j.$$

В результате находим

$$y[i+1] = f(y[i])y[i] + b(y)v,$$

где

$$f(y[i]) = \sum_{j=1}^N \sum_{l=1}^N \lambda_j(y) \lambda_l(y) (a_l - b_l k_j). \quad (8)$$

Нетрудно убедиться, что полученная система не в состоянии обрабатывать не равное нулю задающее воздействие $v \neq 0$, другими словами, такая система не удовлетворяет требованию нулевой установившейся ошибки $e_{уст}$.

Предполагая, что $b(y) \neq 0$ (это условие выполняется для многих систем), с целью достижения поставленной задачи используем другой закон управления

$$u[i] = -k(y)y[i] + \frac{1}{b(y)} \bar{v}[i],$$

так что

$$y[i+1] = f(y[i])y[i] + \bar{v}[i],$$

и выберем закон супервизорного управления

$$\bar{v}[i] = k_c(y[i])v,$$

где

$$k_c(y[i]) = 1 - f(y[i]).$$

При этом

$$y[i+1] = k_c(y[i])v + f(y[i])y[i]. \quad (9)$$

Выражению (9) соответствует структура, представленная на рисунке 1.

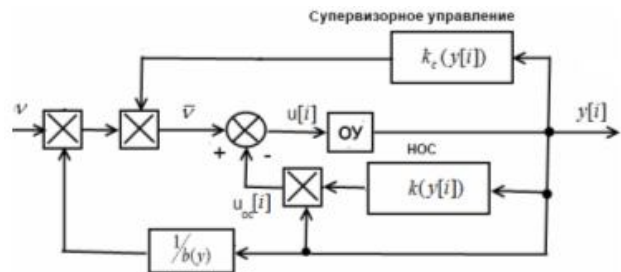


Рисунок 1

Найдем условия, при выполнении которых ошибка слежения с течением времени стремится к нулю. Используем квадратичную функцию Ляпунова [16]

$$V[i] = e^2[i].$$

При этом ее разность

$$\Delta V = e^2[i+1] - e^2[i],$$

где ошибка слежения

$$e[i] = v - y[i].$$

Следовательно,

$$e[i+1] = v - y[i+1].$$

С учетом выражения (9) получаем

$$e[i+1] = f(y[i])e[i].$$

Отсюда

$$\Delta V[i] = (f^2(y[i]) - 1)e^2[i].$$

Чтобы с течением времени ошибка стремилась к нулю, нужно обеспечить отрицательность первой разности функции Ляпунова

$$\Delta V[i] < 0$$

или

$$f^2(y[i]) - 1 < 0,$$

или

$$|f(y[i])| < 1. \quad (10)$$

Итак, ТС нечеткая система управления, описываемая уравнением (2), является глобально экспоненциально устойчивой и обладает нулевой установившейся ошибкой при постоянном задающем воздействии, если коэффициенты локальных обратных связей по состоянию

выбраны с учетом последнего неравенства.

Однако полученное условие устойчивости (10) содержит ограничения на выбор указанных коэффициентов в неявном виде. Чтобы записать это условие в явном виде, преобразуем выражение (8) для функции $f(y[i])$:

$$f(y[i]) = \sum_{l=1}^N \lambda_l^2(y) a_{ll} + 2 \sum_{j=1}^{N-1} \sum_{l=j+1}^N \lambda_j(y) \lambda_l(y) (a_{jl} + a_{lj}), \quad (11)$$

где

$$a_{jl} = a_j - b_j k_l, \quad a_{lj} = a_l - b_l k_j, \quad (12)$$

причем коэффициенты

$$a_{ll} = a_l - b_l k_l, \quad l = \overline{1, N}, \quad (13)$$

характеризуют свойства локальных моделей объекта, охваченных локальной обратной связью по состоянию. В связи с тем, что

$$\begin{aligned} \left(\sum_{j=1}^N \lambda_j^2(y) \right)^2 &= (\lambda_1(y) + \lambda_2(y) + \dots + \lambda_N(y))^2 = \\ &= \lambda_1^2(y) + \lambda_2^2(y) + \dots + \lambda_N^2(y) + 2\lambda_1(y)\lambda_2(y) + \\ &+ \dots + 2\lambda_1(y)\lambda_N(y) + 2\lambda_2(y)\lambda_3(y) + 2\lambda_2(y)\lambda_4(y) + \\ &+ \dots + 2\lambda_2(y)\lambda_N(y) + \dots + 2\lambda_{N-1}(y)\lambda_N(y) = \\ &= \sum_{j=1}^N \lambda_j^2(y) + 2 \sum_{j=1}^{N-1} \sum_{l=j+1}^N \lambda_j(y)\lambda_l(y) = 1, \end{aligned}$$

дальнейшее преобразования приводят к следующему выражению:

$$\begin{aligned} f(y[i]) &= \sum_{l=1}^N \lambda_l^2(y) (a_{ll} - 1) + \sum_{j=1}^N \lambda_j^2(y) + \\ &+ \sum_{j=1}^{N-1} \sum_{l=j+1}^N \lambda_j(y)\lambda_l(y) (a_{jl} + a_{lj} - 2) + \\ &+ 2 \sum_{j=1}^{N-1} \sum_{l=j+1}^N \lambda_j(y)\lambda_l(y) = \sum_{i=1}^N \lambda_i^2(y) (a_{ll} - 1) + \\ &+ 2 \sum_{j=1}^{N-1} \sum_{l=j+1}^N \lambda_j(y)\lambda_l(y) \left(\frac{a_{jl} + a_{lj}}{2} - 1 \right) + \sum_{j=1}^N \lambda_j^2(y) + \\ &+ \sum_{j=1}^{N-1} \sum_{l=j+1}^N \lambda_j(y)\lambda_l(y) = \sum_{i=1}^N \lambda_i^2(y) (a_{ll} - 1) + \\ &+ \sum_{l=1}^N \lambda_l^2(y) (a_{ll} - 1) + \\ &+ 2 \sum_{j=1}^{N-1} \sum_{l=j+1}^N \lambda_j(y)\lambda_l(y) \left(\frac{a_{jl} + a_{lj}}{2} - 1 \right) + 1. \end{aligned}$$

Следовательно, условие (10) выполняется, если

$$\begin{aligned} &\sum_{l=1}^N \lambda_l^2(y) (a_{ll} - 1) + \\ &+ 2 \sum_{j=1}^{N-1} \sum_{l=j+1}^N \lambda_j(y)\lambda_l(y) \left(\frac{a_{jl} + a_{lj}}{2} - 1 \right) < 0. \end{aligned}$$

Т.к. $\lambda_j(y)\lambda_l(y) \geq 0, \quad \forall y, j, l = \overline{1, N}$, то нетрудно прийти к следующему достаточному условию устойчивости:

$$a_{ll} < 1, \quad l = \overline{1, N},$$

$$\frac{a_{jl} + a_{lj}}{2} < 1, \quad l < j \leq N.$$

Пример 1. В качестве примера рассмотрим модель нелинейного объекта 1-го порядка, которая определяется следующими двумя правилами

Если $y[i]$ есть A_1 , То $y[i+1] = a_1 x[i] + b_1 u[i]$,

Если $y[i]$ есть A_2 , То $y[i+1] = a_2 x[i] + b_2 u[i]$,

и $a_1 = 1, a_2 = -1, b_1 = 1, b_2 = -2$.

Функции принадлежности A_1 и A_2 показаны на рисунке 2. Выберем полюсы локальных замкнутых систем:

$$p_1 = -a_{11} = -0.5, \quad p_2 = -a_{22} = -0.5.$$

Применяя полученные выше формулы (12) и (13) $a_{11} = a_1 - b_1 k_1, a_{22} = a_2 - b_2 k_2$, находим коэффициенты локальных обратных связей по состоянию

$$k_1 = 0.5, \quad k_2 = 0.75$$

и значения

$$a_{12} = a_1 - b_1 k_2 = 0.25, \quad a_{21} = a_2 - b_2 k_1 = 0.$$

При этом

$$f(y[i]) = \lambda_1^2 a_{11} + \lambda_2^2 a_{22} + \lambda_1 \lambda_2 (a_{12} + a_{21}).$$

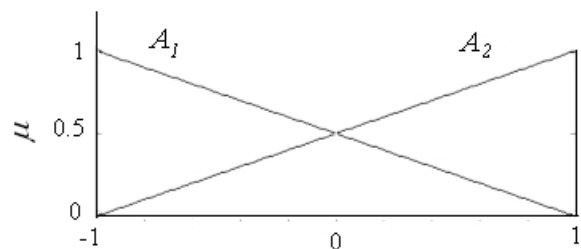


Рисунок 2

Результаты моделирования системы в MATLAB/Simulink показаны на рисунке 3, управляющий сигнал представлен на рисунке 4. При этом задающее воздействие для системы $v = 0.8$.

В результате тестирования полученной сис-

темы с супервизорным управлением выяснилось:

1) система с супервизорным управлением в установившемся режиме точно обрабатывает постоянное задающее воздействие;

2) длительность переходного процесса определяется выбором полюсов локальных моделей, охваченных линейной обратной связью.

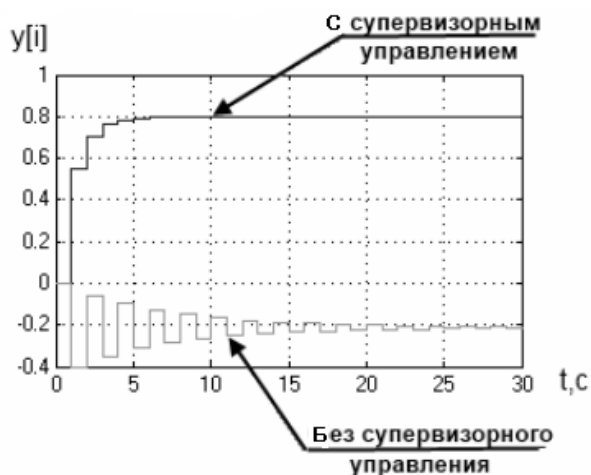


Рисунок 3

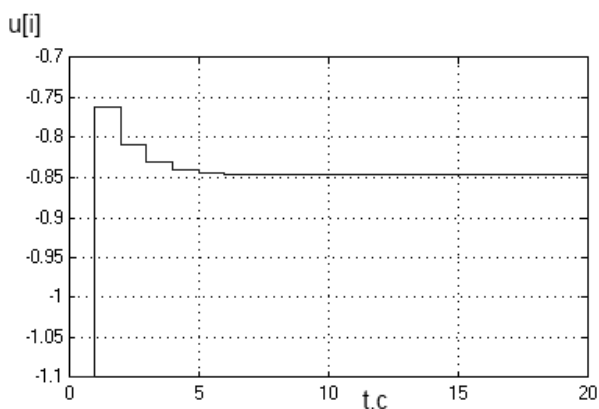


Рисунок 4

Пример 2. В качестве объекта управления рассмотрим уравнительный бак с жидкостью бочкообразной формы [17], внешний вид которого представлен на рисунке 5. Цель управления заключается в том, чтобы за счет регулирования притока жидкости через верхнюю трубу обеспечить стабилизацию уровня жидкости в баке на заданном уровне, который может принимать значения от 0.1м до 10м.

Уравнение этого объекта в дискретном виде

$$h[i+1] = h[i] + T \left(\frac{-c\sqrt{2gh[i]}}{ah[i]+b} + \frac{1}{ah[i]+b} u[i] \right), \quad (14)$$

где $a = 1м, b = 2м^2$ - параметры, характеризующие форму бака, $c = 1м^2$ - определяет параметр выходной трубы, g - ускорение свободного

падения ($g = 9.8м/с^2$), период дискретизации $T = 1с$.

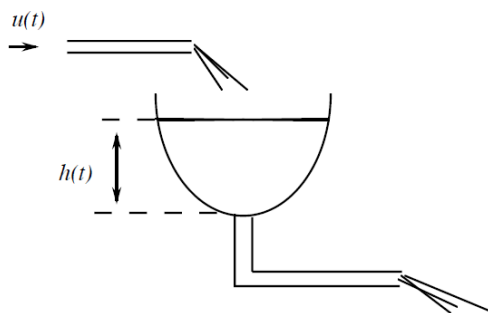


Рисунок 5

В результате идентификации были получены следующие 5 правил, описывающих данный объект управления:

Если $h[i]$ есть A_1 , то

$$h[i] = -3.3333h[i] + 0.4762u[i],$$

Если $h[i]$ есть A_2 , то

$$h[i] = -0.3111h[i] + 0.2222u[i],$$

Если $h[i]$ есть A_3 , то

$$h[i] = -0.1414h[i] + 0.1429u[i],$$

Если $h[i]$ есть A_4 , то

$$h[i] = -0.0851h[i] + 0.1053u[i],$$

Если $h[i]$ есть A_5 , то

$$h[i] = -0.0583h[i] + 0.0833u[i].$$

Функции принадлежности A_1, A_2, A_3, A_4, A_5 изображены на рисунке 6.

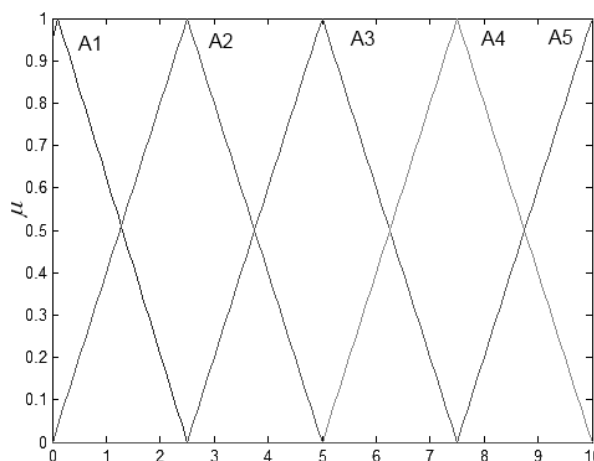


Рисунок 6

Выберем полюсы локальных замкнутых систем:

$$p_1 = -a_{11} = -0.1, \quad p_2 = -a_{22} = -0.1,$$

$$p_3 = -a_{33} = -0.1, \quad p_4 = -a_{44} = -0.1,$$

$p_5 = -a_{55} = -0.1$. Применяя формулы (12) и (13), находим коэффициенты локальных обрат-

ных связей по состоянию

$$k_1 = -7.2098, \quad k_2 = -1.8501, \quad k_3 = -1.6893,$$

$$k_4 = -1.7578, \quad k_5 = -1.9003$$

и значения

$$a_{12} + a_{21} = -1.1614, \quad a_{13} + a_{31} = -1.6399,$$

$$a_{14} + a_{41} = -1.8221, \quad a_{15} + a_{51} = -1.8861,$$

$$a_{23} + a_{32} = 0.1873, \quad a_{24} + a_{42} = 0.1892,$$

$$a_{25} + a_{52} = 0.2068, \quad a_{34} + a_{43} = 0.2026,$$

$$a_{35} + a_{53} = 0.2125, \quad a_{45} + a_{54} = 0.2031.$$

При этом

$$f(y[i]) = \lambda_1^2 a_{11} + \lambda_2^2 a_{22} + \lambda_3^2 a_{33} + \lambda_4^2 a_{44} + \lambda_5^2 a_{55} +$$

$$+ \lambda_1 \lambda_2 (a_{12} + a_{21}) + \lambda_1 \lambda_3 (a_{13} + a_{31}) +$$

$$+ \lambda_1 \lambda_4 (a_{14} + a_{41}) + \lambda_1 \lambda_5 (a_{15} + a_{51}) +$$

$$+ \lambda_2 \lambda_3 (a_{23} + a_{32}) + \lambda_2 \lambda_4 (a_{24} + a_{42}) +$$

$$+ \lambda_2 \lambda_5 (a_{25} + a_{52}) + \lambda_3 \lambda_4 (a_{34} + a_{43}) +$$

$$+ \lambda_3 \lambda_5 (a_{35} + a_{53}) + \lambda_4 \lambda_5 (a_{45} + a_{54}).$$

Результаты моделирования системы управления баком в MATLAB/Simulink показаны на рисунке 7. При этом в качестве задающего воздействия используется постоянный сигнал, который изменяет свое значение каждые 10 секунд. Форма управляющего сигнала $u[i]$ и сигнал с нечеткой обратной связи $u_{oc}[i]$ приведены соответственно на рисунках 8 и 9.

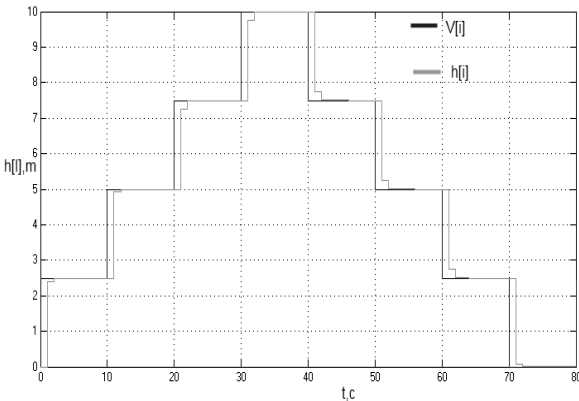


Рисунок 7

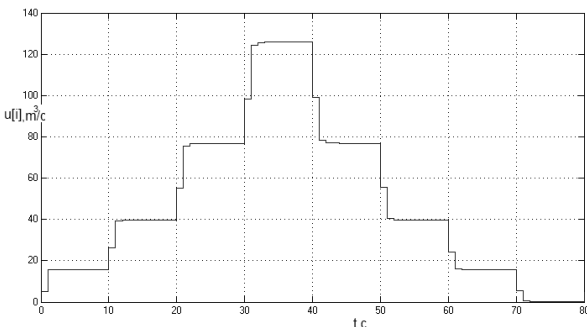


Рисунок 8

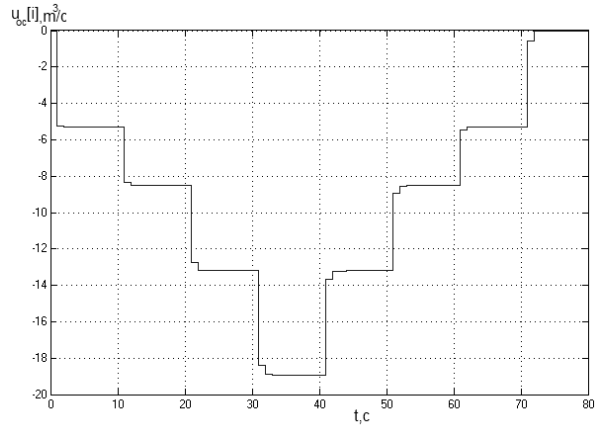


Рисунок 9

Заключение. Статья посвящена задаче построения нечеткой системы управления, которая безошибочно в установившемся режиме обрабатывает постоянное задающее воздействие. Предлагаемое решение задачи основано на использовании наряду с нечеткой обратной связью супервизорного управления, т.е. дополнительной обратной связи, осуществляемой с помощью специфического нечеткого контроллера. При этом предполагается, что модель нелинейного объекта управления описывается моделью ТС первого порядка. Результаты симуляции двух систем, одной с синтетическим объектом, другой с физическим объектом, показали эффективность рассмотренной методики для проектирования следящих систем нечеткого управления.

В дальнейших работах предполагается расширить эту методику на объекты более высокого порядка, а также использовать адаптивное управление, чтобы обеспечить робастность рассмотренных в статье нечетких следящих систем к изменению параметров объекта управления.

Библиографический список

1. Chung-Shi Tseng, "Fuzzy Tracking Control Design for Nonlinear Dynamic Systems via T-S Fuzzy model", IEEE Trans on Fuzzy Systems, vol. 9, No. 3, June 2001.
2. H.K. Khalil, Nonlinear Systems. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1996.
3. R. Babuska, Fuzzy Modeling for Control. Norwell, MA: Kluwer, 1998.
4. Z. Huang, S. Chen, Y. Xia, "Incorporate intelligence into an ecological system: An Adaptive fuzzy control approach", Applied Mathematics & Computation, vol. 177, no. 1, 2006, P. 243-250.
5. B.S. Chen, C.H. Lee, and Y.C. Chang, "H tracking design of uncertain nonlinear SISO systems: Adaptive fuzzy approach," IEEE Trans. Fuzzy Syst., vol. 4, no. 1, P. 32-43, Feb. 1996.
6. B. S. Chen, H. J. Uang, and C. S. Tseng, "Robust tracking enhancement of robot systems including motor

dynamics: A fuzzy-based dynamic game approach," IEEE Trans. Fuzzy Syst., vol. 6, P. 538–552, Nov. 1998.

7. *W.J. Wang and H.R. Lin*, "Fuzzy control design for the trajectory tracking on uncertain nonlinear systems," IEEE Trans. Fuzzy Syst., vol. 7, P. 53–62, Feb. 1999.

8. *Z. Li, H. Fang*, "Fuzzy controller design for networked control system with time-variant delays", Journal of System Engineering & Electronics, vol. 17, no. 1, 2006, P. 172-176.

9. *T. Takagi and M. Sugeno*, "Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control," IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., vol. 15, P. 116–132, Jan. 1985.

10. *A. Jadbabaie, M. Jamshidi, and A. Titli*, "Guaranteed-cost design of continuous-time Takagi-Sugeno fuzzy controllers via linear matrix inequalities," in IEEE World Congress Computational Intelligence, Anchorage, AK, May 1998, P. 268–273.

11. *Леоненков А.В.* Нечеткое моделирование в среде MATLAB и FuzzyTECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2003.

12. *Tanaka K., Sugeno M.* Stability analysis and design of fuzzy control systems. Fuzzy Sets Syst. Vol. 45. No. 2, 1992.

13. *Бобиков А.И.* Интеллектуальные системы управления с нечеткой логикой. (Основы нечеткой логики и проектирование нечетких контроллеров): учеб. пос.- Рязань: РГРТА, 2006.

14. *C.C. Kung and H.H. Li*, "Tracking control of nonlinear systems by fuzzy model-based controller," in Proc. IEEE Int. Conf., vol. 2, July 1997, P. 623–628.

15. *H. Ying*, "Analytical analysis and feedback linearization tracking control of the general Takagi-Sugeno fuzzy dynamic systems," IEEE Trans. Syst., Man., Cybern., vol. 29, P. 290–298, May 1999.

16. *Мирошник И.В.* Теория автоматического управления. Нелинейные и оптимальные системы. - СПб.: Питер, 2006.

17. *Passino K., Yurkovich S.*, "Fuzzy control", Addison Wesley Longman, 1998.