УПРАВЛЕНИЕ

УДК 681.3

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

ИННОВАЦИИ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАНИЯ В КОНТЕКСТЕ ЗАДАЧ ИНФОРМАТИЗАЦИИ

Рассмотрены научно-методические вопросы, отражающие инновации и общие принципы развития систем менеджмента качества образования, которые необходимо учитывать в процессе концептуального проектирования систем информатизации.

Ключевые слова: *менеджмент качества образования, задачи информатизации, принципы информационного менеджмента.*

Введение. Анализ потребностей, изменений и состояния системы образования как в России, так и за рубежом позволяет выделить и сформулировать ряд основных закономерностей развития образования, которые необходимо учитывать на различных этапах создания современных систем менеджмента качества образования. К таким закономерностям можно отнести [1-3]: диверсификацию образования, закономерность индивидуализации образования, закономерность опережающего образования, закономерность пожизненного образования, закономерность интенсификации образования, закономерность компьютеризации образования, закономерность креативности образования, закономерность возрастания роли качества образования, закономерность цикличности и многоступенчатости образования, закономерность смены целевых установок образования, закономерность интернационализации образования. С учетом отмеченных закономерностей развития образования в статье представлены результаты исследований по классификации задач информатизации образования и развития принципов менеджмента качества образования.

1. Задачи информатизации и тенденции развития образования. Ориентация образования в современных условиях на новый его результат требует нового подхода к обеспечению качества образования, критериям его оценки, нового подхода к организации образовательного процесса и управления им на основе использования современных информационных технологий. Эта концепция отражается в содержании компетентностного подхода к образованию и включает в себя следующие [1-4]:

1. Модель специалиста, построенная по принципам формирования компетенций как результата образования.

2. Государственный образовательный стандарт нового поколения, в котором дифференциация знаний, навыков и умений, а также формулирование требований к выпуску даются не в дисциплинах, а в составе компетенций.

3. Образовательная программа и главный ее элемент - учебный план - строятся по модулям знаний, необходимых для определенных компетенций.

4. Планирование и оценка трудоемкости учебного процесса осуществляются по кредитам. Такая система наиболее приемлема в управлении образовательным процессом по компетентностному подходу.

5. Оценка освоенных знаний студентом должна быть многокритериальной (не только уровень знаний, но и такие параметры, как устойчивость, системность, полнота, структура, объем и пр.).

6. Помимо оценки знаний необходима оценка освоения компетентности. Это оценка оперирования знаниями, построения стратегии действий и выбор альтернатив.

7. Управление образованием по качеству компетентностей, полученных в результате обучения.

В связи этим качество образования выделяется и становится специфическим объектом управления. Для управления качеством образо-

вания необходимо формировать систему управления, которая была бы ориентирована на качество, реализовывала специфические для управления качеством функции управления и органично вписывалась в общую систему управления образовательными процессами. Такая система необходима как на макроуровне управления образованием, так и на уровне управления образовательными процессами в каждом образовательном учреждении.

В основе формирования системы управления лежат функции, для реализации которых она и предназначена. Посредством функций осуществляется разделение и интеграция деятельности. Как и любому управлению, управлению качеством присущи основные и специфические функции. Состав основных функций управления качеством образования отражает общий характер управленческой деятельности относительно объекта управления, коим является качество образования.

На основе проведенных исследований можно выделить несколько основных функций и задач управления [3-5].

1. Прогнозирование и планирование качества образования, предвидение тенденций его изменения.

2. Организация функционирования системы управления качеством образования, специализация функций, их распределение, закрепление и реализация.

3. Контроль качества образования по параметрам его потенциала, процесса и результата.

4. Регулирование качества, обеспечение соответствия и гармонии его характеристик.

5. Оценка качества, определение его уровня и возможностей повышения.

6. Исследование качества образования в области причин и истоков его формирования, критических факторов, ограничений, негативных влияний, приоритетов.

7. Мотивация обеспечения и повышения качества образования.

Основные функции играют интегрирующую роль в системе управления качеством образования. Это проявляется в том, что они находят свое отражение в той или иной мере или комбинации в специфических функциях.

Состав специфических функций характеризует как специфику объекта управления, так и реальные проблемы его функционирования и развития. Исходя из этой посылки, можно сформулировать следующие специфические функции и задачи управления качеством образования [2-6].

1. Управление качеством преподавательского состава. Эта функция включает определение количества преподавателей, их состав и структуру, квалификационный уровень, систему повышения квалификации, организацию их работы, мотивацию и систему оплаты труда. Для каждого элемента этой функции должны быть сформулированы требования и критерии качества. Реализовывать эту функцию можно в виде специализированных программ или раздела общей программы качества образования.

2. Управление качеством студентов. Требования к абитуриентам при приеме в высшее учебное заведение, формирование студенческих групп с учетом социально-психологических характеристик, организация учебной деятельности студента, формирование студенческих коллективов, система студенческого самоуправления, воспитание гражданских и профессиональных качеств - все это отражает содержание данной функции.

3. Управление качеством технологии образования. В развитии образования заметна тенденция увеличивающихся возможностей проектирования разнообразных технологий образования, выбор наиболее эффективной из них. Это и составляет основу данной функции управления качеством. Она включает не просто использование современных технологий, а варьирование технологическими характеристиками образования по факторам года обучения, специфики учебной дисциплины и специальности в целом, материально-технических возможностей, концепции воспитательного процесса и пр. Это функция динамики управления качеством.

4. Управление информационно-методическим обеспечением предполагает регулирование процессов поиска и получения необходимой учебной и научной информации как студентом, так и преподавателем, использование наиболее эффективных методических схем освоения знаний. Это функция организации библиотечной работы и деятельности информационных центров.

5. Управление качеством материально-технического обеспечения включает распределение и оформление учебных помещений, использование лабораторного оборудования и компьютерных классов, залов для самостоятельной работы. Здесь большое значение имеет своевременное обновление техники.

6. Управление качеством инфраструктуры образования. Эта функция организации работы обеспечивающих служб образовательного учреждения - административно-хозяйственные подразделения, бухгалтерия, планово-финансовый отдел и пр.

7. Управление качеством образовательной

программы, включающей развитие концепции специальности и компетенции выпускника, учебный план, квалификационные требования, организацию практик и итоговых мероприятий, состав циклов обучения и пр.

2. Основные принципы менеджмента качества образования. На основе проведенного анализа закономерностей развития образования можно сформулировать ряд основных принципов построения системы управления качеством образования [2-4, 8].

1. Ориентация всей деятельности вуза на цель образования, отражающую потребности, от удовлетворения которых зависит конкурентоспособность вуза.

2. Непрерывное совершенствование и повышение качества всех процессов образовательной деятельности.

3. Обеспечение участия всего профессорско-преподавательского состава вуза, а также студентов в решении проблем качества образования.

4. Построение системы управления качеством с централизацией главных функций и задач повышения качества образования (принцип первого лица).

5. Создание системы мотивации качества образования как для преподавателей, так и для студентов.

6. Разработка и использование современных технологий качества образования.

7. Создание системы мониторинга качества образования на основе объективных показателей состояния качества и оценки тенденций его изменения.

8. Установление соответствия качества образования миссии и цели образования в обществе. Воспитание профессионала, гражданина, патриота.

9. Формирование информационного обеспечения управления качеством образования.

10. Исследование и прогнозирование тенденций изменения качества образования и потребностей в новом качестве.

11. Унификации терминологического аппарата качества образования, позволяющего вести сравнительный анализ уровня и особенностей качества.

Всю совокупность средств и методов управления качеством образования можно представить в двух группах - методы прямого и косвенного воздействия. Но такая классификация имеет очень общий характер. Ее можно конкретизировать в двух группах методов - методы, которые определяются приоритетами образовательной программы и методами систематизации действия в соответствии с этими приоритетами. В каждой группе следует выделить по несколько методов [2,3,9].

1. Методы установления приоритетов. Известно, что приоритеты всегда меняют характер деятельности и укрепляют установки на определенные ее результаты. Это довольно сильный и эффективный метод управления. Приоритеты могут быть различные. Например, приоритет качества, инноваций, стратегии, какой-либо дисциплины образовательной программы, человеческого фактора (капитала), эффективности и пр. Приоритет не обязательно должен быть единственным, существует система приоритетов. Ее закладывают в образовательной программе и реализуют в текущем управлении.

2. Методы ограничений и критических факторов также являются необходимым элементом механизма управления качеством образования. Ограничения устанавливаются в соответствии с критериями качества, тенденциями его изменения, программой развития. Ограничения могут быть жесткими или мягкими, временными или постоянными, локальными или общими. Выбор и характер ограничений и характеризует метод управления.

3. Дальнейшим продолжением этих методов являются методы ответственности. Известно, что ответственность это мера и способ порицания за невыполнение или плохое выполнение какой-либо работы. Ответственность - это организационная или социально-психологическая форма ограничений. Первая влечет административное наказание, вторая - коллективное осуждение. Предметом ответственности в управлении качеством образования являются параметры качества.

4. Большое значение в управлении качеством образования играют методы поощрений. Поощрение - это не только метод одобрения хорошей работы, но также и способ мобилизации усилий, формирование хорошей социально-психологической атмосферы деятельности, стимулирование инноваций. Метод поощрений проявляется в выборе системы поощрений - за что, как, когда, кому, кого поощрять. Такая система должна быть предметом аналитической разработки.

5. Методы дифференциации условий деятельности. Режим, инфраструктура, мера информационного, материально-технического обеспечения деятельности не могут не влиять на ее результаты. В зависимости от важности того или иного вида деятельности всегда приходится дифференцировать условия ее осуществления. Одинаковых условий не бывает. Их диффе-

ренциация является продолжением метода приоритетов. Если первый связан с установкой, распределением и направленностью внимания, то условия - это благоприятствующая или неблагоприятствующая внешняя среда деятельности. Это метод предусматривает дифференциацию условий по конкретным факторам (показателям) качества образования.

6. Управление качеством образования не может и не должно быть сугубо административным. Его эффективность зависит от участия всего коллектива в решении проблем качества. Оно позволяет не только реализовать коллективный разум, но и повышает ответственность и заинтересованность всех и каждого. Причем в учебных заведениях это не только участие преподавателей, но и студентов. Участие бывает различным. И здесь также возможен выбор. Система участия представляет собой метод управления качеством образования.

7. Методом управления является и оценка качества образования. Сегодня методик такой оценки много, но всегда ли это оценка качества. Какова валидность используемых показателей? Это большая проблема, разговор о которой еще впереди.

Результаты научно-методических исследований показали, что можно выделить группу методов управления качеством образования, которые в большей мере отражают объект управления - образовательный процесс. Это процесс освоения знаний, накопления компетентности, формирования профессионализма и пр. Это методы, отражающие специфику учебной деятельности, к которым можно отнести следующие основные [2-4].

1. Методы систематизации знаний, навыков, умений, всех факторов формирования профессионального сознания. Это методы, предполагающие и разработку образовательной программы, и ее реализацию в определенных технологиях образования. Систематизация определяет качество, подходы к систематизации определяют выбор варианта ее разработки и осуществления. Почему это методы управления? Потому что вариант систематизации воздействует на учебную деятельность и меняет ее в том или ином направлении.

2. Методы методического обеспечения учебного процесса тоже бывают различными и предполагают их выбор и комбинацию. Это использование методик презентации и закрепления знаний, оформление навыков. Могут быть методики запоминания, логического структурирования, практического подкрепления, игрового освоения материала, групповой или индивидуальной учебной работы и пр. Если методическое обеспечение - это фактор качества, то существуют и используются методы управления качеством посредством методического обеспечения.

3. Отдельной группой, хоть и продолжающей методическое обеспечение, следует выделить методы состязательности. Практика показывает, что состязательность там, где она организована, сбалансирована и регулируема, может рассматриваться как один из методов управления качеством образования.

4. Образовательный процесс - это последовательное формирование профессионального сознания и компетенции. Отсюда возникает метод компетенции. Он заключается в регулировании вариантов компетенции. Не может быть единого и одинакового для всех уровня и характера компетенции. Существуют различные способности, интересы и ценности. Существуют различные представления о карьере. Методы компетенции как методы управления качеством образования проявляются в обеспечении формирования компетенции в соответствии с конкретными условиями образовательного процесса. Это варьирование тематики самостоятельной работы, консультирование научной деятельности студента, обеспечение выбора, насколько это возможно, методики освоения знаний.

5. В другой группе специализированных методов управления качеством центральное место занимают методы тестирования. Иногда полагают, что тестирование - это не более чем способ оценки знаний или качеств человека. В действительности практика тестирования уже переросла эти свои функции. Сегодня тестирование используется как метод управления качеством образования. Тест, в зависимости от того, как и для чего он разработан, как используется в образовательном процессе, является разнообразным средством воздействия. Тест может выполнять роли: информационно-поисковой системы, методического приема систематизации знаний, корректировки знаний, консультационной программы, средства оценки качества образования и его мониторинга. Наконец, тест можно использовать как средство эмоциональной зарядки учебной деятельности. Разработка и использование теста - это большое искусство управления образовательным процессом.

6. Отдельными методами управления, дополняющими методы тестирования, являются методы самооценки. Они могут быть различными: в виде тестов или с участием педагога, или с использованием групповой работы.

7. Венчают систему методов управления качеством образования методы самопознания. В процессе образования студенту необходимо не только получить знания или освоить необходимые навыки, но познать самого себя: свои способности, тип мышления, слабые и сильные стороны характера. Это тоже качество образования, которое рождается в управлении образовательным процессом.

Заключение. Представленные в работе результаты проведенного анализа задач и принципов менеджмента качества образования показали, что с учетом компетентностного подхода современная концепция информатизации сферы образования определяет развитие вуза как динамичной, саморазвивающейся и адаптирующейся открытой образовательной системы, базирующейся на строгом соблюдении государственных стандартов, постоянном мониторинге состояния и потребностей региональных и федерального рынков труда.

В этих условиях современная интегрированная информационная система управления качеством образования становится обязательным инструментом руководителей всех уровней в вузе. Использование информационных автоматизированных систем и сред [7] позволяет не только повысить эффективность управления за счет автоматизации различных областей деятельности вуза, но и поднять его управленческую культуру на новый качественный уровень.

Библиографический список

1. Болонский процесс: середина пути / Под науч. ред. д-ра пед. наук, профессора В.И. Байденко. - М.: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, Российский Новый Университет, 2005. - 379 с.

2. *Гуров В.С., Корячко В.П., Таганов А.И.* Основные тенденции развития информационнометодического обеспечения системы менеджмента качества образования // Информационные технологии для современного университета: под. редакцией А.Н. Тихонова, А.Д. Иванникова. – М., 2011. - С. 119-128.

3. *Коротков Э.М.* Управление качеством образования: учебное пособие для вузов. - М.: Академический Проспект: Мир, 2006. - 320 с.

4. *Гуров В.С., Корячко В.П., Таганов А.И., Горюнов И.В., Перепелкин Д.А.* Апробация проекта создания расширенной конфигурации комплекса средств информационной поддержки системы качества образовательного учреждения / Труды VII Всероссийской научно-методической конференции «Телематика-2010». – С.-П., 2010. - Том 1. - С. 169-170.

5. *Корячко В.П., Таганов А.И., Таганов Р.А.* Процессно-ориентированная технология менеджмента для проектов информатизации сферы образования/ Труды XIII Всероссийской научно-методической конференции «Телематика 2006». Санкт-Петербург, 2006. - Том 1. - С. 130 -132.

6. *Бриндикова И.В., Воеводин А.А., Гуров В.С., Корячко В.П., Таганов А.И., Чернышев С.В.* Системно-функциональное построение автоматизированной системы дистанционного обучения по направлению «Глонасс» // Вестник РГРТУ. - Рязань, 2010. - Вып. 33. - С. 82 - 89.

7. 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. – М: ФГУ ГНИИ ИТТ «Информика»; Фонд «Европейский центр по качеству», 2009. - 376 с.

8. *Бриндикова И.В., Воеводин А.В., Глушков В.В., Гуров В.С., Корячко В.П., Таганов А.И., Чернышев С.В.* Автоматизированная система дистанционного обучения и повышения квалификации специалистов в области создания и использования спутниковых навигационных систем // Труды VII Всероссийской научно-методической конференции «Телематика-2010». – С.-П., 2010. Том 1. С. 167-169.

9. *Гуров В.С., Корячко В.П., Таганов А.И.,* и др. Проект создания расширенной конфигурации комплекса средств информационной поддержки системы качества образовательного учреждения // Материалы XIV Всероссийской научно-технической конференции «НИТ - 2009». Рязань: РГРТУ, 2009. - С. 6- 10.

УДК 658

М.Ю. Новикова

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИНЦИПОВ ТЕОРИИ ИЗМЕНЕНИЙ В УПРАВЛЕНИИ ПРЕДПРИЯТИЕМ, РАЗРАБАТЫВАЮЩИМ ТЕХНИКУ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Произведено обоснование необходимости использования принципов теории изменений на разрабатывающих предприятия как способа обеспечения стратегических конкурентных преимуществ. Рассмотрен вопрос определения оптимального момента начала изменений с финансовой

стороны и в условиях перехода к новому поколению техники как одного из наиболее сложных этапов жизненного цикла разрабатывающей организации. Кроме того, в данной работе предложена методика практической реализации изменений на предприятии, выпускающем технику специального назначения, и охарактеризованы возможные выгоды от применения инструментария теории изменений с учётом особенностей предприятий данной отрасли.

Ключевые слова: *организационные изменения, разрабатывающая организация, техника специального назначения, поколение техники, НИОКР, финансовая устойчивость, прогнозирование.*

Введение. На протяжении долгого времени считалось, что эффективность функционирования предприятия определяется оптимальной организационной структурой, минимизацией издержек, максимизацией производительности труда и рациональным использованием ресурсов. При таком традиционном подходе предприятие рассматривается как «закрытая» система. Его цели заданы и остаются постоянными в течение длительного времени.

В соответствии с новым взглядом на управление производственная система рассматривается уже как «открытая» система. Теперь факторы успеха её деятельности находятся вне системы и связаны с умением приспосабливаться к внешней среде, прогнозировать и распознавать угрозы [3].

Начиная с 2000-х гг. теория организационных изменений получила «второе дыхание». Предприняты попытки улучшить исследовательский инструментарий, активизировались попытки создать универсальную схему, позволяющую обобщить различные теории организационных изменений.

Для руководителей российских предприятий изучение теории и практики организационных изменений актуально вдвойне. Во-первых, отечественные предприятия работают в динамичной внешней среде. Во-вторых, несмотря на то, что в последнее десятилетие теория организационных изменений начала развиваться более интенсивно и обогатилась за счёт смежных наук (математики, физики) и исследований, но, к сожалению, большинство публикаций по управлению изменениями основаны на опыте крупных зарубежных компаний. Этот опыт не всегда подходит и полезен для российского бизнеса. В печатных изданиях на тему организационных изменений отсутствуют конкретные методики по применению этой теории на практике. Поэтому каждое предприятие вынуждено осуществлять организационные изменения в соответствии со своим видением и пониманием, решать конкретные задачи на практике, опираясь на самые общие теоретические исследования [4].

Цель работы: применение принципов теории организационных изменений в разработке техники специального назначения. Объектом исследования будет предприятие, занимающееся выпуском техники специального назначения на примере аппаратуры контроля ракетно-космических комплексов (РКК) и сам процесс разработки этой техники.

Основными отличительными особенностями разработки техники специального назначения (на примере аппаратуры контроля РКК) являются следующие:

-специфическая сфера использования техники;

-необходимость быстрого обновления техники;

-монопсонический характер отношений с потребителем;

-конкурсная система заключения контрактов;

-особая сложность разработок;

-особые требования к качеству разработок;

-преимущественно государственная форма собственности разрабатывающих организаций.

Специфика разработки исследуемой техники определяет специфику целей организации государственной формы собственности, специализирующихся на разработке техники специального назначения. Они состоят в обеспечении наилучшего исполнения государственных заказов и достижении за счёт этого экономических результатов, необходимых для роста конкурентных преимуществ организации как хозяйствующего субъекта.

Но и этого недостаточно. Следует работать на опережение – готовить организацию к новым перспективным видам РКК, потому что только так можно сохранить конкурентные преимущества в своей отрасли. Процесс организационных изменений тесно связан с процессом финансирования. Их взаимодействие составляет единую систему управления уровнем устойчивости предприятия в условиях изменений.

Развитие каждого поколения техники характеризуется S-образной логистической кривой

(рисунок 1). Наклон кривой и переломные точки развития в каждый период отражают эффективность поколения техники специального назначения и степень использования технического потенциала. По мере приближения к их пределу дальнейшее совершенствование данного поколения экономически нецелесообразно. Знание пределов используемого поколения техники позволяет избежать лишних затрат и своевременно подготовиться к смене поколения техники. При переходе от одного поколения техники к другому происходит технологический разрыв, или сдвиг. Это критический период для предприятия, который влечёт за собой изменение внутренней среды и системы взаимодействия с внешним окружением [1].

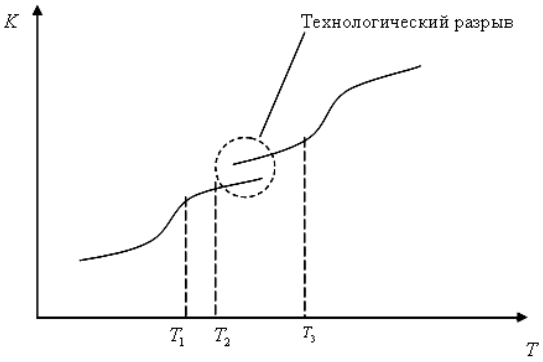

Рисунок 1 – Кривая технологического развития предприятия

K – уровень технического развития;

T_1 – начало подготовки к изменениям;

T_2 – начало изменений, вызванных сменой поколений техники ;

T_3 – окончание изменений, вызванных сменой поколений техники.

Динамика развития поколения техники по S-образной кривой зависит от накопленного со временем опыта, т.е. технологический сдвиг происходит кумулятивно, хотя и носит вероятностный характер, поскольку каждая технологическая новация характеризуется достаточной степенью неопределённости, уменьшаемой по мере освоения производственных процессов.

Проведение изменений привносит дополнительный внутренний источник нестабильности за счёт роста динамики изменений внутренней среды и преобразований процессов взаимодействия с внешней средой. Особенность подготовки и проведения изменений состоит в перераспределении ресурсов от НИОКР с текущим поколением техники к новым направлениям развития, а именно к НИОКР с будущим поколением техники. При этом денежный поток от налаженных НИОКР снижается, а выручка от новых НИОКР от новых технологий ещё не вышла на запланированный уровень (рисунок 2).

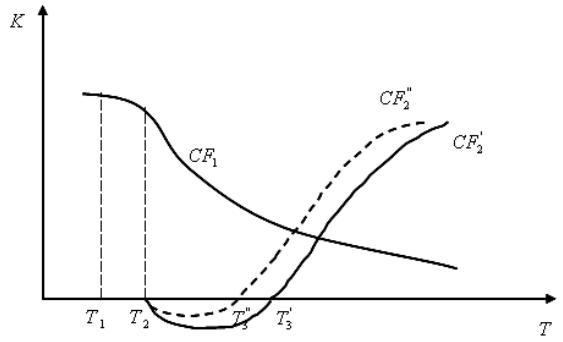

Рисунок 2 - Финансовые потоки при переходе на новые НИОКР

CF_1 – кумулятивный денежный поток от НИОКР текущего поколения техники;

$CF_2^{'}$ – кумулятивный денежный поток от НИОКР *при отсутствии* предварительной подготовки к смене поколения техники.

$CF_2^{''}$ - кумулятивный денежный поток от НИОКР *при наличии* предварительной подготовки к смене поколения техники;

T_1 – начало подготовки изменений;

T_2 – начало изменений, связанных со сменой поколений техники;

$T_3^{'}$ – окончание изменений, связанных со сменой поколений техники;

$T_3^{''}$ – окончание изменений, связанных со сменой поколений техники при наличии подготовительного этапа.

Желательно, чтобы к моменту появления техники нового поколения T_2 предприятие подошло подготовленным и способным начать работу с этой техникой. Для этого в момент времени T_1 рекомендуется начать соответствующие изменения на предприятии и тем самым перевести его в необходимое состояние. Кривая $CF_2^{'}$ иллюстрирует рост денежного потока от НИОКР, направленного на разработку техники специального назначения без этапа подготовки к смене поколения техники. Предварительные изменения в период времени T_1T_2 позволяют уменьшить финансовые потери на начальном этапе работ с новой техникой, что, в свою очередь, ускорит получение прибыли от НИОКР, направленных на разработку техники нового поколения ($CF_2^{''}$).

Устойчивость предприятия непосредственно

в процессе изменений снижается по сравнению с устойчивостью при эволюционном пути развития. Однако результатом эффективных изменений является рост устойчивости в долгосрочной перспективе в связи с переходом на новый уровень развития (рисунок 3).

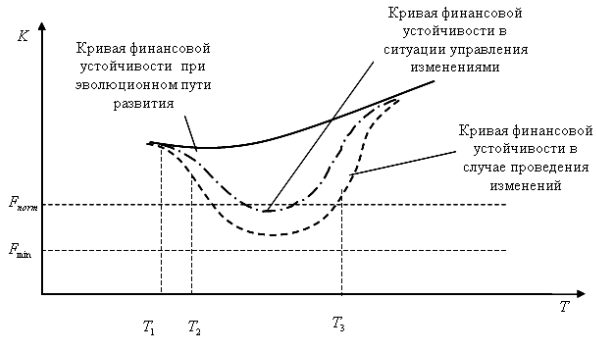

Рисунок 3 - Кривые уровня устойчивости предприятия в период развития

T_1 – начало подготовки к изменениям;

T_2 – начало изменений;

T_3 – окончание изменений;

$F_{\min}$ – минимально допустимый уровень финансовой прочности;

F_{norm} – уровень финансовой устойчивости в условиях смены поколений техники.

Этап подготовки к системным изменениям на предприятии очень важен и должен иметь методическое обоснование, которое заключается:

1) в обосновании необходимости проведения изменений;

2) в определении оптимальных сроков начала и окончания преобразований;

3) в оценке объёма и стоимости необходимых изменений;

4) в определении наиболее подходящего источника финансирования программы преобразований.

Рассмотрим подробнее вопрос определения оптимальных сроков проведения организационных изменений на предприятии. Исследуем этот вопрос с финансовой стороны и с точки зрения смены поколений техники.

С одной стороны, любое предприятие подчиняется законам цикличности развития. Поэтому при определении оптимальных сроков проведения изменений необходимо проанализировать кривую финансового развития. Циклический характер развития предприятия формирует особые требования к срокам проведения преобразований. Несоблюдение указанных сроков на практике приводит к негативным последствиям.

В результате раннего начала изменений приостанавливается активная фаза развития на первой стадии, обеспечивая при этом неполную эффективность имеющегося потенциала.

При задержке окончания изменений кривая потенциала развития ползёт вниз и появляется вероятность стагнации на нижнем уровне развития, что приводит к росту отставания от оптимального графика развития.

Оптимальным временем начала реструктуризации является точка T_2 на участке T_2T_4 стабильного роста функции развития (рисунок 4), поскольку на указанном участке прирост уровня потенциала развития минимальный и упущенная выгода при реализации альтернативного проекта минимизирована, кроме того, на стабильном участке риски потери устойчивости снижены. Завершение изменений до точки начала активного роста нецелесообразно в связи с малыми отклонениями от уровня потенциала развития. В случае ускоренного проведения изменений вероятна потеря устойчивости и затяжной кризис на предприятии.

На этапе подготовки к изменениям темпы прироста текущей деловой активности незначительно снижаются по сравнению с траекторией эволюционного пути развития. На этапе проведения активных преобразований потенциал развития на участке T_3T_5 резко снижается (рисунок 4), однако, окончание изменений даёт начало новому активному росту.

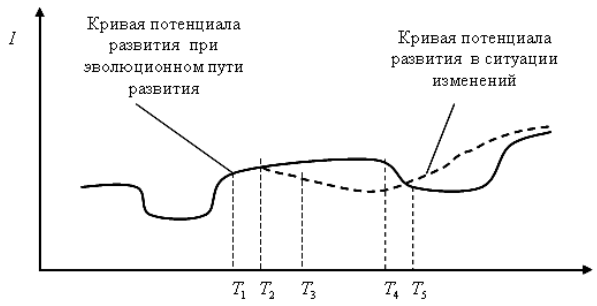

Рисунок 4 – Кривые развития при соблюдении оптимальных сроков изменений

T_1 – начало стабилизации на этапе роста при эволюционном пути развития;

T_2 – начало подготовки к изменениям;

T_3 – начало изменений;

T_4 – начало спада при эволюционном пути развития;

T_5 – окончание изменений;

С другой стороны, предприятие, разрабатывающее технику специального назначения, отно-

сится к научно-производственным предприятиям, большую долю работ которых составляют НИОКР. Предприятия такого типа ведут свои разработки в соответствии с обновляющимися поколениями РК техники. Необходимо, осуществляя разработку и обслуживание в виде сопровождения техники специального назначения, не пропустить момент, когда необходимо путём преобразований начать готовиться к приходу техники нового поколения.

Чтобы определить оптимальное время начала и окончания изменений, ориентируясь на смену поколений техники специального назначения, требуется вычислить момент времени смены поколения техники. Этот момент времени будем определять методами научного прогнозирования.

Далее, время начала преобразований, полученное путём прогнозирования, необходимо соотнести с рекомендациями по выбору момента начала изменений с учётом финансового состояния предприятия. Полученное время начала преобразований будем использовать при разработке плана проведения изменений. Таким образом, прогнозирование момента времени явилось предплановой разработкой, т.е. процессом, предшествующим планированию.

Успешность проводимых на предприятии изменений зависит от многих факторов. В свою очередь, основными причинами неудач преобразований являются:

- недостаточная подготовка предприятия к изменениям;
- отсутствие программы практической реализации проектов изменений [2].

В данной работе предлагается методика практической реализации изменений на предприятии, выпускающем технику специального назначения. Пусть на предприятии разработан один или несколько проектов изменений. Проекты представляют собой наиболее подходящее средство изменений. Проектный подход для реализации изменений является необходимым, но не достаточным. Для успешного осуществления преобразований следует обеспечить некоторую структуру, которая интегрировала бы сами изменения с управлением этими изменениями так называемую программу изменений. При создании подобной структуры получение преимуществ будет управляемым и сможет быть успешно доведено до конца.

Этот способ позволяет последовательность внедрения любых изменений поместить в цикл программы изменений. Для предприятия, разрабатывающего технику специального назначения, кроме известных типов стратегических изменений также могут быть встроены специфические проекты изменений, такие как НИР, ОКР, выполнение новых контрактов.

Заключение. Целью проведения организационных изменений является повышение эффективности деятельности предприятия. Проблема оценки эффективности организации до сих пор остаётся одной из самых сложных и трудноразрешимых. Известно, что общая эффективность предприятия зависит от производственно-технической базы, от системы управления и от трудового поведения людей. Трудность заключается в отделении эффекта, достигнутого за счёт проведённых организационных изменений, от роста показателей за счёт эволюционного развития предприятия. Но с большой долей уверенности можно утверждать, что организационные изменения, о которых шла речь в данной работе, позволят продлить период роста и зрелости как наиболее прибыльных этапов в жизненном цикле любой организации.

Кроме того, они позволят максимально сократить период стрессового состояния, вследствие перехода к новому поколению техники, а в случае грамотно проведённых изменений – полностью его избежать. Как следствие этого, предотвращение снижения прибыли и сохранение предприятием стабильного функционирования и конкурентных позиций в своей отрасли.

Библиографический список

1. *Анискин Ю.П.* Управление корпоративными изменениями по критерию устойчивости. – М.: Издательство «Омега-Л», 2009. – 404 с.

2. *Краюхин Г.А., Казакова Н.В. Солдак Ю.М.* Эффективное управление организационными изменениями на предприятиях. – Рязань: Полиграф, 2008. – 262 с.

3. *Максимцов М.М. Игнатьева А.В.* Менеджмент: Учебник для ВУЗов. – М.: Банки и биржи, ЮНИТИ, 1998. – 343 с.

4. *Широкова Г.В.* Управление изменениями в российских компаниях: учебник. 3-е изд. – СПб: Изд-во «Высшая школа менеджмента», 2009. – 480 с.

УДК 517.938

И.С. Потапова

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРАВЛЯЕМОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МНОГОСЕКТОРНОЙ ЭКОНОМИКИ С ЗАДАННЫМ УРОВНЕМ ПОТРЕБЛЕНИЯ

Рассматривается управляемая математическая модель многосекторной экономики с постоянным уровнем потребления и управлением, зависящим от состояния. Найдены необходимые и достаточные условия управляемости математической модели.

Ключевые слова: *управляемость, модель многосекторной экономики, уровень потребления, линейная система дифференциальных уравнений.*

Введение. Математическое моделирование является одним из наиболее эффективных методов исследования различных проблем экономики.

Одной из основных математических моделей, используемых для решения экономических задач, является система дифференциальных уравнений особенно в тех случаях, когда необходимо изучить динамику процессов, происходящих в экономике. Существенное значение имеет исследование проблемы, касающейся возможности управлять развитием отрасли экономики с целью получения желаемого результата.

Математическая модель, содержащая управляющие параметры, называется управляемой моделью.

Цель работы – исследовать управляемую математическую модель. Найти условия существования управления, при котором модель имеет решение, определяющее процесс развития отраслей экономики с заранее заданным уровнем потребления.

Основная часть. Пусть $x_1(t),\ x_2(t),\ldots,$ $x_n(t)-$ объемы основных производственных фондов (станки, предприятия, здания, денежные средства и др.) отраслей экономики в момент времени t. Будем предполагать, что $\dot{x}_i(t)-$ темп изменения фондов i-й отрасли при $t\in[0,T]$, $T>0-$ некоторое число, прямо пропорционален объему основных производственных фондов i-й отрасли $x_i(t)$ и зависит от объемов производственных фондов остальных отраслей. На темп изменения фондов i-й отрасли могут оказать влияние вложения собственных средств отрасли, кредитные вложения, определяемые вектором $\mathbf{u}(t)=(u_1(t),\ u_2(t),\ldots,u_m(t))$, и внешние воздействия $\psi_i(t)$. Математическая модель изменения фондов многосекторной экономики может быть записана в виде системы дифференциальных уравнений

$$\dot{\boldsymbol{x}}=\boldsymbol{A}(t)\boldsymbol{x}+\boldsymbol{B}(t)\boldsymbol{u}+\boldsymbol{\psi}(t), \qquad (1)$$

в которой $\mathbf{A}(t)=(a_{ij}(t))_1^n$, $a_{ij}(t)$ – доля фонда j-й отрасли, оказывающая влияние на темп изменения фонда i-й отрасли; $\mathbf{B}(t)=(b_{ij}(t))_{11}^{nm}$, $b_{ij}(t)-$ часть кредитного вложения u_j в развитие фонда i-й отрасли, $m\le n$, $\boldsymbol{\psi}(t)=(\psi_1(t),$ $\psi_2(t),\ldots,\psi_n(t))$, $\psi_i(t)$ – известная функция, характеризующая внешние воздействия на темп изменения фондов i-й отрасли.

Выпуск продукции $\mathbf{z}(t)$, идущей на потребление в момент времени $t\in[0,T]$ [1], определится равенством $\mathbf{z}(t)=\mathbf{G}(t)\mathbf{x}(t)$, где $\mathbf{G}(t)-$ $q\times n$ матрица. Уровень потребления за период времени $[0,T]$ задается равенством

$$\int_0^T\mathbf{z}(t)dt=\int_0^T\mathbf{G}(t)\mathbf{x}(t)dt=\delta, \qquad (2)$$

в котором $\delta-$ q-мерный постоянный вектор.

Предположим, что на сегменте $[0,T]$ матрицы $\mathbf{A}(t)$, $\mathbf{B}(t)$, $\mathbf{G}(t)$ определены и непрерывны. Множество допустимых управлений определим равенством $U=\{u(t)\}$, где $u(t)-$ кусочно-непрерывная на сегменте $[0,T]$ m- мерная вектор-функция.

Ставится задача: найти управление $u(t)$, при котором система (1) имеет решение, удовлетворяющее равенству (2). Далее такую задачу будем называть задачей (1), (2).

Определение. Система (1) называется управляемой на сегменте $[0,T]$ во множестве допустимых управлений U, если для любого вектора $\delta\in E_q$ существует управление $\mathbf{u}(t)\in U$,

при котором задача (1), (2) разрешима.

Проблема управляемости линейных систем дифференциальных уравнений рассматривалась во многих работах. Фундаментальные результаты по теории управления систем содержатся в работах [2–4]. В работе [2] получены необходимые и достаточные условия управляемости линейных систем с постоянными коэффициентами. В работе [3] установлены достаточные условия управляемости линейной системы с переменными коэффициентами в предположении, что матрицы $\boldsymbol{A}(t)$ и $\boldsymbol{B}(t)$ системы (1) $n-1$ раз дифференцируемы и существует точка $t_0 \in [0,T]$, в которой $rang(L_1(t_0), L_2(t_0), \ldots, L_n(t_0)) = n$, где $L_1(t_0) = B(t_0)$, $L_k(t_0) = A(t_0)L_{k-1}(t_0) - \dot{L}_{k-1}(t_0)$. В работе [4] основным требованием, при котором линейная система с переменными коэффициентами управляема, является представление фундаментальной матрицы системы $\dot{\boldsymbol{x}} = \boldsymbol{A}(t)\boldsymbol{x}$ в явном виде.

В настоящей статье рассматривается множество допустимых управлений, посредством которых определяется класс управляемых (в смысле определения, приведенного в статье) линейных систем с переменными коэффициентами.

Пусть $\mathbf{X}(t)$ – фундаментальная матрица системы $\dot{\boldsymbol{x}} = \boldsymbol{A}(t)\boldsymbol{x}$, $\boldsymbol{X}(0) = \boldsymbol{E}$, $\boldsymbol{E}$ – единичная матрица, $\mathbf{u}(t) \in U$, δ – произвольный, но фиксированный вектор. Тогда решение $\mathbf{x}(t)$ $(\mathbf{x}(0) = \alpha)$ математической модели (1) определится равенством

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{X}(t)\alpha + \mathbf{X}(t)\int_0^t \mathbf{X}^{-1}(\xi)(\mathbf{B}(\xi)\mathbf{u}(\xi) + \boldsymbol{\psi}(\xi))d\xi.$$

Следовательно, для того чтобы задача (1), (2) была разрешима, необходимо и достаточно, чтобы для любых векторов $\alpha \in E_n$ и $\delta \in E_q$ существовало управление $\mathbf{u}(t) \in U$, удовлетворяющее равенству

$$\int_0^T \mathbf{G}(t)\mathbf{X}(t)\int_0^t \mathbf{X}^{-1}(\xi)\mathbf{B}(\xi)\mathbf{u}(\xi)d\xi dt = \gamma, \qquad (3)$$

в котором $\gamma = \delta - \int_0^T \mathbf{G}(t)\mathbf{X}(t)\alpha dt - \int_0^T \mathbf{G}(t)\mathbf{X}(t)$ $\int_0^t \mathbf{X}^{-1}(\xi)\boldsymbol{\psi}(\xi)d\xi dt$ – q-мерный вектор.

Определим множество допустимых управлений равенством

$$U = \{\mathbf{u}(t) : \mathbf{u}(t) = \mathbf{S}(t)\mathbf{x} + \mathbf{R}(t)\mathbf{v}\}, \qquad (4)$$

где $\mathbf{S}(t)$ – $m \times n$-матрица, непрерывная на сегменте $[0,T]$; $\mathbf{R}(t) = (r_{ij}(t))_1^{mq}$, $r_{ij}(t) = \sum_{\lambda=1}^{k} r_{ij}^{(\lambda)}\varphi_\lambda(t)$, при любом $\lambda \in \overline{1,k}$ $r_{ij}^{(\lambda)}$ – действительное число, $\varphi_\lambda(t)$ – известная функция, определенная и кусочно-непрерывная на сегменте $[0,T]$, $\mathbf{v} - q$-мерный постоянный вектор.

Система (1)преобразуется в систему

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{H}(t)\mathbf{x} + \mathbf{B}(t)\mathbf{R}(t)\mathbf{v} + \boldsymbol{\psi}(t),$$

где $\mathbf{H}(t) = \mathbf{A}(t) + \mathbf{B}(t)\mathbf{S}(t)$. Для простоты записи для фундаментальной матрицы системы $\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{H}(t)\mathbf{x}$ сохраним прежнее обозначение. Равенство (3) примет вид

$$\int_0^T \boldsymbol{G}(t)\boldsymbol{X}(t)\int_0^t \boldsymbol{X}^{-1}(\xi)\boldsymbol{B}(\xi)\boldsymbol{R}(\xi)d\xi dt\, v = \gamma.$$

Пусть $\mathbf{P} = \int_0^T \mathbf{G}(t)\mathbf{X}(t)\int_0^t \mathbf{X}^{-1}(\xi)\mathbf{B}(\xi)\mathbf{R}(\xi)d\xi dt$, $r - mqk$-мерный вектор, определенный равенством $\mathbf{r} = (r_1, r_2, \ldots r_m, \ldots, r_{mq}, \ldots, r_{mqk})$, в котором $r_1 = r_{11}^1$, $r_2 = r_{21}^1, \ldots$, $r_m = r_{m1}^1, \ldots$, $r_{mq} = r_{qm}^1$, …, $r_{kmq} = r_{qm}^k$. Тогда

$$\mathbf{v} = \mathbf{P}^{-1}\gamma. \qquad (5)$$

Непосредственным вычислением устанавливаем, что

$$\det \mathbf{P} = \sum_{(i_1, i_2, \ldots, i_q) \in D} a_{(i_1, i_2, \ldots, i_q)} r_{i_1} r_{i_2} \ldots r_{i_q},$$

где D – множество сочетаний из натуральных чисел $\overline{1,kmq}$ по q, для любого набора $(i_1, i_2, \ldots, i_q)$ $a_{(i_1, i_2, \ldots, i_q)}$ – известное число, определяемое матрицами $\mathbf{G}(t)$, $\mathbf{X}(t)$, $\mathbf{B}(t)$ и функциями $\varphi_1(t)$, $\varphi_2(t), \ldots$, $\varphi_k(t)$.

Теорема 1. Для того чтобы задача (1), (2) была разрешима во множестве допустимых управлений, определенном равенством (4), необходимо и достаточно, чтобы существовало хотя бы одно сочетание $(i_1, i_2, \ldots, i_q) \in D$, при котором $a_{(i_1, i_2, \ldots, i_q)} \neq 0$.

Доказательство. Необходимость. Так как задача (1), (2) разрешима во множестве допустимых управлений, определенном равенством (4), то существуют матрицы $\mathbf{S}(t)$ и $\mathbf{R}(t)$ такие, что выполнено неравенство $\det \mathbf{P} \neq 0$. Это значит, что существует сочетание $(i_1, i_2, \ldots, i_q) \in D$, удовлетворяющее неравенству $a_{(i_1, i_2, \ldots, i_q)} \neq 0$.

Достаточность. Пусть матрицы $\mathbf{S}(t)$ и $\mathbf{R}(t)$ таковы, что существует сочетание $(i_1, i_2, \ldots, i_q) \in D$, удовлетворяющее неравенству $a_{(i_1, i_2, \ldots, i_q)} \neq 0$. Тогда, положив $r_{i_1} = r_{i_2} = \ldots$

$\ldots = r_{i_q} = 1$, $r_j = 0$ при $j \in \{i_1, i_2, \ldots, i_q\}$, получим $\det P \neq 0$.

Следовательно, множество допустимых управлений, на котором система (1) управляема, имеет вид $U = \{\mathbf{u}(t) : \mathbf{u}(t) = \mathbf{S}(t)\mathbf{x} + \mathbf{R}^*(t)\mathbf{v}\}$, , где $\mathbf{v} \in R^q$ – вектор.

Теорема доказана.

Согласно теореме 1 для решения задачи (1), (2) необходимо иметь явное представление фундаментальной матрицы системы $\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{H}(t)\mathbf{x}$.

Рассмотрим систему уравнений

$$\mathbf{H}(t) = \mathbf{A}(t) + \mathbf{B}\mathbf{S}(t), \qquad (6)$$

в которой $\mathbf{A}(t)$, $\mathbf{H}(t)$ – $n \times n$-матрицы, $\mathbf{B}$ – $n \times m$-постоянная ненулевая матрица, $\mathbf{S}(t)$ – $m \times n$-матрица.

Будем предполагать, что для матриц $\mathbf{A}(t)$ и $\mathbf{H}(t)$ выполняются равенства $\mathbf{A}(t) = \sum_{\mu=1}^{l} \mathbf{A}_\mu \, \mathrm{f}_\mu(\mathrm{t})$, $\mathbf{H}(t) = \sum_{\mu=1}^{l} \mathbf{H}_\mu \, \mathrm{f}_\mu(\mathrm{t})$, в которых при любых $\mu \in \{1, l\}$ $\mathbf{A}_\mu, \mathbf{H}_\mu$ – постоянные матрицы, $\mathrm{f}_\mu(\mathrm{t})$ – некоторая известная функция, непрерывная на сегменте $[0, T]$. Матрицу $\mathbf{S}(t)$ будем искать в виде $\mathbf{S}(t) = \sum_{\mu=1}^{l} \mathbf{S}_\mu \, \mathrm{f}_\mu(\mathrm{t})$.

Для того чтобы доказать разрешимость системы (6), достаточно установить, что при любом $\mu \in \overline{1,l}$ существует матрица $\mathbf{S}_\mu$, удовлетворяющая равенству

$$\mathbf{H}_\mu = \mathbf{A}_\mu + \mathbf{B}\mathbf{S}_\mu. \qquad (7)$$

Пусть $\overline{\mathbf{B}}_\mu = \left(\mathbf{B}, \mathbf{H}_\mu - \mathbf{A}_\mu\right)$.

Теорема 2. Если при любом $\mu \in \overline{1,l}$ матрица $\mathbf{H}_\mu$ такова, что $rang(\mathbf{B}) = rang(\overline{\mathbf{B}}_\mu)$, то существует матрица $\boldsymbol{S}_\mu$, удовлетворяющая равенству (7).

Доказательство теоремы следует из теоремы Кронекера-Капелли.

Теорема 3. Пусть $m = n - 1$. Тогда если любой минор порядка $n-1$ матрицы $\boldsymbol{B}$ не равен нулю, то при любом $\mu \in \overline{1,l}$ существуют матрица $\mathbf{S}_\mu$ и диагональная матрица $\boldsymbol{H}_\mu$, удовлетворяющие равенству (7).

Доказательство. Пусть μ – произвольное фиксированное число, $\mu \in \overline{1,l}$. Введем следующие обозначения: $A_\mu = (a_{ij}^{(\mu)})_1^n$, $S_\mu = (s_{ij}^{(\mu)})_1^{n-1\,n}{}_1$, $H_\mu = diag(h_{11}^{(\mu)}, h_{22}^{(\mu)}, \ldots, h_{nn}^{(\mu)})$, при любом $p \in \overline{1,n}$ $\Delta_p = (colon(b_{11}, b_{21}, \ldots, b_{p-1,1}, b_{p+1,1}, \ldots, b_{n1}), colon(b_{12}, b_{22}, \ldots, b_{p-1,2}, b_{p+1,2}, \ldots, b_{n2}), \ldots, colon(b_{1,n-1}, b_{2,n-1}, \ldots, b_{p-1,n-1}, b_{p+1,n-1}, \ldots, b_{n,n-1}))$, $s_p^{(\mu)} = colon(s_{1p}^{(\mu)}, s_{2p}^{(\mu)}, \ldots, s_{n-1,p}^{(\mu)})$, $a_p^{(\mu)} = colon(a_{1p}^{(\mu)}, a_{2p}^{(\mu)}, \ldots, a_{p-1,p}^{(\mu)}, a_{p+1,p}^{(\mu)}, \ldots, a_{np}^{(\mu)})$.

Тогда вектор $s_p^{(\mu)}$ находим из равенства $\Delta_p s_p^{(\mu)} = -a_p^{(\mu)}$, а $h_{pp}^{(\mu)}$ – из равенства $h_{pp}^{(\mu)} = a_{pp}^{(\mu)} + (b_p, s_p^{(\mu)})$, в котором $b_p = (b_{p1}, b_{p2}, \ldots, b_{p,n-1})$ – p строка матрицы B, $(b_p, s_p^{(\mu)})$ – скалярное произведение векторов b_p и $s_p^{(\mu)}$.

Из произвольности μ, $\mu \in \overline{1,l}$, следует справедливость равенства (7).

Теорема доказана.

Теорема 4. Пусть $m = n$. Тогда если при любом $t \in [0, T]$ $\det \mathbf{B}(t) \neq 0$, то для любых $\mathbf{A}(t)$, $\mathbf{H}(t)$ – $n \times n$-матриц существует $\mathbf{S}(t)$ – $n \times n$-матрица, удовлетворяющая равенству $\boldsymbol{H}(t) = \boldsymbol{A}(t) + \boldsymbol{B}(t)\boldsymbol{S}(t)$.

Доказательство очевидно.

Пример. Рассмотрим систему вида (1) в случае трехсекторной экономики.

Пусть $x_1(t)$, $x_2(t)$, $x_3(t)$ – объемы основных производственных фондов (станки, предприятия, здания, денежные средства и др.) отраслей экономики в момент времени $t \in [0{,}0.5]$.

Математическую модель изменения фондов трехсекторной экономики рассмотрим в виде следующей системы дифференциальных уравнений:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}(t)\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u} + \boldsymbol{\psi}(t), \qquad (8)$$

в которой $\mathbf{A}(t) = (colon(\frac{1}{t+1} + \frac{1}{t-1} + 1, \frac{2}{t-1} - 3, \frac{2}{t+1} - \frac{0.5}{t-1} + 2.5)$, $colon(\frac{3}{t+1}, \frac{-1}{t+1} - \frac{1}{t-1} + 2, \frac{3}{t+1} - \frac{1}{t-1} - 0.5)$, $colon(\frac{-2}{t+1} + \frac{3}{t-1} + 2, \frac{1}{t+1} + 1, \frac{-1}{t+1} + \frac{0.5}{t-1} + 0.5))$, $\mathbf{B} = (colon(1,-1,1), colon(2,0,1))$, $\psi(t) = (1-t, -e^t, -0.25e^t)$ – характеризует внешние воздействия.

Выпуск продукции $\mathbf{z}(t)$, идущей на потребление в момент времени $t \in [0{,}0.5]$, определится равенством $\mathbf{z}(t) = \mathbf{G}(t)\mathbf{x}(t)$, где $\mathbf{G}(t) = (colon(10t, 0,0), colon(0,2/(t+1),0), colon(0,0,10(t-1)/(t+1)))$. Уровень потребления за период времени $[0{,}0.5]$ задается равенством

$$\int_0^{0.5}\mathbf{z}(t)dt=\int_0^{0.5}\mathbf{G}(t)\mathbf{x}(t)dt=\delta, \qquad (9)$$

в котором $\delta-$ 3-мерный наперед заданный постоянный вектор.

Пусть $\alpha=colon(0.25,0.15,0.247)$, $\delta=$ $=colon(1,\ 1,1)$. Найдем управление $\mathbf{u}(t)$, при котором задача (8), (9) разрешима.

Для решения поставленной задачи достаточно найти условия управляемости системы (8) на сегменте $[0,0.5]$.

Множество допустимых управлений определим равенством

$$U=\{\mathbf{u}(t):\mathbf{u}(t)=\mathbf{S}(t)\mathbf{x}+\mathbf{R}(t)\mathbf{v}\}, \qquad (10)$$

где $\mathbf{S}(t)$ – 2×3-матрица, непрерывная на сегменте $[0,0.5]$; $\mathbf{R}(t)=\mathbf{R}_1+\mathbf{R}_2t$, $\mathbf{R}_1,\mathbf{R}_2-$ постоянные матрицы, $\mathbf{R}_1=(r_{ij}^{(1)})_{11}^{23}$, $\mathbf{R}_2=(r_{ij}^{(2)})_{11}^{23}$, $\mathbf{v}-3$-мерный постоянный вектор.

Тогда система (8) преобразуется в систему

$$\dot{\mathbf{x}}=\mathbf{H}(t)x+\mathbf{BR}(t)\mathbf{v}+\boldsymbol{\psi}(t),$$

где $\mathbf{H}(t)=\mathbf{A}(t)+\mathbf{BS}(t)$.

Матрицу $\mathbf{H}(t)$ выберем в виде $\mathbf{H}(t)=diag(\frac{-3}{t+1}-1,\frac{2}{t+1}-\frac{3}{t-1}+1,\frac{0,5}{t+1}-\frac{1}{t-1})$.

Для матриц $\mathbf{A}(t)$ и $\mathbf{H}(t)$ выполняются равенства $\mathbf{A}(t)=\mathbf{A}_1\frac{1}{t+1}+\mathbf{A}_2\frac{1}{t-1}+\mathbf{A}_3$, $\mathbf{H}(t)=\mathbf{H}_1\frac{1}{t+1}+$ $+\mathbf{H}_2\frac{1}{t-1}+\mathbf{H}_3$. Непосредственным вычислением можно убедиться, что выполняется условие теоремы 2. Следовательно, можно найти матрицу $\mathbf{S}(t)$, $\mathbf{S}(t)=\mathbf{S}_1\frac{1}{t+1}+\mathbf{S}_2\frac{1}{t-1}+\mathbf{S}_3$, удовлетворяющую равенству (6). Обозначим такую матрицу $\mathbf{S}^*(t)=(colon(\frac{2}{t-1}-3,0.5-\frac{2}{t+1}-\frac{1.5}{t-1}),$ $colon(\frac{-3}{t+1}+\frac{2}{t-1}+1,\frac{-1}{t-1}-0.5),colon(\frac{1}{t+1}+1,\frac{1}{2t+2}-$ $-\frac{3}{2t-2}-1.5))$. Фундаментальная матрица $\mathbf{X}(t)$ системы $\dot{\mathbf{x}}=\mathbf{H}(t)\mathbf{x}$ примет вид $\mathbf{X}(t)=$ $=diag(\exp(-t-\ln(t+1)),-\exp(t-3\ln(t-1)+$ $+2\ln(t+1)),-\exp(0.5\ln(t+1)-\ln(t-1)))$, $\mathbf{X}(0)=\mathbf{E}$.

Введем следующие обозначения: $\mathbf{P}=\int_0^{0.5}\mathbf{G}(t)\mathbf{X}(t)\int_0^t\mathbf{X}^{-1}(\xi)\mathbf{BR}(\xi)d\xi dt$, $r=(r_1,r_2,\ldots,r_{12})$, где $r_1=r_{11}^{(1)}$, $r_2=r_{21}^{(1)}$, $r_3=r_{12}^{(1)},\ldots,$ $r_6=r_{23}^{(1)},\ldots,$ $r_{12}=r_{23}^{(2)}$. Тогда $\det\mathbf{P}=\sum_{(i_1,i_2,i_3)\in D}a_{(i_1,i_2,i_3)}r_{i_1}r_{i_2}r_{i_3}$, где D – множество сочетаний из натуральных чисел $\{1,2,...,12\}$ по 3. Непосредственными вычислениями устанавливаем, что $\det\mathbf{P}=51.79r_1r_4r_{11}+...$

Поскольку $a_{(1,4,11)}=51.79$, то числа r_i при любом $i\in\{1,2,...,12\}$ выберем согласно равенствам $r_1=r_4=r_{11}=1$, $r_i=0$ при $i\notin\{1,4,11\}$.

Управление, при котором задача (8), (9) разрешима, имеет вид $\mathbf{u}(t)=\mathbf{S}^*(t)\mathbf{x}(t)+\mathbf{R}^*(t)\mathbf{v}$, где $\mathbf{R}^*(t)=(colon(1,0),colon(0,1),colon(t,0))$,

$$\mathbf{x}(t)=\mathbf{X}(t)\alpha+\mathbf{X}(t)\int_0^t\mathbf{X}^{-1}(\xi)(\mathbf{BR}^*(\xi)\mathbf{v}+\psi(\xi))d\xi\ .$$

Таким образом, для $\delta=colon(1,1,1)$ и $\alpha=colon(0.25,0.15,0.247)$, пользуясь равенством (5), непосредственным вычислением устанавливаем, что $\mathbf{v}=colon(0.812,-1.003,0.019)$.

Заключение. Построена управляемая математическая модель динамики производственных фондов. Теорема 1 определяет условия (теоремы 2–4 – их практическую реализацию), при которых существует управление многосекторной экономики с наперед заданным уровнем потребления.

Библиографический список

1. *Максимов В.П.* О некоторых обобщениях некоторых дифференциальных уравнений, краевых задач и их приложения к задачам экономической динамики. // Вестник ПТГУ. Пермь: Изд-во ПТГУ, 1997, №4. С.103-120.

2. *Калман Р.Е.* Об общей теории систем управления. Труды I конгресса ИФАК. Т. 2. М.: Изд–во АН СССР. 1961. С. 521–546.

3. *Красовский Н.Н.* Теория управления движением. М.: Физматгиз, 1968. 475 с.

4. *Ли Э.Б., Маркус Л.* Основы теории оптимального управления. М.: Физматгиз, 1972. 574 с.