

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГРАММИРОВАНИЕ СИСТЕМ С ГРУППОВЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

М.А. Ивлев

ГОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева», г. Нижний Новгород

Ключевые слова и фразы: групповые технологические процессы; динамические стохастические модели; системы обслуживания заявок; целевая подготовка кадров.

Аннотация: Рассмотрены проблемы управления социально-экономическими системами с групповыми технологическими процессами. Показана целесообразность их описания как системы массового обслуживания и возможность адаптивного управления на основе стохастической модели. Предложенный подход раскрыт на примере системы целевой подготовки и профессиональной переподготовки кадров.

1. Предмет и задачи исследования. Одним из распространенных вариантов технических и социально-экономических систем являются системы *группового* (партиями) производства товаров и услуг. Системы с групповыми технологическими процессами (СГТП) могут реализовывать различные типы производства: единичное, серийное, массовое. Примером групповых технологий в промышленном секторе экономики является производство интегральных микроэлектронных компонентов современных приборов автоматики и телекоммуникаций. В социально-экономических системах к ним относятся сферы образования, транспортных услуг, отдыха и др. Наибольший интерес из них представляют производственные системы, которые имеют следующие особенности:

–*Научное* СГТП – предприятия, организации, отрасли производства, непрерывно совершенствуемые на основе внедрения результатов НИР и ОКР,

–СГТП, включающие в свой состав *активные компоненты* – людей, обладающих возможностью реализации (и смены) предпочтений и выбора вариантов из ряда альтернативных предложений,

–СГТП, функционирующие в условиях динамично изменяющихся потребностей общества, экономики и отдельных людей, т.е. *гибкие, адаптивные* системы.

Одной из таких СГТП является система целевой подготовки и профессиональной переподготовки кадров (ЦППК) [1].

Построение модели ЦППК и разработка механизма гибкого планирования ее деятельности – программирования фаз жизненных циклов (ЖЦ) образовательных программ, а также периодов их обновления являются целями настоящей статьи.

2. Обоснование метода решения и требования к модели. Особенности реализации современной ЦППК являются образовательные *проекты и программы*, инициируемые высокотехнологичными секторами экономики. Т.е., заказчиками «товара» являются предприятия и органы самоуправления, решающие проблемы повышения конкурентоспособности и (или) социальные задачи регионов. С другой стороны, входными объектами для ЦППК являются выпускники образовательных учреждений среднего общего или среднего профессионального образования, которые реализуют в вузе свои потребности в формировании профессиональной компетентности и разностороннем развитии личности. Поэтому абитуриенты также являются заказчиками системы образования. Следовательно, ее можно представить как систему обслуживания взаимосвязанных разнотипных заявок: на подготовку в конкретном направлении высококвалифицированных специалистов, с одной стороны, и заявок на получение знаний, умений и навыков, обеспечивающих конкурентоспособность выпускников на рынке труда, с другой стороны. Такое представление ЦППК делает возможным применение и развитие методов системы массового обслуживания (СМО), широко применяемых в технических приложениях (в частности, в области телекоммуникаций), для решения задач моделирования и оптимального управления образовательными системами. Особенности процессов ЦППК обуславливают сужение множества разновидностей СМО до его части, удовлетворяющей следующим требованиям:

– Система обслуживания должна функционировать без отказов обслуживания заявок. Следовательно, СМО должна относиться к классу *систем обслуживания с очередями*, и к ней применим аппарат теории очередей.

– Модель ЦППК в виде СМО должна учитывать обслуживание заявок с *потерями*, т.е. некоторая часть из них будет снята их инициаторами, например, по причине слишком большого времени нахождения заявки в очереди.

– Модель должна учитывать *многофазный режим* работы образовательной структуры (обучение курсами, циклами дисциплин), в том числе возможность ее функционирования как *сети* массового обслуживания.

– Модель должна отражать работу системы с *несколькими очередями*, поскольку заявки на ЦППК включают неоднородные требования по различным видам образовательной деятельности: направлениям, графиками и срокам подготовки и переподготовки специалистов.

– Модель должна отражать как одноканальный (узкопрофильный мелкосерийный процесс), так и многоканальный (широкий спектр направлений подготовки) режимы функционирования образовательной системы.

Традиционная СМО с очередью включает накопитель заявок и блок обслуживания (рис. 1). Накопитель «удерживает» в очереди те заявки, которые не обслуживаются в данный момент блоком исполнения вследствие его недостаточной производительности.

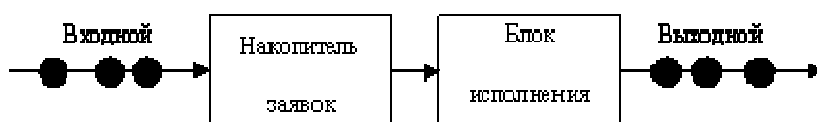


Рис. 1. Модель СМО с очередью

С учетом указанных особенностей системы ЦППК структура модели в виде СМО для нее должна быть изменена: модель рис. 1 не учитывает различие и связь потоков заявок экономических субъектов и абитуриентов, не отражает отсев абитуриентов в ходе накопления и обслуживания заявок.

3. Система массового обслуживания как модель ЦППК. Предлагается «специализированная» модель СМО, адекватно описывающая рассматриваемый вид СГТП – систему ЦППК по заказам промышленности (рис. 2).

Полюса модели. В модель ЦППК включены три «обязательные» (предусмотренные технологией ЦППК) внешние полюса: вход заявок **A** (на него поступают заказы промышленных предприятий на ЦППК), вход заявок **B** (на него поступают заявки на обучение от физических лиц) и выход обслуженных заявок (выпуск подготовленных специалистов). В модель введены три «дополнительные» порта, которые учитывают неидеальность функционирования ЦППК в конкретных внешних условиях. К ним относятся: порт потерь заявок **A** (они могут быть отозваны по причинам смены приоритетов, финансовых проблем, низкого качества обучения), порт отзыва заявок **B** (отказы абитуриентов $V_{отк}$ по причине появления альтернативных программ, из-за длительного процесса формирования группы и т.п.) и порт потерь $V_{пот}$ заявок **B**, происходящих во время обучения.

Структурные элементы модели и их взаимодействие. Предложенная модель (рис. 2) включает два накопителя заявок и блок распределения выполненных заявок. Накопитель заявок **A** обеспечивает формирование объема заказа, необходимого для обеспечения рентабельности системы, путем суммирования заявок нескольких заказчиков. Блок обслуживания заявок непосредственно выполняет групповой технологический процесс, настроенный на *i*-ое направление подготовки, и формирует соответствующие требования к уровню базового образования абитуриентов и ограничения на их количество в группе, т.е. параметры V_{i3}^{Σ} группы заявок **B**. Взаимодействие блоков в направлении «Входной поток **A** → Накопитель заявок **A** → Блок обслуживания заявок → Накопитель заявок **B**» представляет собой предпроектную обработку заявок – имитационное моделирование предстоящего процесса ЦППК. Его результаты корректируются на основе информации, поступившей по каналу обратной связи о

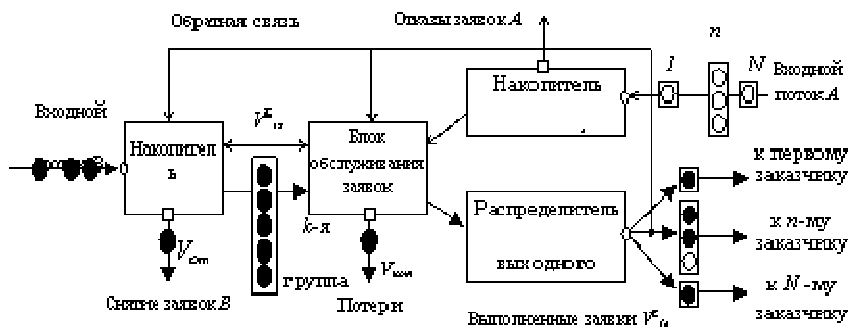


Рис. 2. Модель системы целевой подготовки и переподготовки кадров

поступающими абитуриентами и, в случае необходимости, деление заказа на части для достижения требуемого качества обучения. Он преобразует поток заявок A и B в поток групп, которые поступают на вход в общем случае многоканального (при разнородных группах) многофазного (при длительном и поэтапном рабочем процессе) блока обслуживания. Все заявки B кроме последней подвергаются задержке в очереди, непосредственно связанной не с производительностью каналов обслуживания, а с групповой технологией выполнения заявок.

Оптимизация плана ЦППК заключается в подготовке по требуемой (нередко на стыке специальностей) программе необходимого количества специалистов с минимальными затратами времени и других ресурсов, причем временной фактор ставится заказчиком на первое место. Эта задача будет решена тем полнее, чем меньше будет количество ($V_{iz}^{\Sigma} - V_{ie}^{\Sigma}$) отказов и потерь во время обучения (на рис. 2 в качестве примера показано, что заказ для n -ого заказчика выполнен частично). Они связаны с недостаточным учетом закономерностей этапов жизненного цикла (ЖЦ) проектов ЦППК. Поэтому развитая модель должна быть дополнена описанием поведения источников заявок, в первую очередь – источников заявок B , от которых во многом зависит время формирования групп и выполнения заявок A (планировать последние возможно на основе развития социального партнерства).

4. Модель механизма формирования групп. В отличие от традиционных образовательных систем, число потенциальных абитуриентов в ЦППК ограничено жесткими требованиями к уровню базовой подготовки. Поэтому проблема недобора при формировании целевой группы поставлена сегодня на первое место. Во время приема заявок на обучение часть абитуриентов, уже подавших их, выходит по разным причинам из группы до окончания набора. Опыт организации ЦППК показывает, что при превышении продолжительности приема некоторого интервала времени количество заявок, «покидающих» очередь, превышает количество заявок, «вступающих» в нее, что приводит к падению ее численности ниже минимального допустимого уровня. Речь идет о наборах на «мелкосерийные» образовательные проекты, инициируемые промышленным сектором экономики для оперативного решения кадрового обеспечения производственных программ.

В анализе СМО широко применяют теорию потоков событий, повторяющихся один за другим в случайные моменты времени. В рассматриваемом примере событие – подача заявки на обучение в накопитель B . Теория потоков событий позволяет наиболее просто анализировать СМО с марковскими потоками. Для них развиты аналитические методы оценки основных параметров состояния системы. Важнейшим параметром ЦППК является количество заявок в накопителе B , а это значит, что состояния системы будут дискретными. Дискретные марковские процессы описываются графом состояний

состояний $S_k, k = \overline{1, n}$; k – количество заявок.

Система ЦППК относится к СМО с «нетерпеливыми клиентами», т.е. имеет место поток клиентов, пополняющих очередь, и поток клиентов, покидающих ее. Для таких систем граф состояний, образует цепь (рис. 3), причем каждое состояние связано с соседними прямой связью (характеризует увеличение, «размножение» заявок в очереди с интенсивностью λ_k) и обратной связью (сокращение, «гибель» заявок в очереди с интенсивностью μ_k). Система с процессами «гибели» и «размножения» характеризуется в момент времени t математическим ожиданием $m_s(t)$ состояния очереди (числа заявок в ней). Его аналитическое определение возможно для систем с отсутствием последствия.

подготовке специалистов по аналогичным предыдущим программам. По итогам моделирования строится план реализации ЦППК в соответствии с заявками корпоративных заказчиков – выполняется программирование системы с распределением во времени объемов работ и необходимых для их выполнения ресурсов.

Накопитель заявок B обеспечивает наполнение профильных групп

Примем следующие ограничения: интенсивность потока подаваемых заявок $\lambda(t)$ не зависит от числа заявок в ней, а интенсивность ее сокращения пропорциональна количеству заявок в ней и для k -го состояния равна $\mu_k = k\mu_1$, (μ_1 – интенсивность сокращения очереди, состоящей из одной заявки, $\mu_0 = 0$). Тогда зависимость $m_s(t)$ имеет вид линейного дифференциального уравнения первого порядка:

$$\frac{dm_s(t)}{dt} = \lambda(t) - \mu(t)m_s(t) \quad (1)$$

Для частного случая $\lambda(t) = \lambda$ при $(0 < t \leq T)$, $\lambda(t) = 0$ при $(t > T)$ и $\mu(t) = \mu$, $(t > 0)$, рассмотренного в [2], решение уравнения для интервала времени $0 < t \leq T$ имеет вид

$$m_s(t) = \frac{\lambda}{\mu}(1 - e^{-\mu t}) \quad (2)$$

а при $t > T$ сокращение численности группы будет описываться выражением

$$m_s(t) = m_s(T)e^{-\mu(t-T)} \quad (3)$$

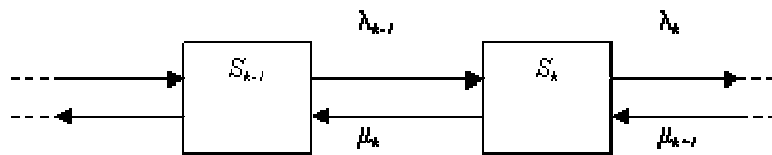


Рис. 3. Фрагмент цепочечного графа

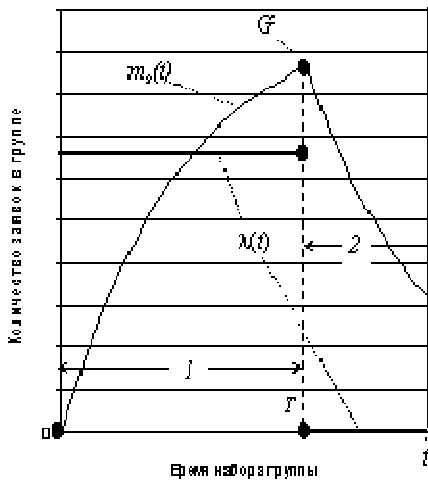


Рис. 4. Зависимость $m_s(t)$

для разрывной функции $\lambda(t)$

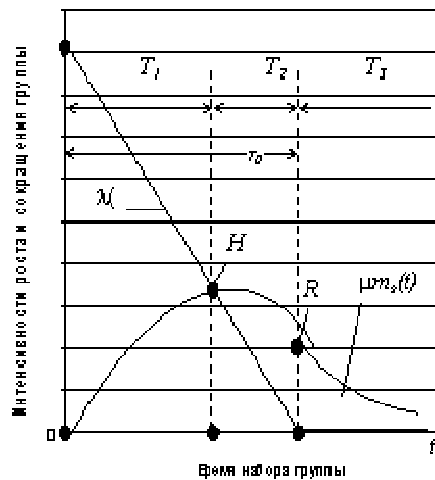


Рис. 5. Связь параметров СМО

для непрерывной $\lambda(t)$

Зависимость $m_s(t)$ на рассмотренных интервалах времени показана на рис. 4, который демонстрирует режим «переключения» характера процесса в точке G (при $t = T$). В реальных случаях при наборе групп таких переключений не наблюдается, и на практике используют аппроксимацию интенсивности подачи заявок в виде убывающей функции [3], например, $\lambda(t) = \lambda_0 - bt$, $0 < t \leq T_0$, $b > 0$ и $\lambda(t) = 0$ при $t > T_0$ (рис.5). Для такой системы отсутствия последствия можно добиться разбиением времени набора группы на три интервала, в пределах каждого из которых процессы описываются графом состояний одного из следующих вариантов: «гибели» и «размножения» с параметрами $\lambda(t) \geq \mu(t)$, «гибели» и «размножения» с параметрами $\mu(t) \geq \lambda(t)$, «чистая гибель» с параметрами $\lambda(t) = 0$, $\mu(t) > 0$.

На рис. 5 зависимость $m_s(t)$ в первом интервале (при $0 < t \leq T_1$) аналогична кривой рис.4 на участке 1, отличаясь скоростью роста, которая становится равной нулю в конце интервала T_1 . В этой точке ($t = T_1$, точка H) выполняется равенство $\lambda(t) = \mu m_s(t)$ и величина $m_s(t)$ максимальна, как это следует из (1).

В интервале T_2 будет происходить обратный процесс – с нарастающей от нуля скоростью начинается падение $m_s(t)$ – интенсивность роста все более уступает интенсивности сокращения. Скорость падения достигает наибольшего значения в конце интервала T_2 (точка R). При $t > T_1 + T_2 = T_0$ накопитель B не пополняется новыми заявками, поэтому в интервале T_3 процесс соответствует варианту «чистой гибели» группы и протекает по закону (3). Идентификация момента времени t_m (на рис. 5 $t_m = T_1$), в котором $m(t_m) = \max$, должна быть выполнена с минимальной погрешностью.

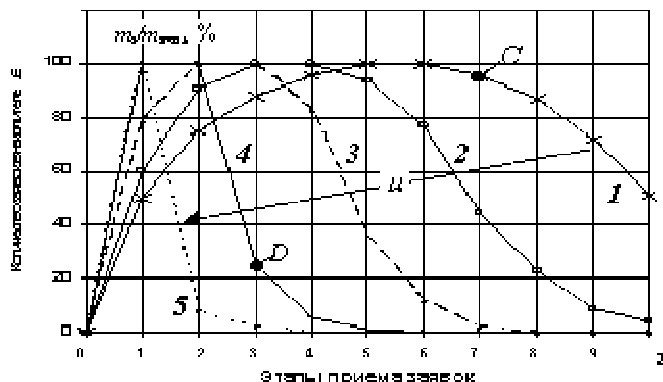


Рис. 6. Нормированные интегральные кривые $m_s(t)$

Решение о продолжении набора или его прекращении принимается руководителем проекта в дискретные моменты времени t_i , соответствующие окончанию определенных стадий приемной кампании - мероприятий «давления» на источники заявок: завершению довузовской подготовки, олимпиад, занятий по профориентации, дней открытых дверей в вузе и на предприятиях-заказчиках и т.п. Поэтому практическое значение имеет оценка процесса формирования группы в дискретные моменты времени. На рис. 6 приведен пример семейства дискретных нормированных зависимостей

$m_s(t) / m_{s \max}(t)$ для различных величин μ (кривая 1 соответствует минимальной величине μ). Для наглядности дискретные отсчеты соединены ломаной огибающей. Здесь по оси абсцисс отложен номер i моментов времени, в которые лицо, принимающее решения (ЛПР) вмешивается в ход формирования групп с альтернативными вариантами действий: прекращение набора и направление группы в учебный процесс или продолжении маркетингового давления. Кривые 1–5 соответствуют различным условиям реализации проектов ЦППС, а именно – различным стадиям ЖЦ данной мультипроектной (тиражируемой) образовательной программы. Каждый ее экземпляр будет

приводить к смещению максимума кривой в область меньших значений i . Перемещение кривой

$m_s(t) / m_{s \max}(t)$ по оси времени и изменение ее формы отражают смену фаз ЖЦ образовательной программы: инициация и зарождение программы – кривая 1, рост, доминирование – графики 2 и 3, насыщение – 4, спад – кривая 5. Ошибка ЛПР в принятии решения о завершении процедуры набора (после зафиксированного падения объема заявок в очереди) приводит в данном примере к уменьшению численности группы менее чем на 5 % для новых проектов (кривая 1, точка C) и более чем на 70 % для фазы насыщения (кривая 4, точка D). Сокращение оптимальной длительности набора группы и резкий рост мобильности ее членов свидетельствуют о возрастании конкуренции и снижении актуальности данной программы. Игнорирование этого факта и продолжение ее тиражирования приведут к прекращению потока заявок и «неожиданной» остановке этого вида деятельности.

Скорость смещения максимумов интегральных кривых характеризует динамику внешней среды – развитие производственных технологий предприятий-заказчиков, отставание качества подготовки от возрастающих требований, изменение предпочтений абитуриентов. Параметр μ является интегральной характеристикой изменчивости внешнего окружения и мобильности поданных заявок. Его величина минимальна для пилотных проектов, обладающих новыми качествами, а также для стабильных рынков образовательных услуг. Она достигает максимума в период снижения актуальности развернутой программы, нарастания противоречия между вызовами экономики и ответами профессионального образования. Действия ЛПР в управлении системой ЦППК, осложняются, а риски ошибок возрастают по мере тиражирования программы. Так в примере на рис. 6 ошибка ЛПР в определении момента завершения набора группы в случае кривых 4 и 5, может привести к потере всего набора и срыву проекта. Фиксируя параметры реализованных ранее экземпляров данной программы, соответствующих

первым этапам ее ЖЦ, ЛПР на основе рассмотренного подхода может более достоверно прогнозировать процесс формирования группы в реализации последующих проектов.

Выводы

Применение рассмотренной модели обеспечит адаптивное управление СГТП в динамичной внешней среде – принятие обоснованных решений о продолжении мультипроектной деятельности или о ее завершении и переходе на новую, более востребованную. В случаях коротких фаз, в течение которых достигается максимум $m_i(t)$, ошибки в принятии решений можно уменьшить за счет повышения гибкости управления на основе повышения частоты анализа ситуации и моментов принятия решений (выполнив принцип необходимого разнообразия Эшби). Модель (рис. 2) является обобщенной схемой замещения как ЦППК, так и традиционного («нецелевого») обучения. Случай последнего адекватно описывается ее вариантом, в котором исключаются блок накопителя заявок A и петля коррекции. Модель показывает, что предпроектный анализ невозможен, а программирование деятельности выполняется без оперативной связи с заказчиками, что свидетельствует о перспективности альтернативы – системы ЦППК.

Предложенный подход на практике показал высокую эффективность управления системой ЦППК в динамичном окружении [4]. Он может быть применен и для других активных систем с групповыми технологическими процессами.

Список литературы

1. Ивлев, М.А. Управление проектами в профессиональном образовании : теория и практика / М.А. Ивлев // Экономика и управление, 2008. – №3. – С. 220–226.
2. Вентцель, Е.С. Прикладные задачи теории вероятностей / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М. : Радио и связь, 1983. – 416 с. : с илл.
3. Корнышев, Ю.Н. Теория телетрафика : учеб. для вузов / Ю.Н. Корнышев, А.П. Пшеничников, А.Д. Харкевич. – М. : Радио и связь, 1996. – 272 с. : с илл.
4. Дубик, Е.А. Метод интегрированных проектов как модель инновационного управления экономическими системами / Е.А. Дубик, М.А. Ивлев, С.В. Климина // Экономика и управление, 2008. – №5.– С. 101–105.

Modeling and Programming of Systems with Group Technological Processes

M.A. Ivlev

Nizhniy Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, N. Novgorod

Key words and phrases: request service system; group technological processes; dynamic stochastic models; staff target training.

Abstract: The paper studies problems of management of socio-economic systems with group technological processes. The appropriateness of their description as the mass service system and the possibility of adaptive control on the basis of stochastic model are shown. The proposed approach is illustrated by the example of the system of staff target training and professional retraining.