

# Применение системной динамики для анализа поведения системы управления обучением



**А. Я. Дворянчиков,**  
аспирант  
alekseydv@gmail.com



**С. Г. Редько,**  
д. т. н., профессор, зав. кафедрой  
Redko@acea.neva.ru

**Кафедра управления проектами, Институт компьютерных наук и технологий,  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого**

*Цель исследования — изучение шаблонов поведения системы обучения в компании. Исследование осуществляется при помощи методов системной динамики. Разработана концептуальная и системно-динамическая модель, отражающая влияние разрыва в компетенциях на качество обслуживания и производительность компании. На основании анализа поведения предложенной модели идентифицированы основные источники нестабильности, связанные с кадровой политикой, планированием и проведением обучения. Предложены подходы, позволяющие обеспечить условия для стабильного роста компании.*

**Ключевые слова:** управление знаниями, управление обучением, системная динамика, диаграмма петель причинных связей, диаграмма потоков и запасов.

## Введение

Конкурентоспособность организации во многом зависит от ее инновационного потенциала. Именно способность успешно реализовывать инновационные проекты определяет настоящее и будущее положение на рынке. Работа над такими проектами невозможна без сотрудников, обладающих определенными компетенциями [1]. Другим важным требованием является обеспечения способности адаптации к изменяющимся внешним и внутренним условиям. Решение этих вопросов тесно связано с управлением обучением, что обуславливает актуальность исследований в этой области.

Большинство процессов, включающих этап принятия управленческих решений, протекают циклично [2]. Такое поведение вызвано, как наличием задержек между поступлением информации и принятием решения, так и задержками между принятием управленческих решений, и их практической реализацией. В социотехнических системах это обстоятельство усугубляется тем, что лицо, принимающее решение, почти всегда не обладает полной информацией о сложившейся ситуации и действует в условиях ограниченной рациональности (англ. Bounded rationality) [3]. Все это часто ведет к принятию неэффективных решений при управлении динамической системой [4].

Для производственных процессов эти проблемы постепенно решаются путем развития и применения концепции бережливого производства, метода канбан (англ. Kanban), а также вертикальной интеграции и управления цепями поставок от производителя до потребителя (англ. Supply chain management), что ведет к увеличению полноты, своевременности и достоверности информации, на базе которой принимаются решения.

Сложнее дело обстоит в сфере управления интеллектуальным и человеческим капиталом. Трудности в измерении и управлении, а также возрастающая роль знаний повлекли формирование направления, получившего название «управление знаниями». Исторически сложились три подхода к управлению знаниями: европейский, японский и американский. Несмотря на существующие между ними различия, можно выделить основные процессы, которые исследователи чаще всего рассматривают в контексте управления знаниями [5]: выявление, создание, хранение, распространение и использование знаний.

Изучение этих процессов и их влияния на показатели деятельности компании затруднено из-за отсутствия возможности эмпирическим путем проверить различные гипотезы. Кроме этого информация о применяемых к управлению знаниями подходах и их эффективности в большинстве успешных компаний



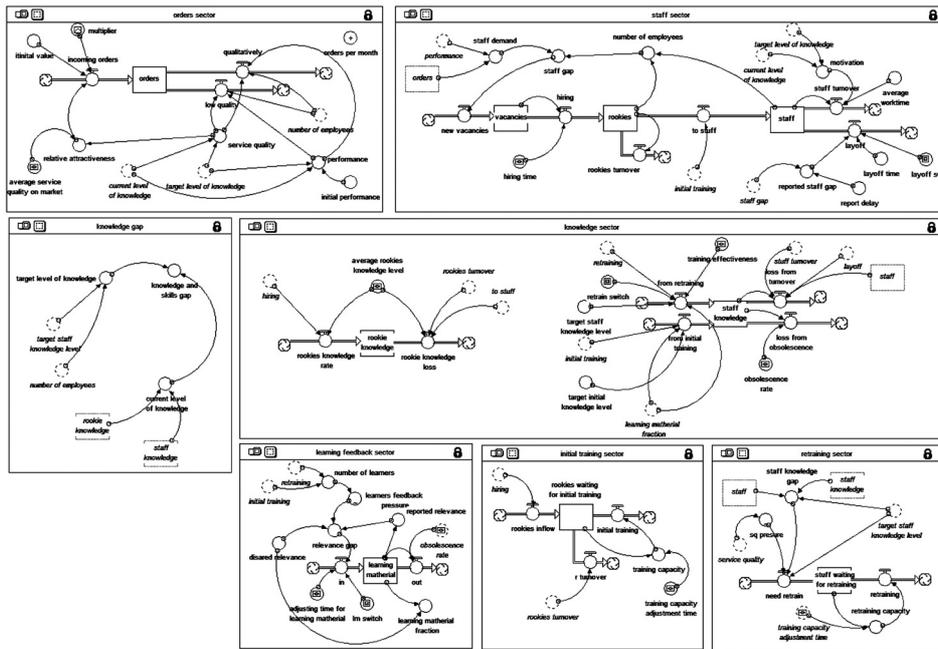


Рис 2. Диаграмма потоков и запасов

паниях, однако применение предлагаемой модели в этом случае требует внесения изменений, связанных с производственным процессом. Другим условием распространения модели на класс производственных предприятий является учет эндогенной составляющей темпов устаревания знаний, зависящей от жизненного цикла товаров, разрабатываемых компанией.

**Системно-динамическая модель системы обучения**

Наличие в предложенной модели большого количества петель обратных связей, а также временных задержек делает актуальным вопрос изучения поведения системы. Для этого необходимо перейти к описанию потоков и накопителей (запасов) системы. С помощью применения современных средств моделирования [13], диаграмма, включающая в себя потоки и запасы системы, а также их взаимосвязи, преобразуется в системно-динамическую модель (рис. 2).

В основе модели системной динамики лежит система дифференциальных уравнений, порядок и линейность которых зависит от структуры описываемой системы и способа описания. Предлагаемую

модель можно условно разбить на несколько простых моделей, описывающих определенные процессы: обработка заказов, управление персоналом, обучение сотрудников.

Процесс обработки заказов представлен на рис. 3. Для упрощения будем считать, что поток заказов задается соответственно с целями моделирования и может быть, как постоянным, так и отражать возрастание или спад спроса. Также поток заявок зависит от относительного качества обслуживания. Так как информация не распространяется в среде потребителей мгновенно — воспринимаемое клиентами качество обслуживания изменяется с задержкой.

Качество обслуживания в компании зависит от уровня компетентности сотрудников. В предлагаемой модели вероятность совершения ошибки сотрудником имеет линейную зависимость от величины разрыва в компетенциях. Тогда поток заказов, выполненных с ошибками, может быть выражен следующим образом:

$$F = (1 - s q) p n,$$

где  $s q$  — отношение уровня компетенций к требуемому уровню;  $p$  — производительность;  $n$  — количество сотрудников.

В большинстве моделей системной динамики для отображения процесса перехода сотрудников из одной категории в другую применяются цепочки старения (англ. Aging chains). При таком подходе считается, что поток сотрудников, переходящих из одной категории в другую определяется выражением:

$$S_{s2} = S_1 / T_{s1},$$

где  $S_1$  — количество сотрудников в первой категории;  $T_{s1}$  — среднее время перехода во вторую категорию.

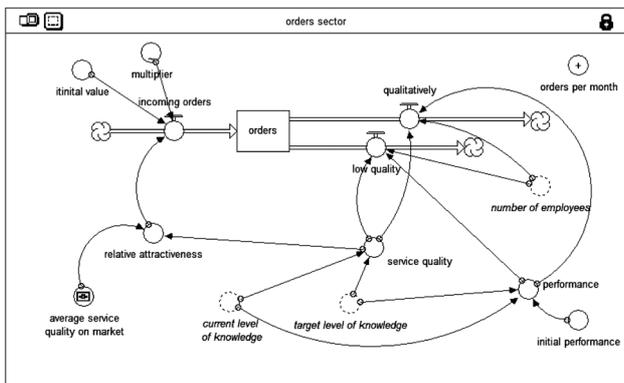


Рис 3. Обработка заказов

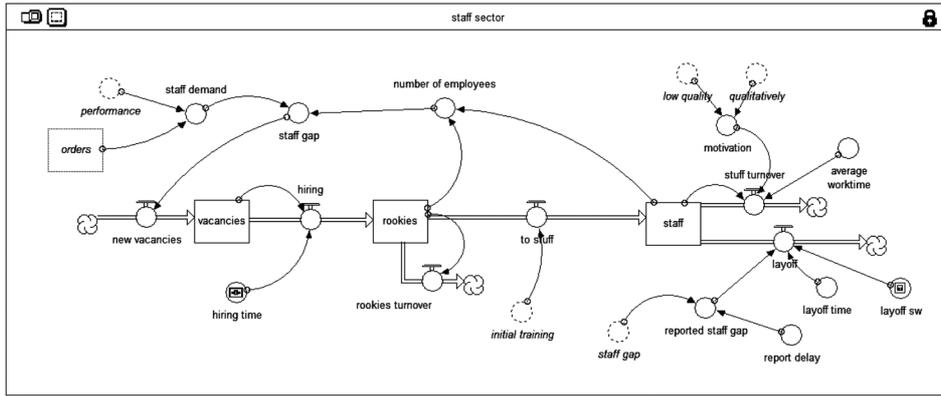


Рис. 4. Динамика стажеров и сотрудников

В предлагаемой модели темп перехода из категории стажеров в категорию сотрудников определяется пропускной способностью вводного обучения. Динамика персонала в модели представлена на рис. 4.

Количество нанимаемых или увольняемых сотрудников определяется на основании данных за прошлый учетный период, что отражает задержку в принятии кадровых решений.

Описание связанных потоков, таких как поток сотрудников и поток уровня их знаний возможно с помощью применения со-потоков (англ. co-flow) [2, 14].

В системе обучения персонала присутствуют переменные, прямое измерение значения которых затруднено: уровень знаний, мотивации и т. п. Для включения их в модель применяются так называемые мягкие переменные [15]. Значение таких переменных отражает влияние признаков, для которых сложно получить точную количественную оценку. Для примера, нулевое значение показателя уровня знаний означает отсутствие необходимых знаний, а 100 — полное соответствие уровня знаний должностным обязанностям. Потоки и запасы знаний представлены на рис. 5.

Общий уровень знаний определяется суммой значений двух запасов: знаний стажеров до окончания вводного обучения и знаний сотрудников. Первый

запас зависит от уровня принимаемых на работу сотрудников. Запас знаний сотрудников определяется потоками, отражающими устаревание знаний, переподготовку сотрудников, а также изменения, связанные с кадровой политикой. Часть модели, отображающая процессы обучения в компании, представлена на рис. 6.

В модели отражено разделение обучения на входное и переподготовку, а также сделано допущение о том, что пропускная способность систем обучения изменяется согласно ретроспективным данным о востребованности обучения. Такой подход позволяет учесть реальную задержку, возникающую при планировании обучения. Выявление потребности в обучении происходит через оценку разрыва в компетенциях, вызванную анализом изменений показателя качества обслуживания:

$$N = ((d-c)/t) f(s),$$

где  $d$  — требуемое состояние запаса знаний сотрудников;  $c$  — текущее состояние запаса знаний;  $t$  — требуемый уровень знаний;  $f(s)$  — функция, выражающая зависимость доли выявления потребности в обучении от оценки качества обслуживания.

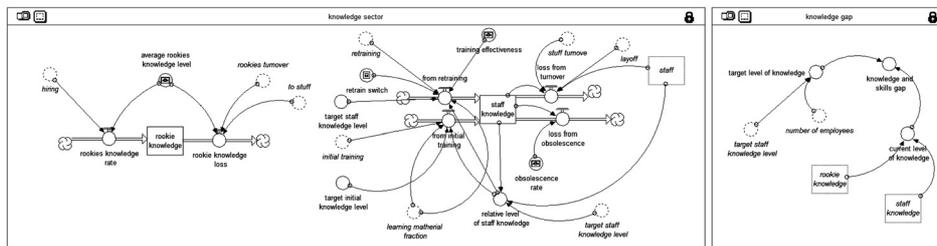


Рис. 5. Динамика знаний стажеров и сотрудников

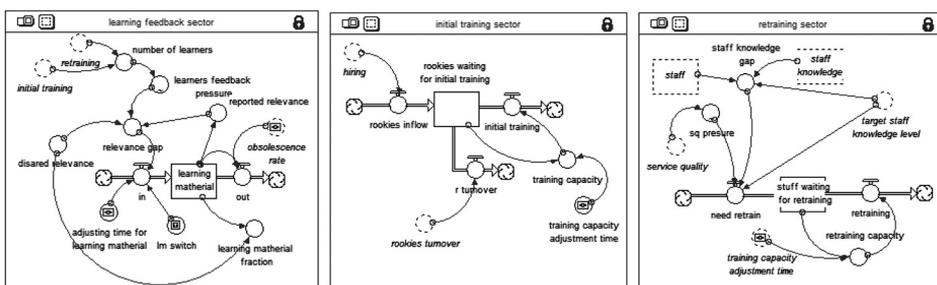


Рис. 6. Процесс обучения

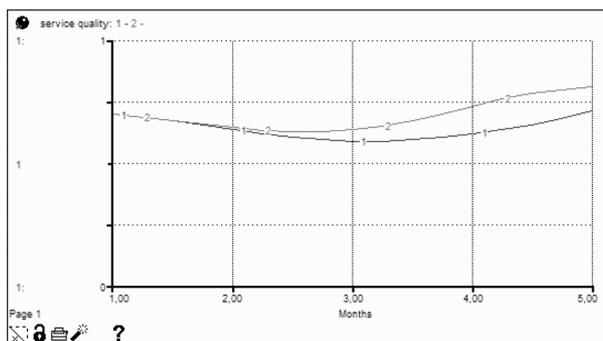


Рис. 7. Запуск модели в условиях низко конкурентного рынка и возрастающего спроса 1 и в условиях стабильного потока заказов 2

Корректировка учебных материалов происходит за счет полученной обратной связи от обучающихся. Точность оценки зависит от количества слушателей, предоставивших обратную связь. В реальной системе для принятия решений на основе результатов опросов сотрудников необходимо применение методов математической статистики, позволяющих определить согласованность и достоверность полученных результатов.

### Верификация модели

Проверка адекватности модели является одним из важнейших этапов моделирования. В широком смысле все модели неточны, так как являются упрощенным представлением исследуемого объекта и отражают точку зрения автора модели на происходящие процессы. Тем не менее существует ряд подходов, позволяющих до определенной степени проверить достоверность модели. Для проверки предлагаемой модели использовались следующие формальные процедуры [2]:

- 1) поведение модели не должно сильно зависеть от выбора шага интегрирования;
- 2) в модели не должны присутствовать переменные, размерность которых не имеет значения в реальности;
- 3) модель не должна показывать аномальное поведение при резком изменении ее параметров.

Кроме прохождения формальных проверок подтверждением адекватности модели может служить воспроизведение известных шаблонов поведения реальной системы. Предложенная модель отражает тенденцию к снижению качества обслуживания во

время роста компании, вызванное наймом большого числа новых сотрудников (рис. 7).

Падение качества обслуживания в первом случае обусловлено потребностью найма большого количества новых сотрудников с целью удовлетворения возрастающего спроса.

Другой подход к верификации заключается в постановке эксперимента в вырожденном случае, когда модель демонстрирует ожидаемое поведение. На рис. 8 представлено сравнение результатов запуска модели при условии одинакового уровня знаний у нанимаемых и уже работающих сотрудников 1 и найма сотрудников с отсутствием необходимых знаний 2. В первом случае, как и ожидалось, не наблюдается каких-либо проблем с качеством обслуживания из-за возможности постоянного найма высококвалифицированных кадров и отсутствия необходимости в их последующем обучении. Во втором случае наблюдаются существенные колебания качества обслуживания, зависящего от него потока заказов и, следовательно, численности персонала.

### Обсуждение результатов

Построенная модель позволяет изучать поведение системы обучения при различных сценариях изменения внутренних и внешних факторов, таких как скачкообразное изменение требований к знаниям сотрудников, вызванное появлением и распространением инновационной технологии, рост спроса на продукцию или недостаток квалифицированных сотрудников.

На рис. 9 представлены результаты моделирования поведения системы при различных уровнях знаний нанимаемых сотрудников.

В обоих случаях наблюдаются колебания, природа которых объясняется наличием в системе балансирующей петле обратной связи. Высокий порядок обратной связи делает возможным проявление как незатухающих осцилляций, так и возможность проявления экспоненциального роста или спада.

При анализе поведения модели видно, как кадровая политика и процессы обучения могут стать источником нестабильности в компании. Неизбежные временные задержки между принятием решения о реализации программы обучения и эффектом, который эта программа окажет, порождают колебания показателя качества обслуживания, производительности и, как следствие, штата сотрудников. При этом с увеличением задержки амплитуда колебаний увеличивается.

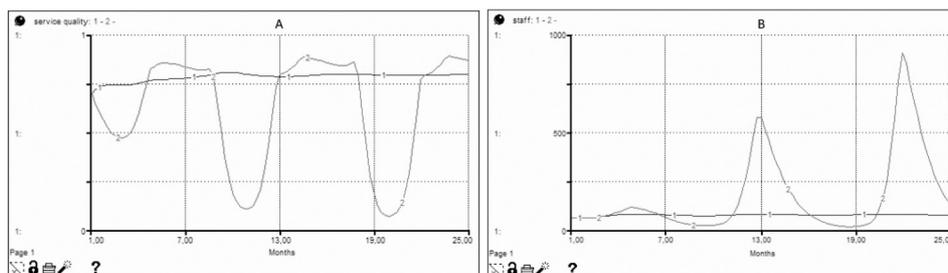


Рис. 8. Динамика качества обслуживания A и персонала B в условиях найма сотрудников, обладающих 1 и не обладающих 2 требуемыми знаниями

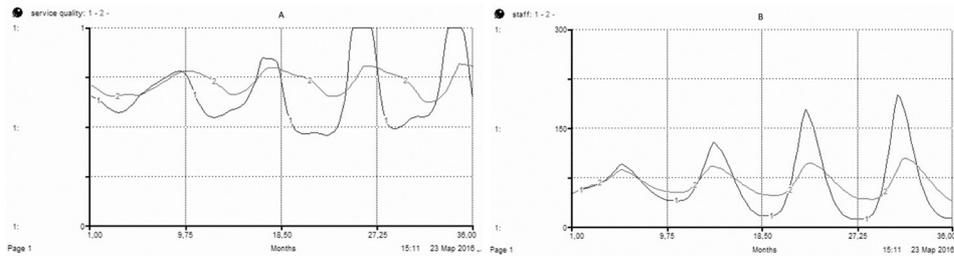


Рис. 9. Динамика качества обслуживания *A* и персонала *B* при условии найма сотрудников с высоким 1 и низким 2 уровнем знаний

Со стороны рынка изменяющееся качество обслуживания влечет изменения в потоке заказов, которые также влияют на количество сотрудников компании. На пятилетнем временном горизонте заметно, что в определенных условиях амплитуда колебаний увеличивается настолько, что это, скорее всего, приведет к уходу компании с рынка.

На характер колебаний большое влияние оказывает величина временных задержек в системе обучения, своевременность выявления потребности в обучении, подготовка учебных материалов и уровень компетенций нанимаемых сотрудников.

### Заключение

В современных условиях конкурентоспособность организации в большой степени зависит от инновационного потенциала и возможности быстро реагировать на меняющиеся внешние и внутренние условия. Инновационный потенциал обеспечивает способность к созданию и выводу на рынок инновационных технологий, продуктов и услуг, а возможность организации адаптироваться (обучаться) позволяет обеспечить адекватную реакцию на их появление. Система управления обучением позволяет подготовить кадровые ресурсы для осуществления инновационной деятельности и обеспечить создание благоприятной среды для восприятия инноваций.

В статье предложена модель системной динамики, позволяющая исследовать влияние процессов обучения на показатели деятельности компании. Идентифицированы проблемы, связанные с ростом компании и устареванием знаний, предложены подходы к их решению. Применение модели на практике для решения задач в области планирования корпоративного обучения будет возможно после уточнения ряда параметров модели, определяющих скорость устаревания знаний, поток заказов, эффективность обучения, время найма сотрудников и подготовки учебных программ. Для каждой компании эти значения будут уникальны. На основе анализа поведения модели можно сделать вывод о допустимых значениях задержек в обучении и переподготовке и в соответствии с этой информацией планировать кадровые решения. Из-за текущей ситуации кадров, задержек в процессе обучения и устаревания информации неизбежен разрыв в компетенциях. Отслеживание этого разрыва и мероприятия, направленные на его уменьшение, позволяют сгладить негативные последствия для организации.

На уровне организации необходима идентификация ключевых показателей эффективности и формирование методики автоматизации планирования обучения.

На отраслевом уровне требуется выработка механизмов обратной связи, позволяющих корректировать образовательные стандарты в соответствии с меняющимися требованиями рынка, что позволит сокращать разрыв в компетенциях за счет найма более подготовленных сотрудников. В настоящее время эта задача решается путем формирования и обновления портфеля профессиональных стандартов [16], поддержки непрерывного образования [17] и формирования национальной системы квалификаций [18], устанавливающей соответствие между стандартами образования и потребностями рынка труда. В связи с этим актуальным становится задача разработки и исследования моделей системной динамики более высокого уровня абстракции, позволяющих прогнозировать потребность в обучении не только на уровне предприятия, но и в отраслевом масштабе.

### Список использованных источников

1. А. И. Рудской, И. Л. Туккель. Инноватика: вопросы теории и кадрового обеспечения инновационной деятельности // *Инновации*, № 11, 2015. С. 3-11.
2. J. D. Sterman. *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World* Boston, MA: Irwin McGraw-Hill, 2000. P. 983.
3. Г. Саймон. Рациональность как процесс и продукт мышления // *THESIS*, Вып. 3. 1993.
4. Д. Ю. Каталевский. *Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении: учебное пособие*. М.: Издательство Московского университета, 2011. – 304 с.
5. L. S. Ling. Defining Knowledge Management (KM) Activities from Information Communication Technologies (ICTs) Perspective // *Journal of Organizational Knowledge Management*, 2011. – 10 p.
6. K. E. Sveiby, K. Linard, L. Dvorsky. Building a Knowledge-Based Strategy: A System Dynamics Model for Allocating Value-Adding Capacity. 2002. [http://www.sveiby.com/articles/measuring\\_intangibles.html](http://www.sveiby.com/articles/measuring_intangibles.html).
7. P. Sang-hyun, Y. Seung-jun, K. Dong-ho, K. Sang-wook. Building A System Dynamics Model for Strategic Knowledge Management in IT Company. 21th International Conference of the System Dynamics Society, 2003.
8. Wibowo, M. Agung, R. Waluyo. A System Dynamics Modeling for Knowledge Management Culture and Performance (KMCP) Case Study in Indonesia Costruction Company, CIB World Building Congress, 5-9 May 2013, Brisbane, Australia, 2013. P. 1-11.
9. E. Rich, P. Duchessi. Models for Understanding the Dynamics of Organizational Knowledge in Consulting Firms // *Hawai'i International Conference on System Sciences (HICSS-34)*, Maui, Hawaii, 2001. – 10 p.

10. M. Uriona-Maldonado, G. Varvakis. Analyzing Training Programs from a KM perspective: A System Dynamics model, 29th International Conference of the System Dynamics Society, 2011.
11. I. Aburawi, K. Hafeez. Managing dynamics of human resource and knowledge management in organizations through system dynamics modeling//International Journal of Sciences and Techniques of Automatic Control and Engineering, 3 (2), 1108-1125, 2009.
12. А. Я. Дворянчиков, С. Г. Редько. Применение системной динамики для описания системы управления знаниями//Иновацион, № 11, 2015. С. 97-101.
13. Ю. А. Кузнецов, В. И. Перова. Применение пакетов имитационного моделирования для анализа математических моделей экономических систем. Н. Новгород: ННГУ, 2007. – 99 с.
14. L. Ralph, X. Hoa. Coflow Structures: Some Problems and Solutions In Representing Psychological Characteristics and Processes, 18th International Conference of the System Dynamics Society, 2000.
15. N. Eftekhar, D. R. Strong. Towards Dynamic Modeling of a Teaching//Learning Process Part 3: The Simulation Model. Int. J. Engng Ed. Vol. 15, No. 3, 1999. P. 168-190.
16. Федеральный закон от 2 мая 2015 г. № 122-ФЗ «О внесении изменений в Трудовой кодекс Российской Федерации и статьи 11 и 73 Федерального закона «Об образовании в Российской Федерации». [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_178864](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_178864).
17. Проект Федерального закона «Об оценке профессиональной квалификации на соответствие профессиональным стандартам и внесении изменений в Трудовой кодекс Российской Федерации». [http://static.consultant.ru/obj/file/doc/pr\\_fz080615.rtf](http://static.consultant.ru/obj/file/doc/pr_fz080615.rtf).
18. Н. Ю. Посталюк. Механизмы трансляции квалификационных требований рынка труда в программы профессионального образования и обучения//Профессиональное образование в России и за рубежом. № 3 (15). 2014. С. 37-40.

#### **Applying simulation modeling for analysis of behavior of learning management system**

**A. Ya. Dvoryanchikov**, postgraduate student.

**S. G. Redko**, DSc, professor, Department Chairman.

(Department of Project Management, Institute of Computer Science and Technology, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

The main goal of this research is to study behavioral patterns of learning management system using methods of system dynamic. A system dynamic model has been developed to evaluate the impact of knowledge gap on quality of service and company's performance. Based on analysis of behavior of proposed model were identified the main sources of instability associated with human resource policies, planning and performing of education. Approaches to provide conditions for stable company growth are proposed.

**Keywords:** knowledge management, learning management, system dynamic, casual-loop diagram, stock and flow diagram.

---

#### **Объявлены конкурсы в рамках ФЦПР 2014-2020**

Министерство образования и науки Российской Федерации объявило конкурсы отбора проектов, направленных на проведение прикладных научных исследований и получение результатов, необходимых для реализации приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации, определенных Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации, обеспечивающих:

- а) переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, к новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта;
- б) переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, формирование новых источников энергии; создания новых способов транспортировки и хранения энергии;
- в) переход к персонализированной медицине, к высокотехнологичному здравоохранению, к технологиям здоровьесбережения, в том числе за счет рационального применения лекарственных препаратов (прежде всего антибактериальных);
- г) переход к высокопродуктивному и экологически чистому агро- и аквахозяйству, разработку и внедрение систем рационального применения средств химической и биологической защиты сельскохозяйственных растений и животных, хранение и эффективную переработку сельскохозяйственной продукции, создание безопасных и качественных, в том числе функциональных, продуктов питания;
- д) противодействие техногенным, биогенным, социокультурным угрозам, терроризму и идеологическому экстремизму, киберугрозам и иным источникам опасности для общества, экономики и государства;
- е) связанность территории Российской Федерации за счет создания интеллектуальных транспортных и телекоммуникационных систем, а также занятия и удержания лидерских позиций в создании международных транспортно-логистических систем, освоении и использовании космического и воздушного пространства, Мирового океана, Арктики и Антарктики; ж) возможность эффективного ответа российского общества на большие вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий, социальных институтов на современном этапе глобального развития, в том числе применяя методы гуманитарных и социальных наук.

Конкурсы проводятся в рамках реализации мероприятий:

- 1.2. Проведение прикладных научных исследований для развития отраслей экономики.
- 1.3. Проведение прикладных научных исследований и разработок, направленных на создание продукции и технологий

федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 гг.» Источники поддержки Федеральная Целевая Программа «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 гг.

Источник: <https://xpri.ru/news/Obyavleni-konkursi-v-ramkah-FCPIR-2014-2020>