

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОРОДСКОЙ СИСТЕМЫ С УЧЁТОМ ВЛИЯНИЯ НА НЕЁ МИГРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ**

**И.В. Хмелева**

В работе предлагается модель динамики численности населения, разработанная методами системной динамики, учитывающая миграционные процессы города Бишкек. Подсистема «Население» рассмотрена во взаимосвязи с экономической и социальной системами города. Определены факторы, влияющие на поток мигрантов, и проведены модельные эксперименты. Приводятся результаты анализа программы правительства в области энергетики с учётом социально-экономических условий Кыргызской Республики, которые могут рассматриваться как помощь в принятии управленческих решений, имеющих вполне определённую перспективу.

### **Введение**

Трудность исследований в области миграций заключается в том, что в настоящее время значительная часть усилий затрачивается на обеспечение институционального и политического контекста проблемы (проблемы беженцев и международная миграция), на сбор и описание данных о мигрантах. Литературы по теории факторов и последствий миграции мало, поэтому отсутствуют не только концептуальные основы миграционной политики, но и сама политика.

Прогнозирование миграций — это сложная задача, а особенно в условиях постоянно изменяющейся социально-экономической ситуации. Самая непосредственная зависимость миграции от экономических, политических, социальных факторов предполагает, что в основу прогноза миграции следует положить сценарий возможного развития в будущем указанных факторов. Однако сегодня не существует определённого сценария социально-экономического развития многих стран, на основе которого можно разрабатывать более или менее надёжные перспективные оценки миграции. Учёт нежелательных тенденций, выявленных при прогнозировании, позволяет принять необходимые меры для их предупреждения, а тем самым помешать осуществлению прогноза.

В работе будет рассмотрено влияние миграционных процессов на численность населения и, как следствие, изменения численности населения, обеспечение населения услугами ЖКХ, и, в частности, электричеством. Такой выбор

объясняется тем, что последнее время в республике имеются проблемы с поставкой населению электричества. В работе будет определена зависимость сбоев поставок услуги населению и тарифной политикой в этой области и оценены меры проводимые правительством по ликвидации сбоев.

## 1. Исследование предметной области

Производителем и потребителем производственных благ является население. Только население имеет бесспорную количественную оценку. Поэтому численность населения является тем критерием, который можно взять как базовый при рассмотрении социальной системы города. Экономистами, демографами и социологами построен ряд моделей для оценки количества населения, в которых применялись различные подходы к оценке его численности и выбирались различные факторы, влияющие на численность населения. Так, например, простейший способ получения прогноза изменения численности населения состоит в экстраполяции текущих тенденций. К таким подходам относится экспоненциальная модель, или модель роста даже более быстрого, чем экспоненциальный, как при сценарии «конца света» [3].

Некоторые более сложные подходы учитывают возможные изменения демографических показателей (рождаемости, смертности и миграции), но исходят из того, что эти процессы определяются внешними воздействиями, например такими, как изменения климата, эпидемии и экономические показатели. К таким моделям относится неоклассическая модель роста Солоу [4]. В ней показана зависимость роста численности населения от технологического прогресса. Но рассмотрение населения как системы, как единого целостного объекта, который достаточно характеризовать числом людей в данный момент, в демографии отрицалась. Численность населения определялась как доля численности отдельных регионов в общей численности в стране. Такие данные не представляли научного интереса, поскольку были не всегда достоверными. После того как в мире поднялась проблема «перенаселения мира» (первые статьи появились в «Римском клубе»), применение только статистических методов к вычислению численности населения потеряло своё первенство. Первую модель <мирового населения> построил Д. Форрестер. Модель была построена на принципах системной динамики и показывала изменение численности населения в зависимости от различных внешних факторов во времени.

Позднее модель Форрестера была дополнена новыми влияющими факторами. М. Кремер и А.В. Подлазов доказали существование демографического перехода [5]. А.В. Подлазов уточнил ее концепцией технического взаимодействия [6], С.А. Махов обосновал механизм распространения технологий [7], то есть на модели он показал, что все механизмы развития одного общества «копируются» на другие общества. Принимая во внимание все исследования в этой области, на модели Форрестера было решено разработать модель для исследования численности населения города, но учесть в ней миграционную составляющую. В моделях численности населения такая миграционная составляющая вводится как сальдо миграции, в нашей же модели выделяются при-

бытие и выбытие населения, что позволяет определить факторы, влияющие на миграционное движение.

## 2. Моделирование

Для выявления факторов, влияющих на систему, было решено применить методологию системного анализа [8], предполагающую рассматривать городскую систему как социум, развивающийся под влиянием внешних и внутренних экономических и политических факторов. Методология системной динамики базируется на предположении, что поведение системы определяется главным образом её информационно-логической структурой, которая отражает не только физические и экономические аспекты происходящих процессов, но и, что гораздо важнее, политику и традиции, которые определяют процесс принятия решений в управлении территорией.

В работе система рассматривается как совокупность элементов, находящихся в определённых отношениях друг с другом и со средой. Такое определение подчёркивает связи между подсистемами [9].

Математической основой методов системной динамики являются дифференциальные модели, в которых используются представления динамических процессов в пространстве состояний. Модели такого вида — это системы дифференциальных уравнений [10]:

$$X' = f(x, u, t) \text{ где}$$

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T \text{ — вектор состояний;}$$

$$x_1, x_2, \dots, x_m \text{ — переменные состояния;}$$

$$u = (u_1, u_2, \dots, u_m)^T \text{ — вектор входов;}$$

$$t \text{ — время.}$$

Эти уравнения называются уравнениями состояния. Кроме них в модели включают уравнения вида:

$$y = H(x, u), \text{ где}$$

$$y = (y_1, y_2, \dots, y_p)^T \text{ — вектор выходов моделируемых процессов.}$$

В рассматриваемой системе выделены следующие подсистемы: население, производство, бюджет, жилищное хозяйство. Если обозначить:  $P$  — численный состав населения,  $F$  — бюджет,  $E$  — производство,  $G$  — ЖКХ, тогда имеют место следующие дифференциальные уравнения, описывающие динамику поведения разрабатываемой системы:

$$\frac{dP}{dt} = P(B) - P(D) + P(M_-) + P(M_+), \quad (1)$$

$$\frac{dF}{dt} = F_+ - F_-, \quad (2)$$

$$\frac{dG}{dt} = G_+ - G_-, \quad (3)$$

$$\frac{dE}{dt} = E_+ - E_-, \quad (4)$$

В модель Форрестера была добавлена подсистема ЖКХ, ограничений на строительство нового жилья нет (поскольку новый генеральный план городской территории не был принят на момент разработки системы), добавлены новые влияющие факторы на количество мигрантов. Подсистема «Население» была описана стандартным законом численности населения [4], причём миграционные потоки рассматривались отдельно, как было отмечено выше.

Разработка динамической модели системы была проведена в среде PowerSim [11]. Это средство позволяет моделировать системы с обратной связью на основании причинно-следственных отношений между компонентами системы. При разработке модели системы были выявлены причинно-следственные отношения между подсистемами, определены факторы, которые учтены в процессе моделирования. Например, в качестве положительных факторов, влияющих на увеличение численности населения, учтены следующие: наличие жилой площади в городе и возможность индивидуального строительства, экономическое состояние семьи. В качестве отрицательных факторов определены уровень налогов и уровень коммунальных платежей из бюджета семьи. На рисунке 1 приводится потоковая диаграмма подсистемы «Население», разработанная в среде PowerSim [11].

На диаграмме введены переменные, учитывающие перечисленные факторы, например FH-переменная, определяющая привлекательность территории наличием жилой площади. При этом пограничным условием свободной площади являются нормы жилой площади на душу населения, определённые стандартами и санитарными нормами КР. Рост экономического состояния показан на диаграмме как отношение коммунальных платежей к уровню дохода семьи (переменная SWB). Затраты на поставку электроэнергии населению — RMCE и реально оплаченные услуги населением — RPE. При моделировании учтены факторы, влияющие на оплату населением услуг, и расчётные показатели для обеспечения населения необходимыми услугами согласно Конституции и нормам потребления электроэнергии на душу населения.

### 3. Модельный эксперимент

На компьютерной имитационной модели был проведён ряд экспериментов. Первый эксперимент должен был ответить на вопрос, как миграция населения влияет на уровень неплатежей населения за услуги поставщика электроэнергии. Входные данные для двух экспериментов приведены в таблицах 1 и 2, а на рисунках 2 и 3 показаны результаты моделирования.

Для первой стратегии была обыграна ситуация улучшения экономического благосостояния населения и небольшое увеличение тарифа на электроэнергию. Как видно из графика, сокращение разрыва между затратами на поставку

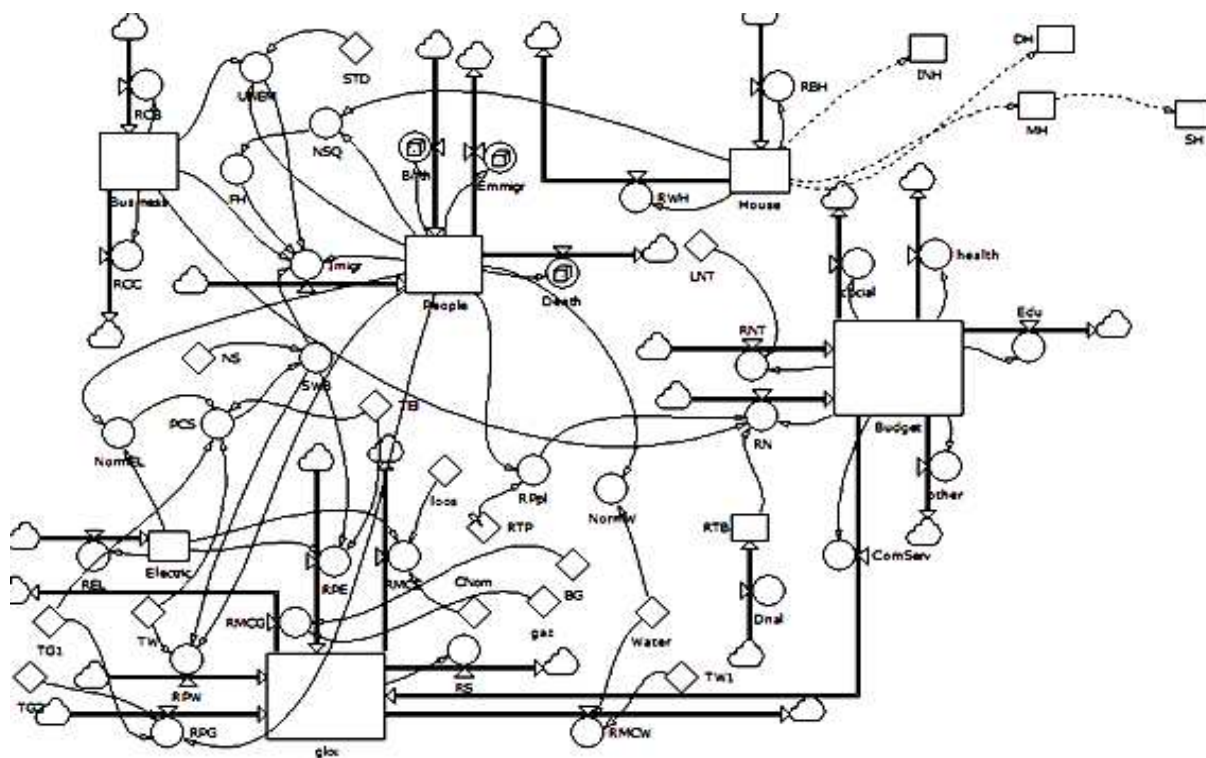


Рис. 1. Потоквая диаграмма системы

Таблица 1. Входные данные эксперимента 1

Время	2000	2005	2010	2015
Тариф за электричество (сом/КВт/ч)	0,6	0,93	1	1
Среднедушевой доход (сом/чел)	1900	3000	4000	9000
Себестоимость 1 КВт/ч	0,5	0,5	0,5	0,3

Таблица 2. Входные данные эксперимента 2

Время	2000	2005	2010	2015
Тариф за электричество (сом/КВт/ч)	0,9	0,9	0,9	0,9
Среднедушевой доход (сом/чел)	3000	5000	6000	7000
Себестоимость 1 КВт/ч	0,5	0,5	0,4	0,3

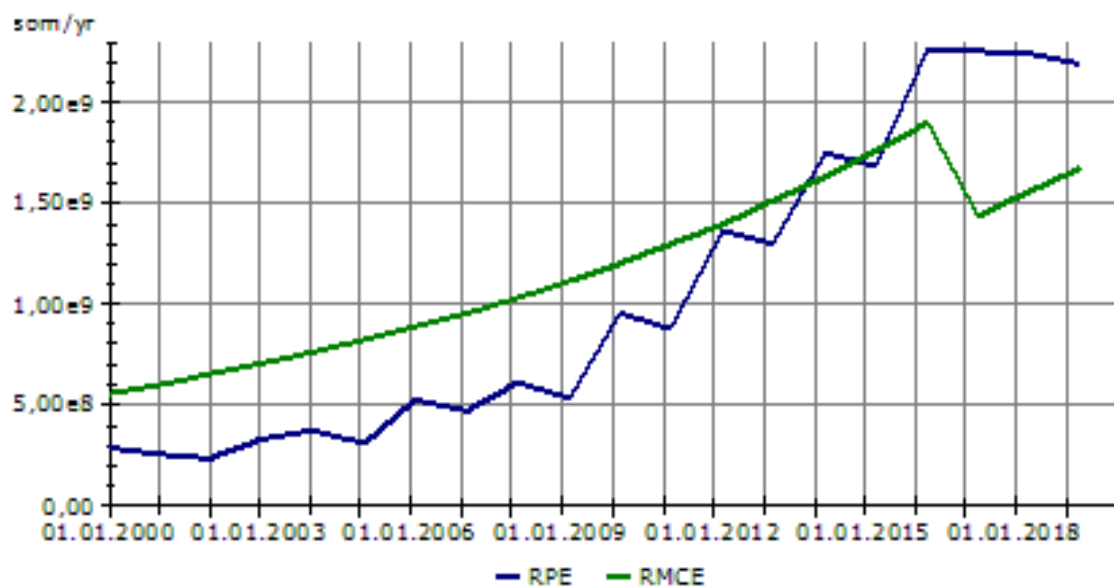


Рис. 2. Результаты эксперимента 1

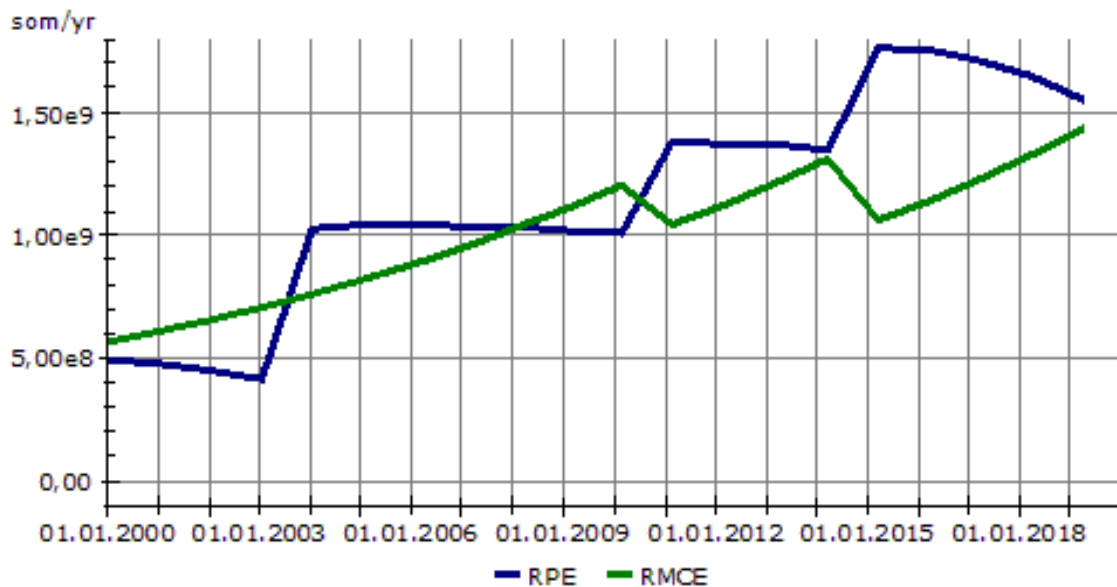


Рис. 3. Результаты эксперимента 2

услуги и её оплатой населением в моменты увеличения доходов населения сокращаются, а затем вновь падают. Улучшение благосостояния населения делает город привлекательной территорией для мигрантов, как следствие этого, увеличивается численность населения города, а значит, растёт потребление электроэнергии и затраты на её производство и поставку. Таким образом, получается замкнутый круг. Попытка выйти из него сделана в уменьшении себестоимости продукции, что даёт некоторый эффект и даже покрывает расходы на поставку электроэнергии. Поскольку повышение среднедушевого дохода не приносит реальных результатов в оплате услуги, равно как и увеличение тарифов, то в следующем эксперименте была рассмотрена стратегия по повышению среднедушевого дохода и уменьшению себестоимости услуги.

Как видно из графика 3, понижение себестоимости электроэнергии даёт более ощутимый результат при покрытии расходов на поставку услуги. Даже при небольшом повышении среднедушевого дохода, что более соответствует реальности, с одной стороны, и сохранении тарифов, что пытается сделать правительство, с другой стороны, единственным вариантом для погашения затрат остаётся понижение себестоимости электроэнергии. Таким образом, последняя стратегия оказалась наиболее предпочтительной, и по ней можно сформулировать цели для дальнейших путей развития как отрасли энергетики, так и задач правительства по улучшению экономического состояния региона и социального положения населения. По результатам моделирования можно сделать, например, следующий вывод: постоянное увеличение численности населения требует увеличение поставок услуг ЖКХ, но отрасли ЖКХ не справляются с потребностями населения, что ведёт к сбоям в поставке услуг. Рост численности населения не приводит к покрытию затрат за предоставленные услуги. Для решения этой проблемы можно увеличить тарифы для населения или провести обновление материально-технической базы отрасли. Энергетика как отрасль требует технического обновления, что приведёт к снижению себестоимости электроэнергии и снизит потери при её транспортировке, а средств, полученных от населения, будет достаточно для покрытия затрат на поставку. Даже при сохранении текущих тарифов и небольшом увеличении среднедушевого дохода эта мера вполне окупится. Возможно, обновление отрасли энергетики экономически более выгодно для государства, нежели выделение больших субсидий для увеличения среднедушевого дохода или кредитование.

## **Заключение**

Разработанная имитационная модель города как сложной социально-экономической системы позволяет учитывать разнообразные влияющие факторы и проводить соответствующие эксперименты, которые могли бы оказаться фатальными или вообще невозможными в реальности. Методы системного анализа и реализация модели в CASE-средствах системной динамики обеспечивают полноту, гибкость и оперативность модельного эксперимента, результаты которого могут быть рекомендованы как основа для принятия управленческих решений различного уровня, включая и правительственный. Практическое при-

менение модели позволяет рассмотреть различные стратегии поведения такой социальной системы, как город, и позволит муниципальным органам оперативно реагировать на нестандартные ситуации, экономнее планировать бюджет города, находить дополнительные средства на развитие социальной сферы города в любом направлении: жилищном, культурном, образовательном, коммунальном и т.д.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Шеннон Р. Имитационное моделирование — искусство и наука. М. : Мир, 1978.
2. Форрестер Дж. Динамика развития города. М. : Прогресс, 1974.
3. Форрестер Дж. Мировая динамика. М. : Наука, 1978.
4. Шараев Ю.В. Теория экономического роста. Учеб.пособие для вузов. М. : Изд. дом ГУ ВШЭ, 2006. 254с.
5. Капица С.П. Математическая модель роста населения мира. Математическое моделирование 4/6: 65-79. 1992.
6. Подлазов А.В. Основное уравнение теоретической демографии и модель глобального демографического перехода. Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, №88. 2001.
7. Махов С.А. Математическое моделирование мировой динамики и устойчивого развития на примере модели Форрестера. Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, №80. 2005.
8. Емельянов А.А., Власова Е.А. Имитационное моделирование в экономических информационных системах. М. : МЭСИ, 1996.
9. Гуц А.К., Коробицын В.В. Социальные системы. Формализация и компьютерное моделирование : Учебное пособие. Омск : ОмГУ 2000.
10. Лычкина Н.Н. Имитационное моделирование экономических процессов. Учебное пособие. М. : ГУУ, 2005. 163 с.
11. Сидоренко В.Н. Системно-динамическое моделирование в среде POWERSIM М. : МАКС-ПРЕСС, 2001.