

На сегодняшний день студенты архитектурного факультета АГАСУ начиная с 3 курса уже подготовлены к первому этапу применения BIM-технологий – созданию концептуальной модели, а затем и архитектурной 3D-модели (рис. 3). Студентам смежных специальностей, которые пока работают только с 2D-чертежами AutoCAD, пора переходить на 3D-программы ArchiCAD или Revit.

Базой для подготовки специалистов по внедрению BIM-технологий являются отрасле-

вые вузы или факультеты технических университетов. Они должны стать центрами подготовки инженеров, переподготовки и повышения квалификации специалистов. Для ускорения этих процессов можно на базе заинтересованных учебных заведений создать центры информационно-строительного инжиниринга, в которых сконцентрировать все усилия заинтересованных сторон. Опыт моделирования в таких центрах можно затем широко распространять [6].

#### Список литературы

1. Михаил Мень встретился с молодыми архитекторами, урбанистами и дизайнерами. URL: [www.minstroyrf.ru/press/mikhail-men-vstretilsya-s-molodymi-arkhitektoarami-urbanistami-i-dizaynerami/](http://www.minstroyrf.ru/press/mikhail-men-vstretilsya-s-molodymi-arkhitektoarami-urbanistami-i-dizaynerami/)
2. Талапов В. Внедрение BIM: впечатляющий опыт Сингапура. URL: <http://ardexpert.ru/article/5160>
3. Open Standards – the basics. URL: <http://buildingsmart.org/standards/technical-vision/open-standards-101/>
4. Высоцкий А. Заметки о Revit и том, что с ним связано. URL: [www.avisotskiy.com](http://www.avisotskiy.com)
5. Pilot-ICE – система для управления проектированием, обеспечения удобного и надежного хранения данных, коллективной работы с САПР. URL: <http://pilotems.com/ru/products/pilot-ice/>
6. Ануфриев Д. П., Петрова И. Ю., Шикунская О. М. Внедрение инструментов BIM в образовательный процесс строительного вуза // Перспективы развития строительного комплекса. 2015. С. 54–62.

© С. П. Кудрявцева, Н. С. Долотказина

#### Ссылка для цитирования:

Кудрявцева С. П., Долотказина Н. С. Внедрение инновационных BIM-технологий в образовательный процесс архитектурно-строительных учебных заведений // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2016. № 4 (18). С. 74–79.

УДК 519.233

### РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ТАКТИЧЕСКОГО УРОВНЯ АБСТРАКЦИИ, МОДЕЛИРУЮЩЕЙ БИЗНЕС-ПРОЦЕССЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ДОЛЕВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА НА РЕГИОНАЛЬНОМ РЫНКЕ ЖИЛЬЯ

*Д. П. Ануфриев, А. Ю. Холодов*

*Астраханский государственный архитектурно-строительный университет*

Разработана имитационная модель, моделирующая бизнес-процессы, возникающие в региональном строительном комплексе при использовании программы долевого строительства жилья. Представлена иерархия классов модели, включающих дискретно-событийные и агентные подходы к реализации имитационного моделирования, что позволяет отнести модель к тактическому уровню абстракции с возможностью его понижения до оперативного уровня. Используются критерии, обобщенные Р. Шенноном, с целью установления адекватности логического функционирования разработанной модели.

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, дискретно-событийное моделирование, агентное моделирование, тактический уровень абстракции моделирования.

### DEVELOPMENT OF SIMULATION MODEL TACTICAL LEVEL OF ABSTRACTION, MODELS OF BUSINESS PROCESSES RELATED TO SALES OF EQUITY CONSTRUCTION IN THE REGIONAL MARKET HOUSING

*D. P. Anufriyev, A. Yu. Kholodov*

*Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering*

A simulation model of modeling business processes, resulting in the regional building complex when using shared housing. Submitted class hierarchy models, including discrete event and agent-based approaches to the implementation of the simulation model that can be attributed to the tactical abstraction level, with the possibility of lowering it to the operational level. Use criteria grounded R. Shannon, in order to establish the adequacy of the developed model of the logical operation.

**Keywords:** simulation, discrete event simulation, agent-based modeling, simulation tactical level of abstraction.

#### Введение

Финансовые взаимоотношения дольщиков (физических лиц) со строительными организациями, реализующими жилые квартиры в возводимых многоквартирных домах, регламенти-

руются ФЗ № 214 от 30 декабря 2004 г. Существует статистическая информация о датах прихода (обращения и заключения договоров долевого строительства). Определены этапы и процентные ставки оплаты долевого строитель-

ства. Для нескольких типовых многоквартирных домов установлены средние сроки выполнения этапов строительства: начало строительства, возведен фундамент, возведена «коробка» здания, подключены коммуникации и выполнены отделочные работы (строительство закончено). Таким образом, формируются задачи: с одной стороны, оценить (имитировать) интервалы и объем поступления финансовых средств от физических лиц, участвующих в долевом строительстве, и, с другой стороны, провести анализ и выработать методику управления средствами застройщика и привлекаемого инвестора с целью обеспечения процесса возведения жилого сооружения с последующей сдачей ее в эксплуатацию. Также необходимо отметить, что в большинстве социально-экономических процессов, возникающих в региональном строительном комплексе, важную роль играет вероятностная составляющая. Исследовательский подход к изучению таких бизнес-процессов заключается в применении методик имитационного моделирования с последующим анализом данных, полученных в результате имитационных экспериментов, с целью установления между ними функциональных зависимостей [1–3].

#### **Постановка задачи**

В качестве базовой системы рассматривается многоквартирный (типовой) дом, определяемый количеством квартир различных типов (одно-, двух-, трех-, четырехкомнатных) и средними временными интервалами этапов его строительства. Имитационная система описывает процесс взаимоотношения участников долевого строительства: дольщиков (физических и юридических лиц), с одной стороны, и строительной организации, реализующей жилые квартиры в возводимом многоквартирном доме, с другой. Так же сразу необходимо отметить, что данная имитационная система не принадлежит к классической классификации систем моделирования (системная динамика, дискретно-событийные состояния и агентное моделирование), а является гибридной, включая в себя дискретно-событийные и агентные подходы [4, 5]. Таким образом, система также рассматривается как связь (двухсторонняя) ДОЛЬЩИКИ – СТРОИТЕЛЬСТВО, где ДОЛЬЩИКИ – агенты, СТРОИТЕЛЬСТВО – внешняя среда, не ограниченная процессом возведения многоквартирного дома.

#### **Материалы и методы исследования**

Во-первых, необходимо установить степень абстракции разрабатываемой модели по фактическим признакам. Стратегический уровень (макроуровень) – «минимальная» детализация, определение функциональных характеристик системы в стационарном режиме; тактический уровень – «средняя» детализация, определение

функциональных характеристик системы в динамическом режиме; оперативный уровень (микроуровень) – «максимальная» детализация, определение функциональных характеристик системы в динамическом режиме, причем их чувствительность характеризуется единицей относительного модельного времени [6]. Исходя из вышеописанных определений уровня абстракции, совершенно очевидно, что разрабатываемая имитационная модель должна относиться к тактическому уровню средней детализации.

Теперь перейдем к описанию логической схемы функционирования системы [7–9].

В рассмотрении принято поэтапное правило финансирования, а именно: физические лица начинают заключать договоры на долевое строительство после этапа «возведен фундамент» – вносят 35 % суммы, определяемой застройщиком (стоимость квадратного метра, помноженная на метраж квартиры), при смене этапа на «возведена «коробка» дольщик доплачивает 50 %, по окончании работ – оставшиеся 15 % стоимость квартиры. Дольщик, заключающий договор после этапа «возведена «коробка», оплачивает сразу 85 % и по окончании работ – 15 % стоимость квартиры. Физическое лицо, обращающееся к застройщику по окончании работ, фактически покупает готовую квартиру и, соответственно, вносит 100 % ее стоимости. Кроме физических лиц, участвующих в долевом строительстве, фирма-застройщик вправе расплачиваться квартирами с юридическими лицами, являющимися подрядчиками строительных работ, устанавливая определенную цену за квадратный метр и тем самым уменьшая количество потенциальных дольщиков – физических лиц. Кроме того, необходимо учитывать возможный процесс ухода (расторжения договоров долевого строительства и возврата внесенных средств), связанный с изменением средней цены за квадратный метр, формирующейся из всевозможных предложений других городских фирм-застройщиков. Кроме того, определены средние временные интервалы каждого этапа возведения многоквартирного дома и размеры оплаты труда строительных бригад, задействованных на каждом этапе, и также принято допущение, что фонд заработной платы строителей формируется за счет привлеченных средств дольщиков – физических лиц; если средств недостаточно, строительство может быть заморожено.

В качестве входных данных, необходимых для построения имитационной модели, принимаются:

- статистическая информация о датах прихода (обращения и заключения договоров долевого строительства) физических лиц по каждому типу квартир;

- статистическая информация о датах внесения оплаты согласно заключенным договорам долевого строительства, при обновлении статуса строительства (завершение этапа возведения многоквартирного дома) физических лиц по каждому типу квартир;
- количество квартир и общий метраж многоквартирного жилого дома (проектные данные);
- временные интервалы этапов возведения многоквартирного дома (проектно-сметные данные);
- размеры оплаты труда строительных бригад, задействованных на каждом этапе возведения многоквартирного дома (проектно-сметные данные);
- поквартальные средние данные рыночной стоимости квадратного метра строящегося многоквартирного жилья г. Астрахани (данные министерства строительства Астраханской области).

Собранная статистическая информация первых двух пунктов входных данных была обработана с использованием критерия Колмогорова (размер выборок варьировался в интервале от 20 до 40 значений), и было установлено, что временные интервалы имеют экспоненциальный тип функции распределения, установлена функциональная характеристика распределения (математическое ожидание) для каждого типа квартир.

Также, поскольку определены входные данные, необходимо отметить, что в качестве выходной информации имитационного процесса рассматривается сумма поступивших финансовых средств от дольщиков – физических лиц.

В качестве среды разработки имитационной модели выбрана среда AnyLogic, так как, во-первых, она позволяет реализовать модель с использованием парадигм объектно-ориентированного программирования, во-вторых, позволяет совмещать различные типы построения моделей: системно-динамический, дискретно-событийный и агентный, и, в-третьих, существует возможность разрабатывать фрагменты внутреннего кода на Java.

В разработанной имитационной блок-схеме реализовано три класса активных объектов: **Apartment\_type**, **House** и **Main**, причем класс **House** является агентом. Подробно рассмотрим каждый активный класс и связи между ними.

#### Активный класс *Apartment\_type*

Класс **Apartment\_type** реализует финансовые отношения дольщиков со строительной организацией в пределах квартир одного типа. Данный подход позволяет избежать ограничений на жесткую привязку к количеству типов квартир в жилом доме.

На рис. 1 представлена блок-схема активного класса **Apartment\_type**.

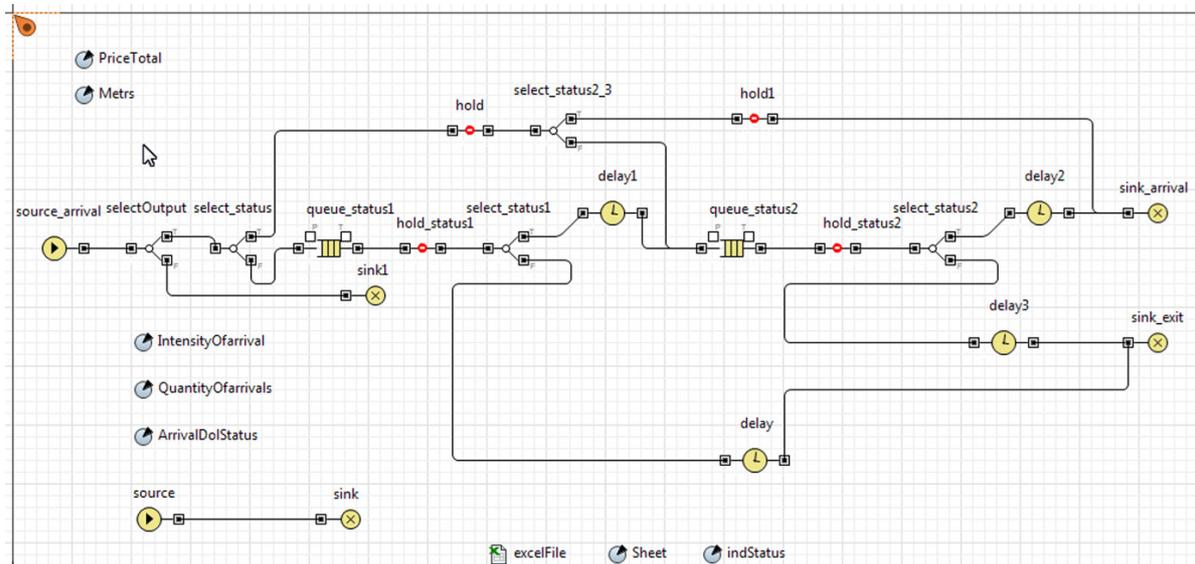


Рис. 1. Общая блок-схема активного класса **Apartment\_type**

Создан класс заявок **N\_person**, имитирующих дольщиков, имеющий поля, фиксирующие время прибытия в систему, текущий статус и время ухода из системы. Предусмотрены возможности сохранения информации полей заявок в Excel-файл, с целью установления адекватности стохастически-сгенерированных интервалов поступления заявок реально собранным статистическим данным.

Процесс прихода дольщиков осуществляется посредством генератора заявок **source\_arrival**. Введены две переменные: **IntensityOfarrival** и **QuantityOfarrivals**, позволяющие динамически управлять частотой интенсивности прибытия и максимальным количеством генерируемых заявок.

Блоки блокировок (тип **hold**) используются для задержек заявок до момента смены статуса

и организации процесса «уход дольщиков». Блоки логического разветвления (тип **selectOutput**) организуют прохождение заявок согласно текущему статусу. Блоки очередей (тип **queue**) используются для организации процесса накопления финансовых средств. Например, в блоке **queue\_status2** аккумулируются заявки, имитирующие приход дольщиков, уже заплативших 35 % (имеющих **status == 2**) и пришедших только что при **status == 3**, первые доплачивают еще 50 %, вторые сразу вносят 85 % стоимости квартиры.

Блок-бункер **sink\_arrival** также используется для накопления финансовых средств и уничтожает заявки, пришедшие в систему при различных статусах. С другой стороны, блоки-бункеры **sink\_exit** и **sink\_exit1** принимают заявки при возникновении процесса «ухода дольщиков» и участвуют в уменьшении финансовых средств (уходящим дольщикам выплачиваются вложенные средства).

Поскольку в процессе прихода дольщиков могут принимать участие и юридические лица,

причем на самом раннем этапе, реализована блок-схема, имитирующая поступление пакета заявок с использованием метода **inject()**.

### Активный класс House

Разработан класс-агент активного объекта **House** (рис. 2), реализующий приход дольщиков – физических и юридических лиц для одного типа многоквартирного дома. Поскольку рассматриваются определенные типы многоквартирных домов с четырьмя типами квартир, класс-агент **House** включает в себя четыре объекта: **apartment\_type1**, **apartment\_type2**, **apartment\_type3**, **apartment\_type4**, что не исключает возможности добавления или удаления объектов типа **apartment\_type**.

В данном классе-агенте предусмотрена возможность ввода даты начала строительства и стоимости квадратного метра у застройщика посредством **editbox**, выбор типа здания посредством **radio** и получения текущей информации о дате, рыночной цене, статусе строительства и полученных финансовых средствах от дольщиков – физических лиц.

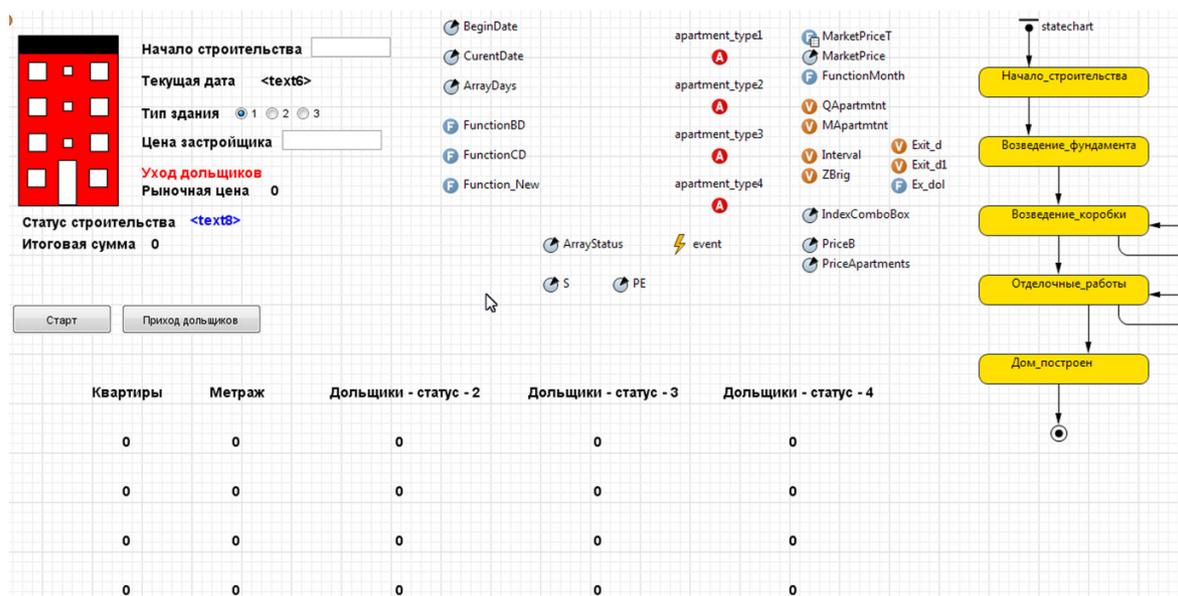


Рис. 2. Общая блок-схема активного класса-агента House

При активации класса-агента **House** выполняется код, реализующий включение таймера с тактовой частотой, равной одной единице модельного времени – одному дню, формирование массива статусов и инициализацию массивов, отвечающих за количество и метраж квартир по типу зданий, а также интервалов строительства по статусам и ежемесячных выплат строителям.

В класс-агент введена табличная функция **MarketPriceT** (рис. 3), определяющая помесечное значение средних городских цен за квадратный метр строящегося жилья. Полученные значения участвуют в условии организации процесса «ухода дольщиков», то есть если средняя рыночная цена меньше цены, объявленной

застройщиком, дольщики начинают «уходить» – запускается процесс посредством разблокировки блоков типа **hold** во всех объектах типа **apartment\_type** и появляется сообщение «уход дольщиков».

При активации кнопки «Старт» выполняется код, реализующий код установки начального статуса и передачи параметров метода **inject()** – приход дольщиков – юридических лиц.

Смена статусов происходит посредством переходов в диаграмме состояний, основываясь на средних временных интервалах каждого этапа, с вводом вероятностной составляющей (**uniform(a, b)** – реализация равномерного распределения на отрезке [a, b]) (рис. 4).

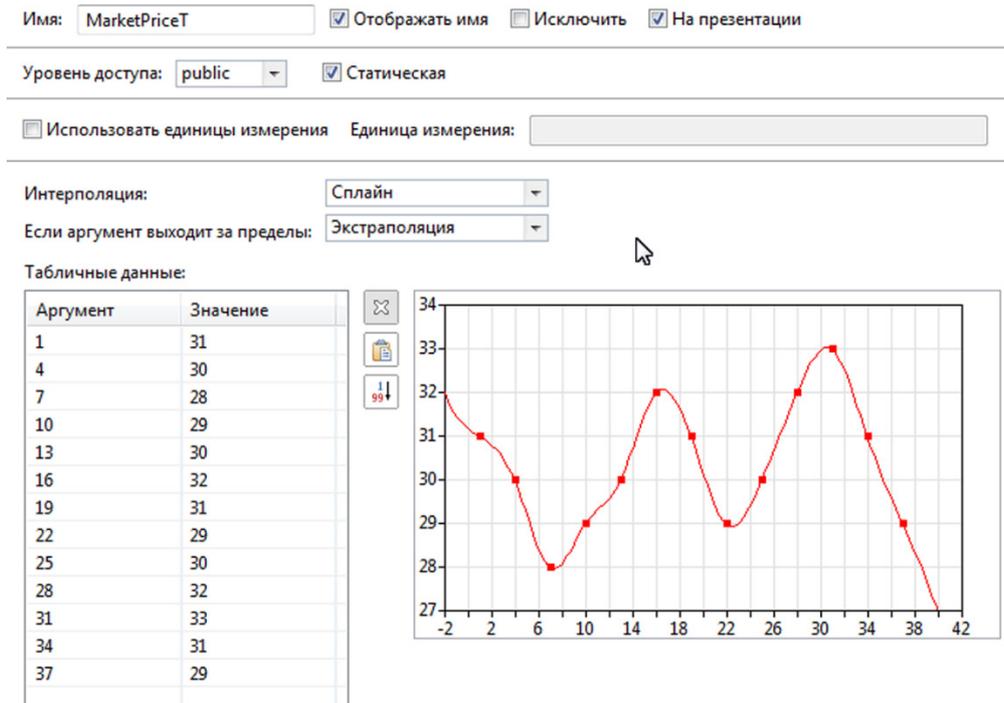


Рис. 3. Табличная функция **MarketPriceT**

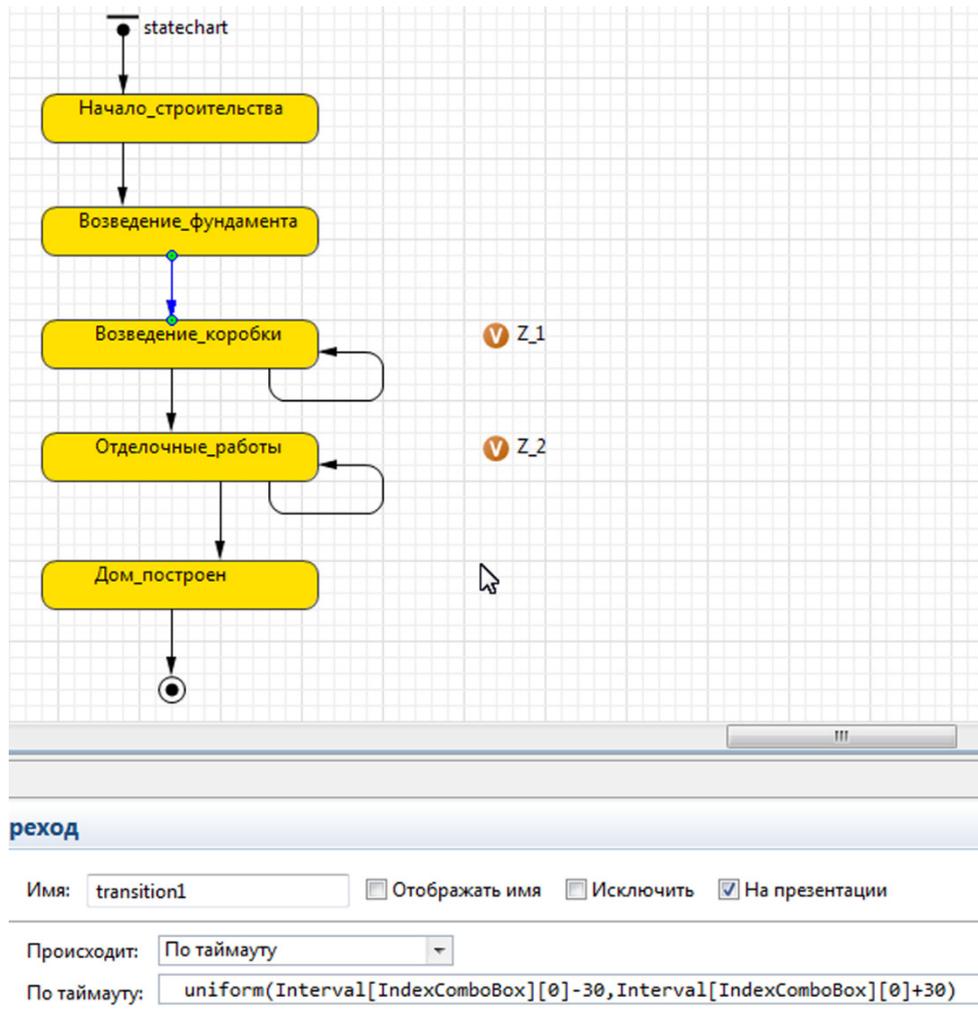


Рис. 4. Диаграмма состояний

У двух состояний – «Возведение\_коробки» и «Отделочные\_работы» – организованы дополнительные переходы-петли, срабатывающие на 30 тактов таймера, с целью осуществления проверки: достаточно ли финансовых средств, полученных от дольщиков, для выплаты заработной платы строительным бригадам; если нет, то строительство замораживается посредством увеличения времени перехода в следующее состояние.

Кроме того, реализована возможность получения наглядной информации о приходе дольщиков по каждому типу квартир при соответствующем статусе.

Возможности среды AnyLogic позволяют запускать процесс имитационного моделирова-

ния для любого активного класса, в частности, для класса-агента **House**, будет запущена разработанная модель для одного из трех типов домов.

### Активный класс Main

Наконец, разработан активный класс **Main**, обеспечивающий возможность добавлять и удалять реплицированные объекты класса **House**, выбирать различные типы зданий, устанавливать разные начальные даты строительства и получать текущую информацию о финансовых средствах, полученных от дольщиков – физических лиц. На рис. 5 приведен пример запуска модели с четырьмя реплицированными объектами – многоквартирными домами.

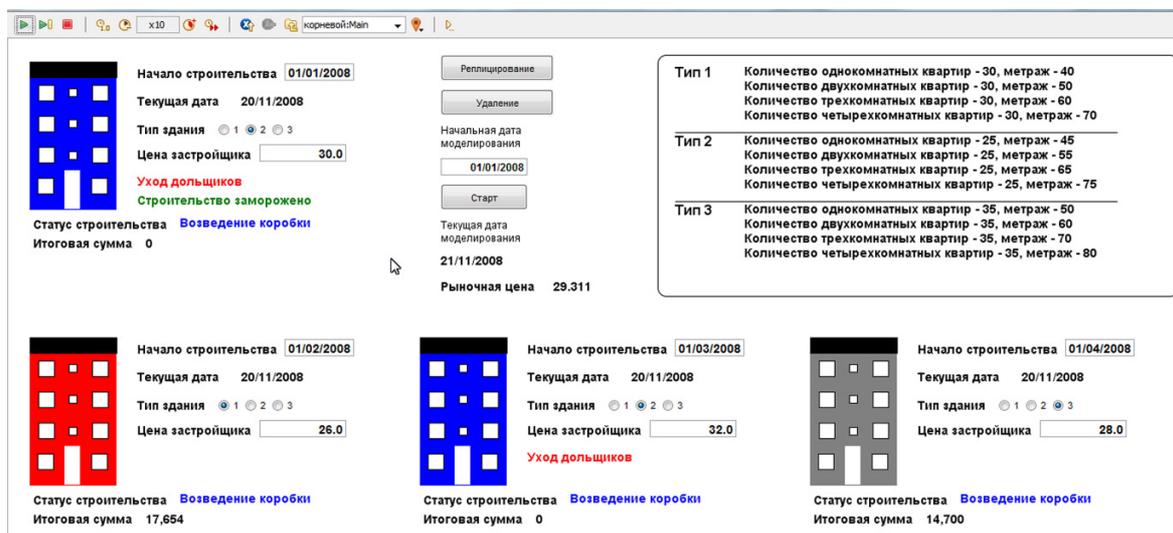


Рис. 5. Пример запуска класса **Main** с четырьмя реплицированными объектами

Таким образом, представлена блок-схема имитационной модели финансовых взаимоотношений участников долевого строительства, подразумевающая возможность учета финансовых поступлений при застройке некоторого микрорайона типовыми многоквартирными жилыми домами. Данная модель может быть рассмотрена как некая законченная часть сложного процесса финансовых отношений застройщика с юридическими и физическими лицами, банками и т. п.

Для оценки разработанной имитационной модели используем классифицированные категории Фишмана и Кивиа [7, 8], которые заключаются в следующем:

- верификация модели – «необходимо убедиться, что модель ведет себя так, как было задумано»;
- оценка адекватности – «необходимо проверить соответствия между поведением модели и поведением реальной системы».

Была осуществлена верификация модели как на логическом (используя пошаговый отладчик), так и на физическом уровне [10-12].

В частности, логическое поведение заявок, имитирующих приход (уход) дольщиков, полностью соответствует формулировки модели (пришедшая в систему заявка при *i*-ом статусе последовательно проходит статусы более высоких порядков; кроме того, если заявки покидают систему на статусах, не соответствующих «полной готовности» здания, в системе осуществляется генерация новых с целью поддержания внутреннего баланса). Также были проведены имитационные эксперименты с различной стоимостью квадратного метра строящегося жилья с учетом введенной интерполяционной функции **MarketPriceT** (рис. 3). Было рассмотрено три частных (тестовых) случая: 1) стоимость равна 34 тыс. руб. за кв. м (больше глобального максимума функции); 2) стоимость равна 30 тыс. руб. за кв. м; 3) стоимость равна 26 тыс. руб. за кв. м (меньше глобального максимума функции на интервале (0; 38)). В первом случае наблюдался процесс отсутствия прихода дольщиков и, соответственно, замораживание строительства; во втором случае процесс прихода-ухода дольщиков соответствовал колебаниям

интерполяционной функции относительно установленного контрольного значения; в третьем случае процесса ухода дольщиков не наблюдалось. Верификация физического уровня подразумевает правильность вычислений, связанных с накоплением фонда дольщиков при их приходе, уменьшением фонда дольщиков при их выходе и начислением заработной платы строительным бригадам по этапам.

Также было сформировано две матрицы входных данных  $A = \{a_{ij}\}, i = 1..4, j = 1..10$  и  $B = \{b_{ij}\}, i = 1..4, j = 1..10$  – частоты интервалов поступления заявок в систему с целью анализа чувствительности и устойчивости имитационной модели к изменению входных данных [13–15]:

$$\begin{aligned} a_{11} &= \frac{1}{15}, a_{1j} = a_{11} \left(1 + \frac{j-1}{100}\right); & b_{11} &= \frac{1}{15}, b_{1j} = b_{11} \left(1 - \frac{j-1}{100}\right); \\ a_{21} &= \frac{1}{20}, a_{2j} = a_{21} \left(1 + \frac{j-1}{100}\right); & b_{21} &= \frac{1}{20}, b_{2j} = b_{21} \left(1 - \frac{j-1}{100}\right); \\ a_{31} &= \frac{1}{18}, a_{3j} = a_{31} \left(1 + \frac{j-1}{100}\right); & b_{31} &= \frac{1}{18}, b_{3j} = b_{31} \left(1 - \frac{j-1}{100}\right); \\ a_{41} &= \frac{1}{16}, a_{4j} = a_{41} \left(1 + \frac{j-1}{100}\right). & b_{41} &= \frac{1}{16}, b_{4j} = b_{41} \left(1 - \frac{j-1}{100}\right). \end{aligned}$$

Посредством проведения имитационных экспериментов был сформирован вектор средних

значений временных интервалов возведения зданий:  $W = \{w_k\}, k = 1..19$ .

Анализ полученных данных показал, что для любого  $i$  выполняется соответствие монотонности входных и выходных данных [16], то есть:

$$b_{i10} < \dots < b_{i1} = a_{i1} < \dots < a_{i10} \rightarrow w_1 < \dots < w_{19}.$$

Данный результат характеризует отсутствие «всплесков» и «скачкообразных» изменений выходных данных имитационной модели.

#### Заключение

Разработанная имитационная модель позволяет оценить интервалы и объем поступления финансовых средств от физических лиц, участвующих в долевом строительстве, возможность ухода дольщиков, обеспечение заработной платой строительных бригад, соблюдение сроков возведения жилья, а также оценить возможность ухудшения социальной обстановки в регионе, инициированного недовольными дольщиками.

В модели реализован как дискретно-событийный, так и агентный подход имитационного моделирования, в связи с чем, согласно принятой методологии, данная модель относится к тактическому уровню абстракции моделирования.

#### Список литературы

1. Ануфриев Д. П. Математическая модель регионального строительного комплекса // Астрахань – дом будущего : тезисы II Международной науч.-практ. конф. Астрахань : Изд. Сорокин Роман Васильевич, 2010. С. 58–73.
2. Ануфриев Д. П. Управление строительным комплексом как социально-экономической системой: постановка проблемы // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 8. С. 8–10.
3. Копелиович Д. И., Юркова О. Н. Принципы построения автоматизированных систем мониторинга социально-экономических объектов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика, 2015. № 1. С. 98–104.
4. Холодов А. Ю. Имитационная модель финансовых взаимоотношений участников долевого строительства // Имитационное моделирование. Теория и практика : сб. док. V Всероссийской науч.-практ. конф. ИММОД-2011. СПб. : ОАО «ЦТСС», 2011. Т. 2. С. 300–302.
5. Холодов А. Ю., Ануфриев Д. П. Имитационное моделирование финансовых взаимоотношений участников долевого строительства и оценки рисков строительных организаций при комплексной застройке // Труды Всероссийской науч.-практ. конф. по имитационному моделированию социально-экономических систем (ВКИМСЭС). 15 мая 2012 г. М. : ООО «Принт-Сервис», 2012. С. 120–124.
6. Ханова А. А., Хортонен А. С., Парамзина Л. В. Системные взаимосвязи стратегического управления и моделирования социально-экономических систем на основе сбалансированной системы показателей // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2014. № 2. С. 109–116.
7. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука / пер. с англ. под ред. Е. К. Масловского. М. : Мир, 1978. 420 с.
8. Fishman G. S., Kiviat P. J. The Analysis of Simulation-Generated Time Series // Management Science. 1967, Mar. Vol. 13; 7.
9. Брумштейн Ю. М., Дюдиков И. А. Модели оптимизации подбора ресурсов при управлении совокупностью проектов с учетом зависимости качества результатов, рисков и затрат // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2015. № 1. С. 78–89.
10. Heidelberger P. Fast Simulation of Rare Events in Queuing and Reliability Models // Assoc. Comput. Mach. Trans. Modeling and Comput. Simul. 1995. Vol. 5. P. 43–85.
11. Kendall M. G., Stuart A., Ord J. K. The Advanced Theory of Statistics, Vol. 1, 5th ed. New York : Oxford University Press, 1987.
12. Avramidis A. N., Wilson J. R. Integrated Variance Reduction Strategies for Simulation // Operations Res. 1996. Vol. 44. P. 327–346.
13. Glynn P. W. Optimization of Stochastic Systems // Proc. 1986 Winter Simulation Conference. 1986. P. 52–59.
14. Nelson B. L. Batch Size Effects on the Efficiency of Control Variates in Simulation // Eur. J. Operational Res. 1989. Vol. 43. P. 184–196.
15. Van Horn R. L. Validation of Simulation Results // Management Sci. 1971. Vol. 17. P. 247–258.
16. Saigent R. G. Verifying and Validating Simulation Models // Proc. 1996 Winter Simulation Conference, San Diego. 1996. P. 55–64.

© Д. П. Ануфриев, А. Ю. Холодов

#### Ссылка для цитирования:

Ануфриев Д. П., Холодов А. Ю. Разработка имитационной модели тактического уровня абстракции, моделирующей бизнес-процессы, возникающие при реализации долевого строительства на региональном рынке жилья // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2016. № 4 (18). С. 79–85.