

УДК 001.57

## ПРОВЕДЕНИЕ ВАЛИДАЦИИ И ВЕРИФИКАЦИИ НА ПРИМЕРЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ТЕЛЕФОННОЙ СТАНЦИИ

Богданова А.Ю., студентка гр. ИСт-181, III курс  
Теплянских Д.И. - студентка III курса гр. ИСт-181

Выдрин В.А., студент гр. ИСт-181, III курс

Научный руководитель: Кузнецов И.С., преп. каф. ИиАПС (СПО)  
КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева  
г. Кемерово

При исследовании различных систем, где применение аналитического моделирования затруднительно, а порой и невозможно (сложная динамика, множество входных параметров, неясны внутренние связи и т.д.), используют метод имитационного моделирования (ИМ).

При использовании ИМ одним из важнейших этапов является оценка адекватности разработанных моделей. Ведь, если модель неправильно отображает динамику моделируемой системы, то очевидно, что полученные результаты экспериментов на этой модели будут неверными [1]. Поэтому одной из основных проблем при моделировании является проверка ее адекватности, т.е. проверка соответствия разработанной модели реальной системе.

Исследованию проблемы оценки адекватности разработанных имитационных моделей посвящены множество работ [2-6]. Большинство авторов, считают, что имитационная модель адекватно описывает реальную систему, если расхождение не превышает 10-20% [7]. Если максимальная разница составляет более установленного предела, то разработанная имитационная модель неадекватно отображает реальную систему и ее необходимо дорабатывать, искать ошибки в коде или искать ошибку в концептуальной модели. В противном случае если максимальная разница составила менее разрешаемой погрешности, то считается, что имитационная модель адекватно отображает реальную систему и на ней в дальнейшем можно проводить имитационные эксперименты. Подобную проверку называют верификацией и валидацией [1].

При верификации проводится формальная проверка правильности введения разработчиком концептуальной модели в компьютер. Если обнаружены ошибки, то их выявляют и устраняют причины неадекватной работы программы путем ее отладки.

Существуют несколько методов проведения верификации:

1. Сопоставление последовательности событий в реальной системе с событиями, происходящими в модели;
2. Проверка результатов на «крайние значения»;
3. Оценка модели специалистом, не занимающимся разработкой модели;

4. Проверка работы блоков модели по отдельности;
5. Проверка путем визуализации работы модели;
6. Контроль имитации в определённые моменты времени [1].

Для верификации в данном исследовании применялся метод сопоставления последовательности событий в реальной системе с событиями, происходящими в модели при помощи блок-схемы и интерактивный контроль за ходом моделирования в режиме трассировки.

Валидация - проверка является ли модель, допустимым представлением реальной системы. Основные цели валидации: 1 - создать модель, которая представляет поведение реальной системы как можно более полно; 2 - увеличить приемлемый уровень достоверности модели, чтобы модель можно было использовать для анализа системы и принятия решений.

При оценке адекватности модели методом валидации, используются методы:

1. Метод контрольных задач, при котором сравнивают данные, полученные в результате моделирования, с аналогичными данными, полученными в результате эксплуатации системы;
2. Метод объемного баланса, при котором сравнивают преобразование объемов системой и моделью;
3. Сопоставление результатов эксплуатации системы за реальное время с результатами моделирования за тоже модельное время;
4. Сравнение результатов аналитических расчетов с результатами имитационного моделирования;
5. Показ результатов моделирования эксперту по системе не знакомому с методами их получения [1].

Для валидации в данном исследовании применялся метод сравнение результатов аналитических расчетов с результатами имитационного моделирования.

Для примера проведем оценку адекватности следующего объекта моделирования: Телефонная станция имеет 5 линий связи. На станцию поступает простейший поток требований с интенсивностью  $\lambda = 1$  (вызова в минуту). Вызов поступающий в момент, когда все линии заняты, получает отказ. Средняя продолжительность разговора  $x_{cp} = 2$  мин. Интенсивность поступления требований и продолжительность разговора распределены по экспоненциальному закону. Период моделирования 480 минут.

Для отображения различных систем в динамике с учетом случайных факторов хорошо зарекомендовал метод теории массового обслуживания (ТМО) [7-9].

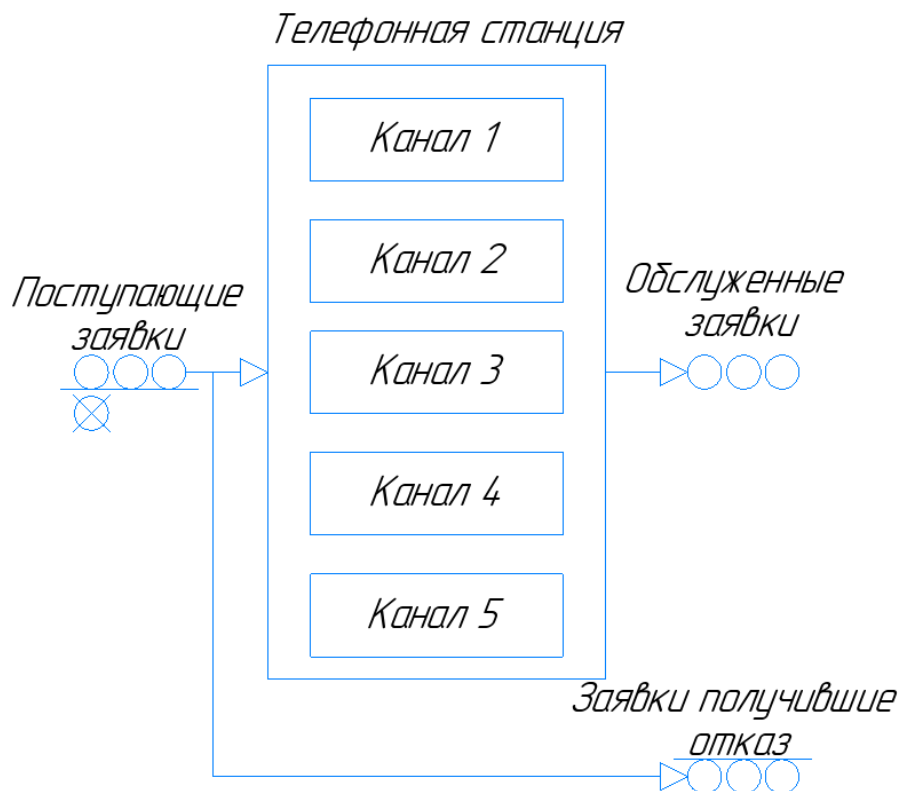


Рисунок 1 – Работа телефонной станции в виде СМО

Данная СМО имеет один тип заявок который соответствует вызовам, поступающим на телефонную станцию. В случае если хотя бы один канал свободен, то поступающая заявка попадает в многоканальное устройство (МКУ) – «Телефонная станция». Длительность задержки заявки в МКУ соответствует длительности разговора. После обслуживания заявки покидают систему и освобождают канал. Если по прибытию все каналы в МКУ заняты, то заявки получают отказ и покидают систему. Период моделирования составил 8 часов.

При переходе от системы массового обслуживания к GPSS Studio [11], определим, что заявки в СМО равны транзактам в имитационной модели. Для ввода их в модель используется блок GENERATE. Приборам в модели является телефонная станция. Для их описания используется блоки ENTER и LEAVE. Моделирование обслуживания транзактов-заявок осуществляется с использованием блока ADVANCE. Для удаления из модели обслуженных и получивших отказ транзактов используется блок TERMINATE. Для определения числа заявок получивших отказ, используется блок SAVEVALUE. Для перемещения обслуженных транзактов минуя блок с числом заявок получивших отказ используется блок TRANSFER. Проверка на занятость всех каналов в приборе осуществляется с использованием блока TEST. Число каналов МКУ задается управляющим оператором STORAGE. Число прогонов модели с изменением значения генератора случайного числа осуществляется с использованием управляющего оператора RMULT. Логическая блок – схема представлена на рис.2.

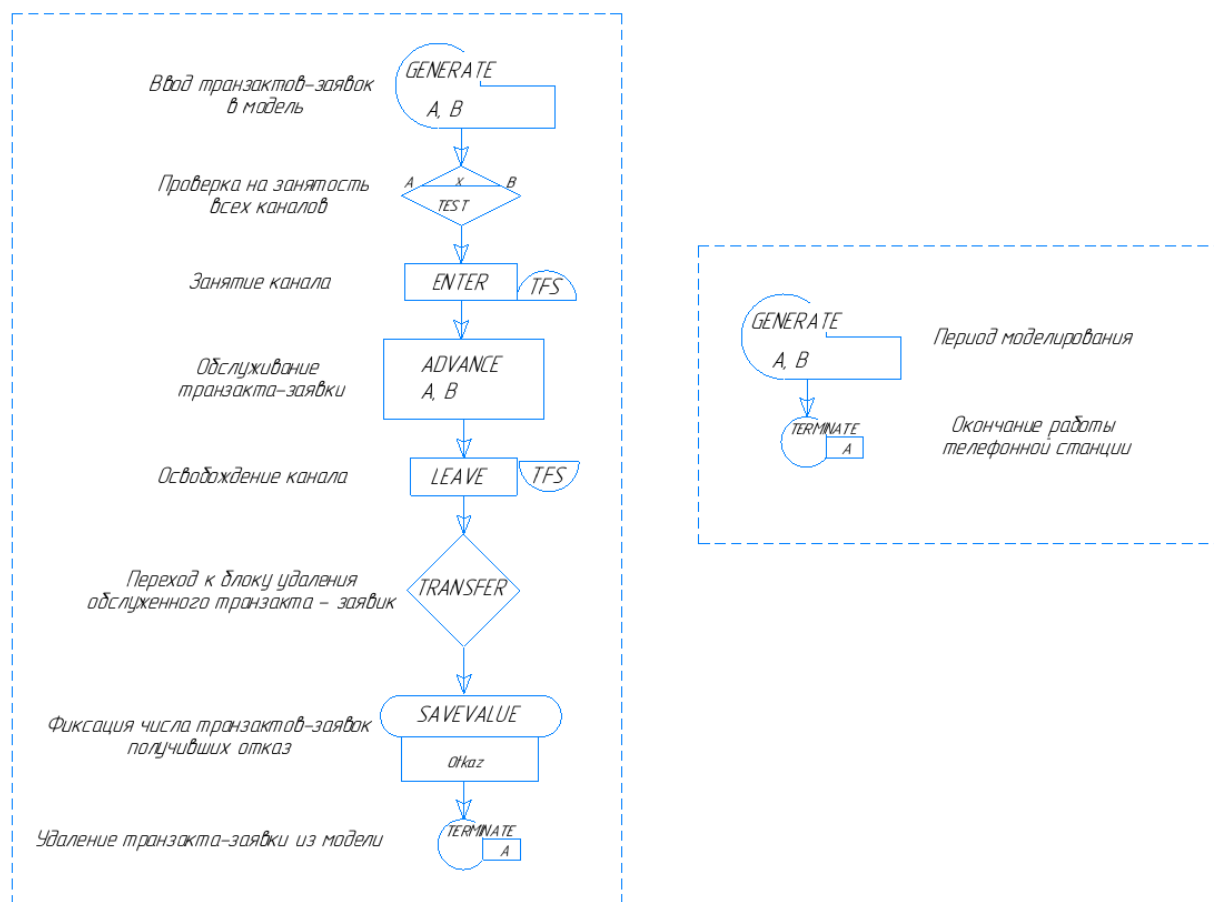


Рисунок 2 – Блок схема GPSS-модели телефонной станции

Транзакты генерируются в блоке GENERATE. По прибытию транзакты-заявки поступают в блок TEST, где осуществляется проверка на занятость всех каналов. Если все каналы заняты, то транзакты-заявки получают отказ и немедленно переходят к блоку SAVEVALUE и удаляются в блоке TERMINATE. В противном случае происходит занятие многоканального устройства – телефонная станция с использованием блока ENTER. Далее осуществляется задержка транзакта-заявки с использованием блока ADVANCE. Длительность задержки равно длительности разговора. После осуществляется освобождение многоканального устройства с использованием блока LEAVE. После обслуженные транзакты –заявки переходят к блоку TERMINATE и также удаляются. Число линий задается с использованием управляющего оператора STORAGE.

Далее проведем верификацию разработанной модели. Нет необходимости проводить верификацию всей модели, а необходимо проверить те сегменты модели, где возможно допустить ошибку. В данной модели, этим элементом является проверка на занятость всех линий в МКУ с последующим исключением заявок, рис.3.

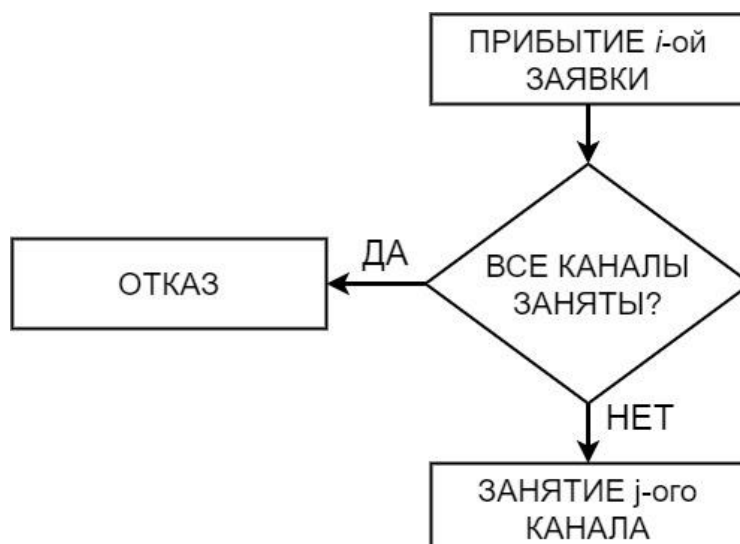


Рисунок 3 – Логическая блок схема проверяемого фрагмента модели

По прибытию  $i$ -ой заявки осуществляется проверка занятости всех каналов. В случае если все каналы заняты, то прибывшая заявка получает отказ и покидает систему, иначе заявка занимает  $j$ -ый канал с последующей её обработкой. Проверим работу данного фрагмента с использованием режима трассировки, рис.4-5.

ИМ модель - Результаты отладки.g...

Состояние модели

Текущее время (AC1): 7,38  
 Текущий транзакт (XN1 / A1): 18 / 18 (фильтр)

Переменная / матрица	Значение
CHISLO_KANALOV	5

```

    N_KANAL STORAGE 5
    GENERATE (Exponential(1,0,0.5))
    SAVEVALUE CHISLO_KANALOV,S$N_KANAL
    TEST NE SF$N_KANAL,1,OTKAZIG
    ENTER N_KANAL,1
    SAVEVALUE CHISLO_KANALOV,S$N_KANAL
    ADVANCE (Exponential(1,0,2))
    LEAVE N_KANAL,1
    SAVEVALUE CHISLO_KANALOV,S$N_KANAL
    TRANSFER ,ENDING
    OTKAZIG SAVEVALUE OTKAZ+,1
    ENDING TERMINATE
    GENERATE 480
    TERMINATE 1
    START 1
    
```

Рисунок 4 - Прибытие 18-заявки к МКУ

Из рисунка 4, видно, что на момент поступления 18 транзакта-заявки все каналы заняты ( $CHISLO\_KANALOV = 5$ ). Значит поступившая заявка должна получить отказ и покинуть систему.

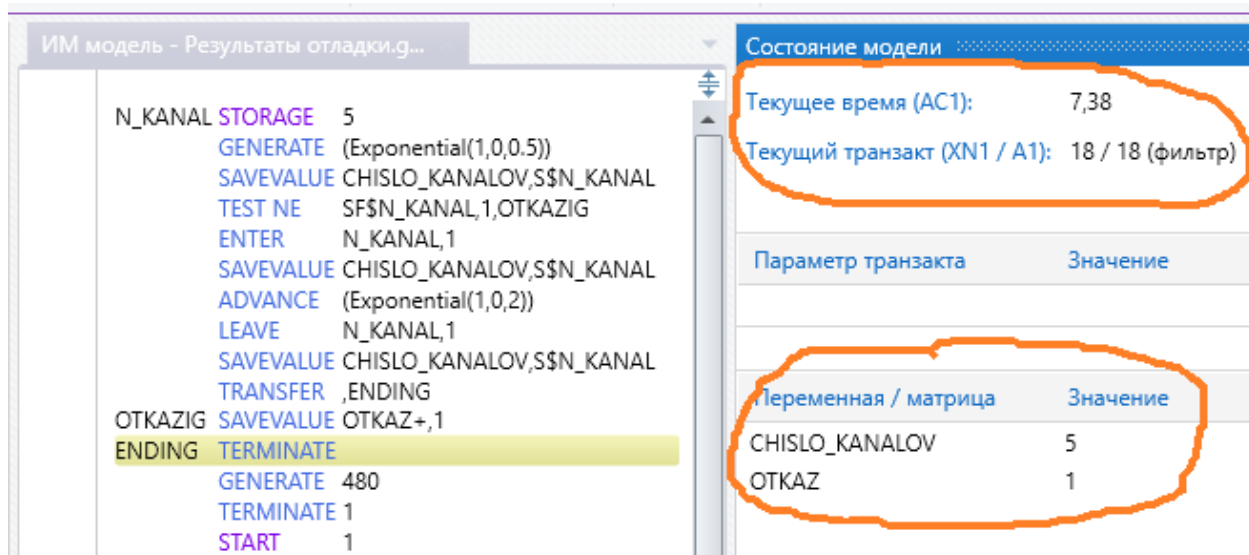


Рисунок 5 - 18-заявка получает отказ

Как видно и рисунка 5, 18 заявка получила отказ, о чем свидетельствует увеличения сохраняемого значения ОТКАЗ.

Для проведения валидации с применением аналитических расчетов необходимо классифицировать СМО согласно символике Кендалла-Башарина [10].

Согласно символике исследуемую систему можно записать по формуле 1:

$$M / M / m / 0 \quad (1)$$

где:  $m$  - число каналов.

Очередь априори будет нулевая, т.к. по условию определено, если все каналы в МКУ заняты, то поступившие заявки получают отказ. С использованием аналитических формул [12] определены значения характеризующие систему. Ввиду того, что имитационная модель содержит вероятностные значения времен, то необходимо провести более одного прогона модели. Для определения рационального числа прогонов используется формула 2 [1]:

$$N = \frac{t_{\alpha}^2 S^2}{\varepsilon^2} + 1 \quad (2)$$

где:  $N$  - необходимое количество прогонов модели с заданной точностью;  $t_{\alpha}$  - квантиль нормального распределения вероятностей;  $S^2$  - дисперсия случайной величины;  $\varepsilon$  - точность.

Подставив значения точности (1 заявки), квантиль нормального распределения вероятностей (1,68, при числе степеней свободы 48) и дисперсии (27,25 секунд) установлено, что необходимо провести 84 прогона для обеспечения заданной точности.

Далее сравнивались выходные значения, полученные аналитическим способом с выходными значениями полученных на имитационной модели, таблица 1.

Таблица 1

Результаты оценки адекватности имитационной модели телефонной станции

Параметр	Реальная система	Модель системы	Отклонение, %
Коэффициент загрузки системы	0,8	0,75	6,25
Среднее число свободных приборов	4,04	3,8	5,94
Среднее время пребывания требований в системе	1,6	1,5	6,25

Из таблицы 1, видно, что максимальное отклонение расчетных значений от значений полученных на имитационной модели, составило менее 10%. Следовательно, разработанная модель адекватно описывает исследуемую систему и на ней можно проводить вычислительные эксперименты.

Таким образом, с использованием методов валидации и верификации была установлена адекватность имитационной модели телефонной станции.

**Список литературы:**

1. Зиновьев В.В. Моделирование процессов и систем: учеб. пособие / В.В. Зиновьев, А.Н. Стародубов, П.И. Николаев; КузГТУ. - Кемерово, 2016. - 146 с.
2. Яцкив И.В. Проблема валидации имитационной модели и ее возможные решения // Имитационное моделирование. Теория и практика: Сборник докладов первой всероссийской научно-практической конференции ИММОД-2003. Том 1. СПб.: ЦНИИТС. 2003. - С. 211 - 217.
3. Ефимов И.Н. Методика построения адекватных имитационных моделей сложных дискретных систем / И.Н. Ефимов, Д.В. Жевнерчук, С.С. Кензин // Вестник ИжГТУ. - 2007. №1. - С.18 - 22.
4. Липатова Н.Г. Оценка адекватности и точности имитационных моделей процессов таможенного контроля // Вестник Российской таможенной академии. - 2015. №2. - С.136-142
5. Потапов В.Д., Яризов А.Д. Имитационное моделирование производственных процессов в горной промышленности: Учеб. пособие для студентов вузов. - М.: Высш. школа, 1981. - 191 с.
6. Смородин В.С. Верификация имитационных моделей технологических процессов производства с переменной структурой // Математические машины и системы. - 2007. - №3,4. - С. 162-167

7. Зиновьев В.В. Разработка методов динамического моделирования горноподготовительных работ: дис. ... канд. тех. наук: 05.13.16, 05.15.02. / Зиновьев Василий Валентинович; ИУ и ИУХ СО РАН; науч. рук. В.Л. Конюх - Кемерово, 1998. - С. 219.
8. Зиновьев В.В. Новый подход к обоснованию геотехнологий без постоянного присутствия людей в забое / В.В. Зиновьев, А.Н. Стародубов, П.И. Николаев // Вестник Кузбасского государственного технического университета. - 2017. - №5. - С. 37 - 43.
9. Кузнецов И.С. Имитационное моделирование безлюдной открыто - подземной геотехнологии с учетом простоев горных машин / И. С. Кузнецов, В. В. Зиновьев // Сборник трудов девятой всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД). - 2019. С. 445 - 450.
10. Алиев Т.И. Основы моделирования дискретных систем: учеб. пособие - СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. - 363 с.
11. Официальный сайт компании «Элина компьютер» [Электронный ресурс]. –<http://elina-computer.ru/> (дата обращения 15.03.2021)
12. Зиновьев В.В. Оценка адекватности имитационных моделей процессов и систем: методические указания к лабораторной работе по дисциплине «Моделирование процессов и систем» для студентов направления подготовки 09.03.02 «Информационные системы и технологии» очной формы обучения / сост. В. В. Зиновьев; А. Н. Стародубов; П. И. Николаев; И. С. Кузнецов; КузГТУ. – Кемерово, 2017.