

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ЦЕНТРА ТЕСТИРОВАНИЯ ВУЗа

А.А. Москвитина А.А., Гончарь П.С.

*ФГБОУ ВО Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург,
e-mail: petr_gonchar@el.ru*

В статье представлены новые результаты исследования, начатого ранее для Центра тестирования УрГУПС на 100 посадочных мест. В исходной статье аналитическими методами теории очередей были получены полезные практически значимые результаты. Однако сопоставление статистических данных, собранных о процедуре тестирования, позволили поднять вопрос об адекватности использованной для него модели. Было предпринято имитационное моделирование протекающих процессов с учетом особенностей продолжительности индивидуального тестирования и входного потока заявок различной структуры.

Показано, что выявленные ранее отклонения в распределении времени индивидуального тестирования от предполагаемых при аналитическом моделировании не приводят к существенным изменениям прогноза заполнения Центра тестирования студентами. Этот вывод справедлив для равномерной случайной явки студентов на тест, что тоже предполагается аналитическим моделированием. Получен вывод о предпочтительности аналитического моделирования над имитационным ввиду простоты его расчетных процедур. Напротив, учет возможной неравномерности во входящем потоке заявок способен значительно сказаться на функционировании Центра тестирования. Вероятность наблюдения очереди существенно возрастает, а продолжительность ожидания в ней превосходит продолжительность тестирования. Описаны прогнозируемые особенности работы Центра тестирования в таком стрессовом режиме.

Ключевые слова: Система массового обслуживания, производительность, вероятностный прогноз

IMITATIVE SIMULATION OF THE COLLEGE TESTING CENTER WORK PROCESS

Moskvitina A.A., Gonchar P.S.

Ural State University of Railway Transport, Yekaterinburg, e-mail: petr_gonchar@el.ru

The article presents new results of the research, started earlier for the USURT Test Center for 100 seats. In the initial article, analytical practical methods of queuing theory yielded useful practically meaningful results. However, a comparison of the statistical data collected about the testing procedure made it possible to raise the question of the adequacy of the model used for it. Simulation modeling of the ongoing processes was undertaken, taking into account the specifics of the duration of individual testing and the input flow of applications with different structures.

It is shown that the previously revealed deviations in the distribution of the time for individual testing from those expected in the course of analytical modeling do not lead to significant changes in the forecast of filling the testing center with students. This conclusion is valid for the uniform random appearance of students for a test, which is also assumed to be analytical modeling. It was concluded that analytical modeling is preferable over imitation because of the simplicity of its calculation procedures. On the contrary, consideration of possible unevenness in the incoming application flow can significantly affect the functioning of the Testing Center. The probability of watching the queue increases significantly, and the waiting time in it exceeds the duration of testing. The predicted features of the work of the Testing Center in such a stressful regime are described.

Keywords: queuing systems, output capacity, probability forecast

Введение

В статье [5] описываются первые результаты исследования, проведенного для моделирования работы Центра тестирования (ЦТ) в составе Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС). Он имеет основной зал на 100 компьютеризированных мест, специально предназначенный для проведения тестовых процедур. Рассматривалось в сравнении два режима организации входного потока в ЦТ: а) тестирование по предва-

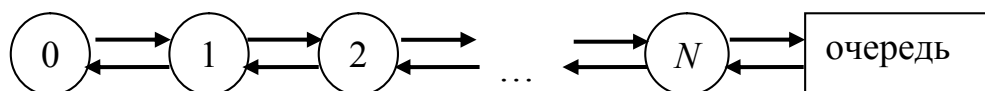
рительной записи с резервированием периода 105 минут на тест (что соответствует двум академическим часам и переменам в сетке расписания) оказывается удобным для группового объемного тестирования, но малопроизводительным способом работы; б) тестирование без предварительной записи «по живой очереди» способно обеспечить на том же количестве компьютеров в 2,5 – 3 раза больше индивидуальных тестов, однако несет риск возникновения очереди.

Основной практически значимый результат статьи [5] – определение с помощью методов теории очередей «критических интенсивностей» входного потока заявок (студентов, являющихся на тестирование), при которых вероятность наблюдения очереди составляет 10% в зависимости от количества используемых посадочных мест. Этот результат аналитически получен в предположении о том, что входной поток заявок является простейшим, а время обслуживания заявки (то есть время индивидуального тестирования) подчиняется показательному закону. Однако в самой статье есть указание на существенные отклонения действительности от этих предположений:

– Так как количество заданий в индивидуальном тесте не бывает меньше пяти (а требуется ещё фиксированное время на загрузку теста), то доля тестирований с относительно коротким временем должна быть меньше, чем предсказывается показательной зависимостью, что подтверждается приведенными статистическими данными.

– Так как работа ЦТ в течение семестра неотрывно связана с сеткой расписания, возможны существенные неоднородности интенсивности во входящем потоке заявок (обращающихся в ЦТ студентов), поток студентов оказывается неравномерным.

В книге [1] указывается, что такие отклонения часто не являются разрушающими для основных выводов о распределении состояний и производительности СМО а, наоборот, являются причиной сдвигов в сторону её меньшей, по сравнению с расчетной, загруженности. Тем не менее, требуется непосредственное подтверждение выводов статьи [5] и правомерности применения теории очередей к рассматриваемой системе. Преследованию этой цели (через преодоление методических затруднений) и посвящена данная работа. В ней предпринято имитационное моделирование эволюции марковской цепи с приведенным ниже графом (значение N – количество посадочных мест).

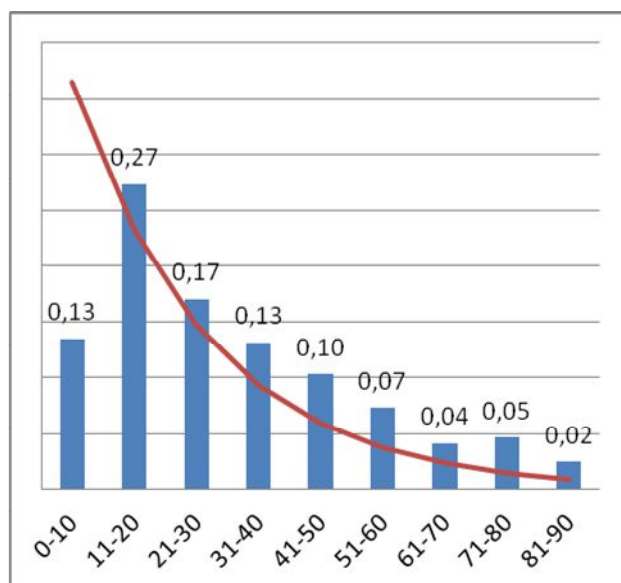


Этот граф повторяет структуру модели, выработанную в [5], но вместо теоретически полагаемых значений интенсивностей входного потока (определяющих все его свойства через известные закономерности) и интенсивностей обратных переходов, пропорциональных

номеру состояния, для описания всех событий (переходов) используются произвольно выбранные последовательности. При многократной реализации каждого состояния определяется доля времени, проведенного системой в каждом состоянии, которая интерпретируется как вероятность наблюдения этого состояния и её можно сравнить с результатом аналитического расчета. Вычисления проводились с помощью процессора электронных таблиц MS Excel.

1. Отклонения в статистике времени тестирования от показательного закона

Модель, на которую опираются вычислительные техники теории очередей, предполагает показательное распределение для времени обслуживания заявки (показано на графике линией). В [2] и [4] для моделирования времени обслуживания заявки предполагалось, что эта величина имеет нормальное распределение. Непосредственное статистическое исследование, результаты которого проводятся нами в [5], основано на фактических данных о 2,2 тыс. индивидуальных тестов из 190 протоколов те-

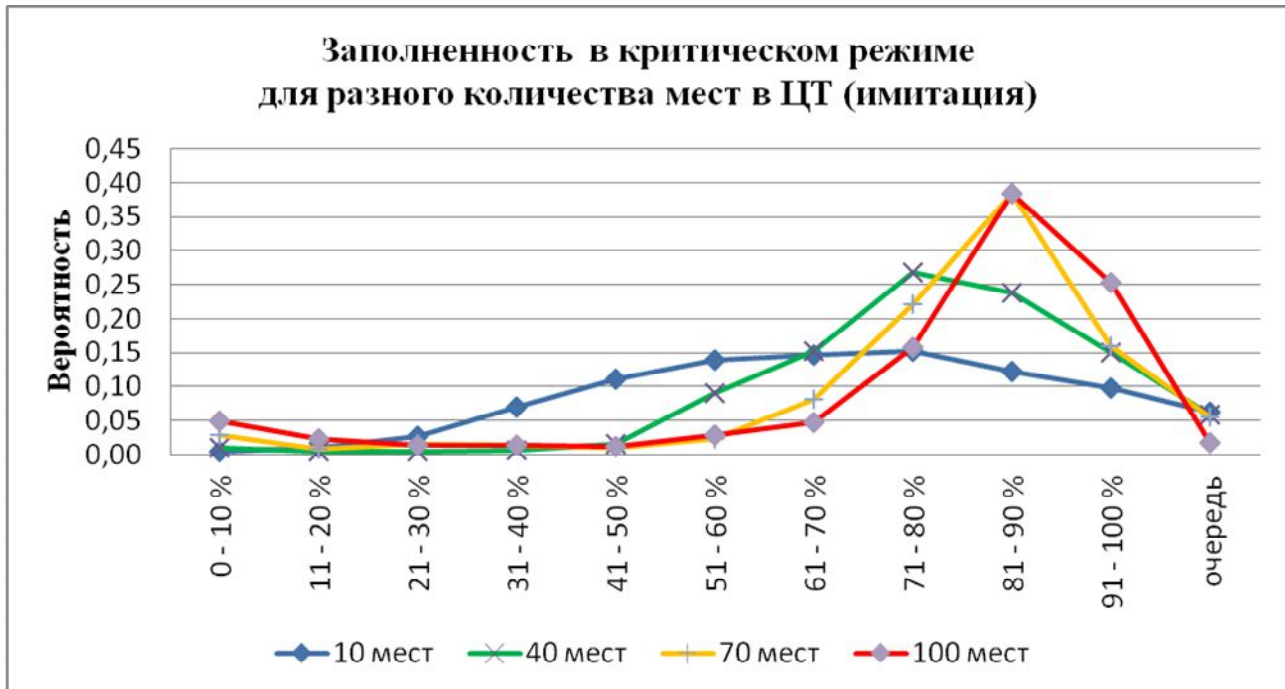


стирования, проведенных преподавателями УрГУПС с помощью Единого портала интернет-тестирования в сфере образования [3], и оно показывает, что обе альтернативы, предположения о показательном или нормальном законах распределения, не хороши. Для такой формы гистограммы можно было бы привлечь аппарат на основе гамма-распределения (родственного к показательному), однако мы предпочли другой путь. Для моделирования продолжительности индивидуального тестирования были взяты данные из протоколов тестирования на 4-15 заданий в случайном порядке с добавлением к каждому случаю 8 минут для получения среднего времени тестирования 0,5 часа, как в аналитическом расчете в [5]. Общее количество событий начала тестирования оказалось близким к 1,5 тыс., соответственно, в каждом подходе в моделируемой марковской цепи было разыграно около 3 тыс. событий, связанных с увеличением или уменьшением текущего номера состояния, а накопленные результаты «наблюдений» можно считать статистически значимыми.

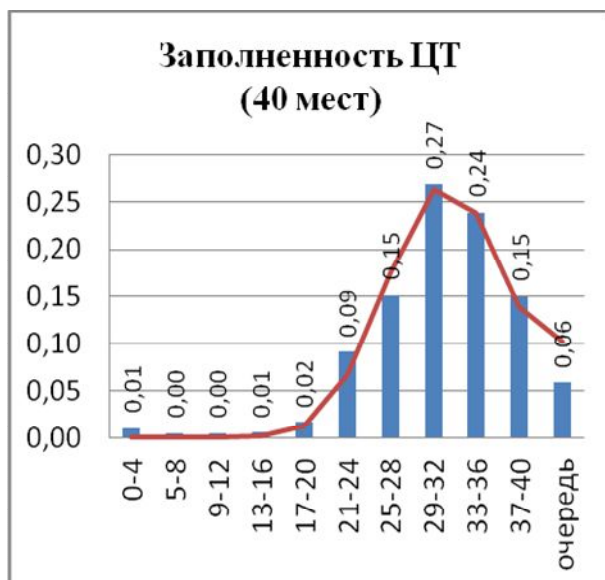
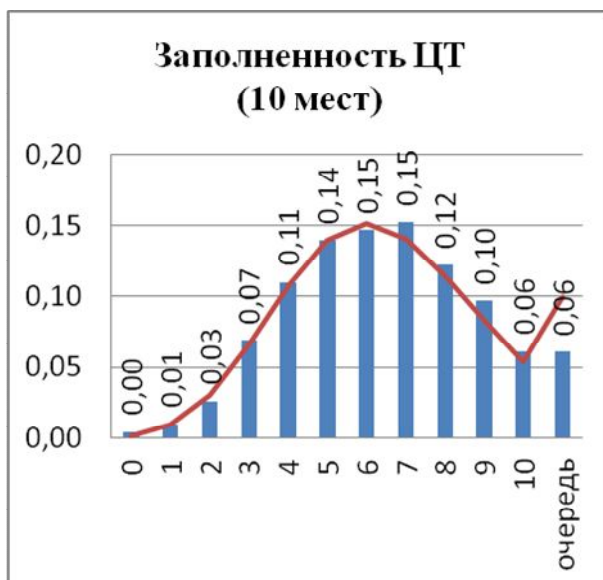
Для моделирования входного потока при разном возможном количестве мест в ЦТ ($n = 10, 20, \dots, 100$) были взяты только выявленные в [5] критические интенсивности входного потока студентов. Предполагались случайные моменты явки студента в ЦТ с такими интенсивностями, для чего была разыграна случайная равномерно распределенная величина. При

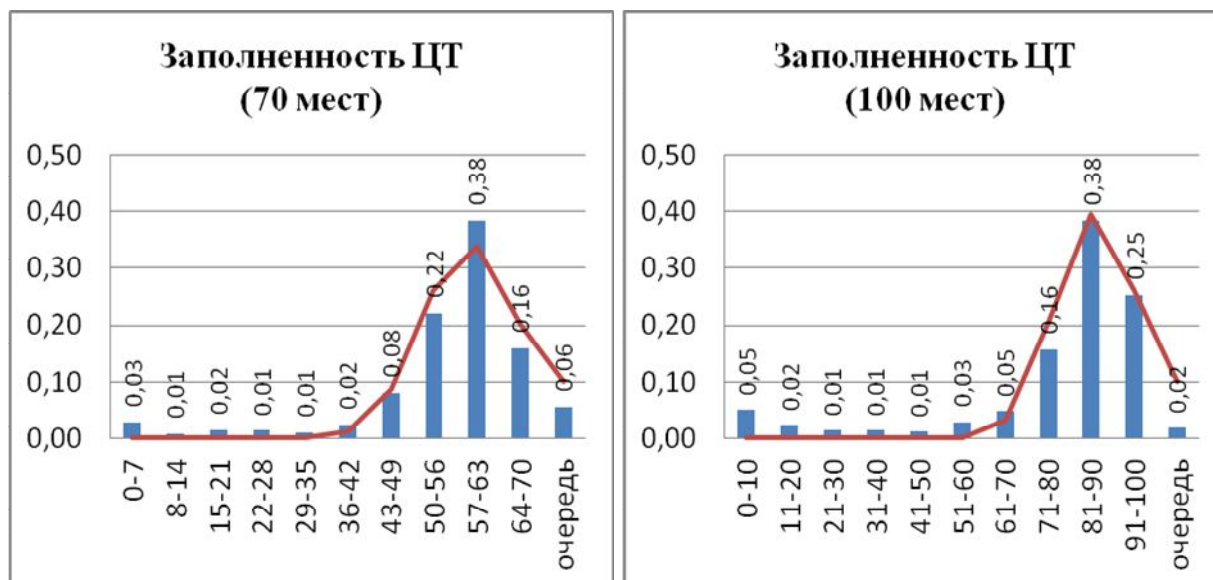
наличии состояния «очередь» момент начала тестирования переносился до освобождения места в ЦТ.

Таким образом, были получены распределения вероятности состояний, которые можно сравнить с предыдущими аналитическими результатами. Характерные зависимости приведены на следующем графике.



Для лучшего понимания различий между результатами имитационного и аналитического моделирования данные представлены на следующих сравнительных графиках (аналитическая зависимость – кривой линией).



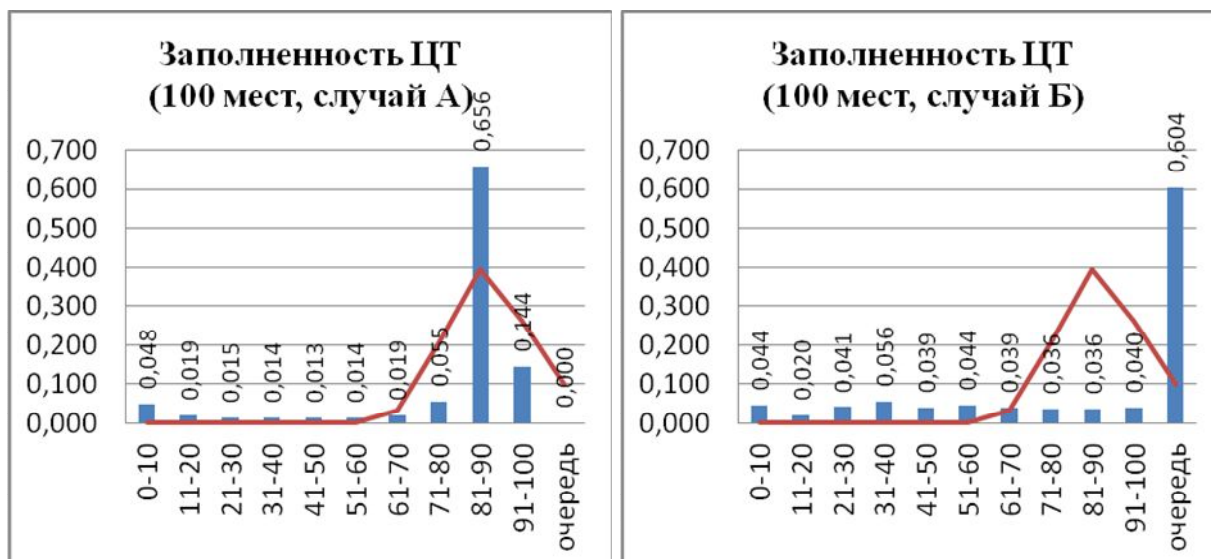


Эти графики демонстрируют, что результаты аналитического моделирования удовлетворительно предсказывают максимум и размытость распределений, полученных с помощью приемов имитации. Однако аналитические предсказания для вероятности очереди оказываются завышенными, и аналитическое моделирование не предсказывает небольшой максимум в области начальных состояний СМО, что объясняется выявленными отклонениями распределения времени на тест от показательного распределения с аналогичным средним значением. В целом, аналитическое моделирование, при его технологической простоте, дало удовлетворительную оценку для имитационной заполненности ЦТ и предсказывает несколько ухудшенные показатели его работы. Это позволяет не привлекать имитационные процедуры при уточнении опытных значений параметров марковской цепи, а ограничиваться аналитическим расчетом.

2. Неравномерности входного потока заявок

Для изучения влияния, которое оказывают неравномерности в потоке входящих заявок, нами были использованы манипуляции с моделируемым временем явки студентов в ЦТ (при сохранении случайной продолжительности теста, как в предыдущем случае). Здесь мы ограничились только вариантом полного использования объема ЦТ, всех ста мест и критической интенсивности входного потока заявок 173 чел./час, определенной в [5].

Во-первых, было испытано предположение о регулярной явке студентов с равным интервалом (случай А), заполненность ЦТ проиллюстрирована на гистограмме в сравнении с аналитическим расчетом. Моды распределений совпадают, однако очередь совсем не возникает, а в 5% вероятностью, наоборот, модель предсказывает полное освобождение ЦТ от студентов.



Во-вторых, была изучена работа ЦТ в предположении о том, что все студенты, которые должны явиться в ЦТ за 105 минут, что соответствует двум академическим часам и перерывам, то есть около трехсот человек (при интенсивности 173 чел/час и периоде 1,75 часа) окажутся в ЦТ в первые 0,5 часа этого периода (случай Б). Результаты моделирования показывают, что функционирование ЦТ за цикл последовательно походит несколько качественно различных этапов:

- Все посадочные места в ЦТ быстро заполняются с дальнейшим накоплением очереди в первые 10 минут цикла.
- Практически сразу начинается выход первых студентов после тестирования и медленное движение очереди, которая продолжает накапливаться и достигает длины 150 человек к сроку 30 минут от начала цикла.
- Очередь непрерывно существует 60% времени, то есть около часа, к концу этого срока скорость её движения стабилизируется.
- В последние 30-40 минут цикла очередь исчезает, однако Центр тестирования не освобождается полностью, к началу следующего цикла остаются занятыми 20-30 мест, студенты заканчивают тест на фоне начала следующего цикла. Это случаи продолжительного тестирования, которое началось поздно из-за долгого ожидания в очереди.

Основные выводы

Результаты аналитического и имитационного моделирования работы ЦТ (в предположении о случайной, но равномерной явке студентов на тест) практически совпадают. Отклонения в законе распределения продолжительности тестирования от предполагаемых теорией очередей не оказывают заметного влияния на заполнение ЦТ. В этой ситуации предпочтительней использовать аналитические процедуры.

Значительное влияние на функционирование ЦТ оказывает неравномерности в потоке входящих заявок, вызванные необходимостью сочетания тестирования и сетки расписания занятий. Центр тестирования сохраняет способность справиться с потоком критической интенсивности, но при этом время ожидания студентом в очереди может превышать время теста, а очередь существует неудовлетворительно долго. В этой связи отметим, что для первых месяцев каждого семестра характерен настолько слабый поток входящих заявок (тестируются только отставшие от своих групп студенты), что Центр тестирования сокращает время работы и проблема становится неактуальной. В последний месяц семестра Центр тестирования работает достаточно напряженно и описанный неприятный эффект имеет место. Однако во время наиболее массового тестирования (предсессионная неделя и сессия) сетка расписания занятий не действует и эффект смягчается.

Литература

1. Вентцель Е.С. Исследование операций. – М. : Сов. Радио, 1988.
2. Дресвянкин В.С. Имитационное моделирование систем массового обслуживания // Международный студенческий научный вестник. – 2016. – № 4-4.; URL: <http://eduherald.ru/ru/article/view?id=16349> (дата обращения: 16.05.2018)
3. Единый портал интернет-тестирования в сфере образования. URL: <http://www.i-exam.ru> (дата обращения: 16.05.2018).
4. Квочко А.А., Курзаева Л.В. Построение имитационной модели процесса обслуживания клиентов банка в системе Arena rockwell software // Международный студенческий научный вестник. – 2017. – № 6.; URL: <http://eduherald.ru/ru/article/view?id=17992> (дата обращения: 16.05.2018).
5. Москвитина А.А., Гончарь П.С. Исследование пропускной способности центра тестирования ВУЗа методами «Теории очередей» // Международный студенческий научный вестник. – 2018. – № 2.; URL: <http://www.eduherald.ru/ru/article/view?id=18163> (дата обращения: 16.05.2018).