**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОДАЖ В МАГАЗИНЕ**

Бильданов Р.Р., Куращенко Л.В., Овсяников И.В., Саржанов Т.Н.

*СУНЦ НГУ, г. Новосибирск, Россия*

*ravilbildanov@gmail.com*

В череде осенне-зимних распродаж “черная пятница” имеет особое значение. В США эта акция занимает лидирующие позиции по показателям прибыли в сегменте интернет-торговли, а также по интенсивности трафика и спроса. Однако, “черная пятница” и другие подобные ей распродажи стимулируют давки во время их проведения. Давки подрывают популярность магазина среди покупателей, а также в давках значительная часть товара становится непригодной для продажи. При особенно масштабных давках может потребоваться капитальный ремонт магазина после черной пятницы. Поэтому является важной задача планировки магазина так, чтобы в “черную пятницу” ему был нанесен минимальный ущерб.

В работе предложена математическая модель ущерба магазину во время “черной пятницы” или любой другой подобной распродажи, а также оптимальная планировка и зонирование магазина для “черной пятницы” на основе предложенной модели.

Модель развита на основе предложенной в олимпиаде IMMC-20 задачи, поэтому данные по товарам, продаваемым в черную пятницу и планировке магазина, взяты из предложенных оргкомитетом IMMC для решения этой олимпиадной задачи. Оргкомитет IMMC предлагал решать задачу для условного магазина бытовой техники с общей стоимостью товаров 900000 долларов.

Для решения задачи определены и проанализированы возможности повреждения товаров во время распродажи. Мы считаем, что функцию ущерба товарам в некоторой точке магазина можно описать следующим образом: . Линейный член здесь описывает неаккуратность покупателей, а квадратичный - конфликты между покупателями, кражи и нелинейную составляющую неаккуратности от количества покупателей в данном отделе магазина. Функция описывает плотность покупателей в данной точке магазина (x,y) в данный момент времени t.

Также предложен способ определения наиболее популярных товаров во время распродажи. Функция для популярности товара Wish определяется как функция от рейтинга товара (есть в данных), скидки на него в распродажу, закупок этого товара на душу населения и его количества в магазине: основание каждого множителя:

 – Относительная величина покупок рассматриваемого товара;

 – Величина скидки относительно максимальной рассмотренной.

 – Значимость количества товара.

 учитывает рейтинг товара. Такую форму записи мы выбрали, потому что для человека более характерно логарифмическое восприятие согласно закону Вебера-Фехнера. Основание 5 выбрано из-за того, что рейтинг принимает значения от 1 до 5.

На основе предложенного набора товаров сделано разбиение всех товаров на 13 групп для возможности зонирования магазина: кухонная техника, крупная бытовая техника, камеры и наушники, мониторы, пылесосы, принтеры, телевизоры, планшеты, игровые ПК и игровые ноутбуки, консоли, стационарные ПК, видеоплееры, ноутбуки. Получено, что для предложенного набора товаров наиболее популярной в “черную пятницу” будет крупная бытовая техника, а наименее популярной - игровые компьютеры и ноутбуки.

В основе нашей модели “черной пятницы” лежит агентный алгоритм (агентное моделирование), построенное средствами пешеходной библиотеки AnyLogic и написанными нами функциями на языке программирования Java с отдельными объектами-агентами, чьи индивидуальные характеристики определяют движение всей системы.

Принцип работы агентной модели следующий: [1]

Каждый покупатель идет к стеллажу со своим отдельным товаром, динамически перестраивая путь, чтобы избежать возможные препятствия (давка людей в проходе или другой стеллаж) и прийти к товару кратчайшим путём. По прибытии покупатель случайным образом стоит у стеллажа от 0,5 до 3 минут для ознакомления с характеристиками товара. Далее по описанному выше принципу покупатель идёт на кассу, оплачивает товар и покидает магазин. Касса реализована блоком пешеходной библиотеки AnyLogic “сервис с очередями”, который имитирует настоящие очереди на кассах со временем обслуживания 1 минута. Прямо пропорционально времени нахождения в отдельной точке каждый покупатель оставляет свой цветной “след” на карте плотности пешеходного потока, соотнеся градации цвета с численной шкалой, мы находим среднюю плотность потока на каждом участке за все время распродажи.

Формула для суммарного ущерба: , где - средняя плотность, S -площадь участка, Т - время распродажи. Линейный член в формуле избыточен, потому что линейная составляющая неаккуратности при сколь угодно большой плотности покупателей вполне просчитываема и уже включена в цену товара. При расчетах можно предположить, что при небольшой плотности покупателей L будет мало и поэтому необходимость учета ущерба в непопулярных отделах магазина будет излишней. Мы считали, что допустимо считать ущерб товарам на стеллаже пренебрежимо малым тогда, когда плотность ни разу не поднималась выше чем до ⅔ от максимума и средняя плотность за все время не выше, чем ⅓ от максимума.

Мы считали, что от данного ущерба L стеллажу может быть повреждено и в итоге не куплено от до товаров. При оценке было получено, что и наиболее вероятно, что повредят товаров.

Денежный же ущерб магазину составит
Таким образом, общий денежный ущерб магазину будет являться числом из интервала

[]

Предложено 3 варианта зонирования для изначальной планировки магазина и два альтернативных варианта планировки, для всех вариантов зонирования и планировки рассчитан возможный ущерб магазину.

Ущерб для 1 зонирования составит от 31000 до 123000 долларов, причем наиболее вероятен ущерб в размере 62000 долларов.
Ущерб для 2 зонирования составит от 23000 до 91000 долларов, причем наиболее вероятен ущерб в размере 46000 долларов.
Ущерб для 3 зонирования составит от 33000 до 130000 долларов, причем наиболее вероятен ущерб в размере 65000 долларов.
Ущерб для 1 планировки составит от 29000 до 114000 долларов, причем наиболее вероятен ущерб в размере 57000 долларов.
Ущерб для 2 планировки составит от 12000 до 48000 долларов, причем наиболее вероятен ущерб в размере 24000 долларов.

При разработке вариантов зонирования мы применяли следующие идеи: [2,3]

1. Должно быть несколько кольцевых путей от входа до касс, притом плотность покупателей на каждом пути должна быть примерно одинакова.
2. Мы также исходили из личного опыта, например, телевизоры обычно выставлены на длинные стеллажи, т.к. на них по всей длине выставлены по 1 экземпляру каждой модели, а остальные коробки лежат за ними.
3. Надо увеличивать площадь областей с большим количеством популярных товаров для избежания больших скоплений людей.

По итогам работы с зонированием сделаны следующие выводы:

1. Покупатели толпятся в узких проходах вне зависимости от Wish товаров на соседних стеллажах.
2. В предложенной планировке слишком много стеллажей, что плохо влияет на пропускную способность.

Создавая новые планировки, мы учли наши прошлые наработки и опирались на следующие соображения [2,3]:

1. Мы пытались раздробить толпу, чтобы они не толпились в узких проходах, для этого мы сделали большое количество разделительных стеллажей.
2. Мы удалили большýю часть стеллажей, чтобы увеличить пропускную способность магазина.
3. Мы использовали стеллажи с наиболее популярными товарами в качестве аттракторов, чтобы сместить покупателей в нужные нам области.
4. Каталевский Д. *Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении,* 2013.
5. Крок Г., Сысоева С. В. *Большая книга директора магазина*, 2015.
6. Леви М., Вейтц Б.А. *Основы розничной торговли*, 1999.