Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Институт компьютерных наук и технологий

Высшая школа интеллектуальных систем и суперкомпьютерных технологий

**Отчёт по расчетной работе № 3**

Дисциплина: Теория вероятности и математическая статистика

Тема: Расчет статистических показателей игры Craps

Выполнил студент гр. 3530901/10001 \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Д.Л. Симоновский

(подпись)

Руководитель \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ К.В. Никитин

(подпись)

“28” мая 2023 г.

Санкт-Петербург

2023

Оглавление

[1. Описание игры 4](#_Toc136187229)

[1.1. Craps 4](#_Toc136187230)

[1.2. Виды ставок в Craps 4](#_Toc136187231)

[2. Теоретическая модель 4](#_Toc136187232)

[2.1. Ставка на «проходит». Pass line. 4](#_Toc136187233)

[2.1.1. Описание 4](#_Toc136187234)

[2.1.2. Исходы 4](#_Toc136187235)

[2.2. Ставка на «не проходит». Don’t pass. 5](#_Toc136187236)

[2.2.1. Описание 5](#_Toc136187237)

[2.2.2. Исходы 5](#_Toc136187238)

[2.3. Дополнительные свободные ставки (free odds) 6](#_Toc136187239)

[2.3.1. Ставка на «проходит» (pass line) 6](#_Toc136187240)

[2.3.2. Ставка на «не проходит» (don’t pass line) 6](#_Toc136187241)

[2.4. Ставка на совпадение «Come» 7](#_Toc136187242)

[2.5. Ставка на несовпадение «Don’t come bar» 7](#_Toc136187243)

[2.6. Ставка на поле (Field) 7](#_Toc136187244)

[2.7. Большая шестерка (Big 6) и большая восьмерка (Big 8) 7](#_Toc136187245)

[2.8. «Тяжелые номера» (Hard ways) 8](#_Toc136187246)

[2.9. Ставки в один бросок (Proposition bets) 8](#_Toc136187247)

[2.10. Ставка на любой крэпс (Any Craps) 8](#_Toc136187248)

[2.11. Ставка на любую семерку (Any Seven) 8](#_Toc136187249)

[2.12. Ставка на крэпс и 11 (Craps and Eleven, C&E) 8](#_Toc136187250)

[2.13. Ставка 2 - Тузы, ставка 12 (Two - Aces, Twelve) 8](#_Toc136187251)

[2.14. Ставка 3, ставка 11 (Three, Any Eleven) 8](#_Toc136187252)

[2.15. «Вилка» (Horn Bet) 8](#_Toc136187253)

[2.16. «Высокая вилка» (Horn High Bet) 8](#_Toc136187254)

[2.17. «Глобус» (World Bet) 8](#_Toc136187255)

[2.18. «Линия крэпса» (Three way craps) 8](#_Toc136187256)

[2.19. Ставки на номера (Win bet, Place bet) 8](#_Toc136187257)

[2.20. Прикуп (Buy) 9](#_Toc136187258)

[2.21. Ставки против номеров (Lose) 9](#_Toc136187259)

[2.22. Лэй (Lay) 9](#_Toc136187260)

[2.23. Характеристики каждой ставки 9](#_Toc136187261)

[2.24. Теоретические функции распределения для некоторых ставок 10](#_Toc136187262)

[2.24.1. Pass – line 10](#_Toc136187263)

[2.24.2. Don’t pass line 10](#_Toc136187264)

[2.24.3. Any Craps 11](#_Toc136187265)

[2.24.4. World bet 11](#_Toc136187266)

[3. Моделирование 12](#_Toc136187267)

[3.1. Общие функции 12](#_Toc136187268)

[3.2. Модель каждой ставки 13](#_Toc136187269)

[3.3. Результаты моделирования 14](#_Toc136187270)

[3.3.1. Pass line 15](#_Toc136187271)

[3.3.2. Don’t pass line 16](#_Toc136187272)

[3.3.3. Free odds pass line 17](#_Toc136187273)

[3.3.4. Free odds don’t pass line 19](#_Toc136187274)

[3.3.5. Come 20](#_Toc136187275)

[3.3.6. Don’t come 21](#_Toc136187276)

[3.3.7. Field 23](#_Toc136187277)

[3.3.8. Big 6 24](#_Toc136187278)

[3.3.9. Big 8 25](#_Toc136187279)

[3.3.10. Hard Way 4 10 27](#_Toc136187280)

[3.3.11. Hard way 6 8 28](#_Toc136187281)

[3.3.12. Any Craps 29](#_Toc136187282)

[3.3.13. Any 7 31](#_Toc136187283)

[3.3.14. Craps and eleven 32](#_Toc136187284)

[3.3.15. Two Aces 12 33](#_Toc136187285)

[3.3.16. Three, Any eleven 35](#_Toc136187286)

[3.3.17. Horn bet 36](#_Toc136187287)

[3.3.18. Horn high bet 37](#_Toc136187288)

[3.3.19. World bet 39](#_Toc136187289)

[3.3.20. Three way craps 40](#_Toc136187290)

[3.3.21. Win bet, Place bet 41](#_Toc136187291)

[3.3.22. Lose 43](#_Toc136187292)

[3.3.23. Buy 4 10 44](#_Toc136187293)

[3.3.24. Buy 5 9 45](#_Toc136187294)

[3.3.25. Buy 6 8 47](#_Toc136187295)

[3.3.26. Lay 4 10 48](#_Toc136187296)

[3.3.27. Lay 5 9 49](#_Toc136187297)

[3.3.28. Lay 6 8 51](#_Toc136187298)

[3.4. Анализ моделирования 52](#_Toc136187299)

[4. Вывод 52](#_Toc136187300)

[5. Приложение 52](#_Toc136187301)

# Описание игры

## Craps

Крэпс является классической настольной игрой.

В игре Крэпс на каждом ходу бросается пара игральных костей.

Игра состоит из раундов, но при этом количество раундов и продолжительность повремени, может быть различной, в зависимости от итогов бросков костей. Для играющего в эту игру человека значение имеет лишь в том, что некоторые ставки можно лишь сделать до начала первого раунда, а другие после. Далее бросаем кости. Когда в первом раунде выпадает сумма: два, три, семь, одиннадцать или двенадцать, то раунд сразу завершается. После этого выплачивают все выигравшие ставки, а проигравшие ставки убирают. Далее раунд будет опять первым, и кости бросают снова.

Когда в первом раунде выпадает сумма: четыре, пять, шесть, восемь, девять или десять (the point), на поле с этой цифрой ставится специальная фишка (шайба), на которой сверху написано ON, это обозначает, что пункт определен, раунд будет продолжаться. Все итоги подводятся после каждого броска костей, а бросать будут до тех пор, пока не выпадет тот же пункт или семь, и только после этого раунд будет считаться завершенным, шайбу переворачивают стороной OFF, и снова бросок станет первым в следующем новом раунде.

## Виды ставок в Craps

В игре Крэпс существует множество ставок:

* «Проходит» (pass line) и «не проходит» (don't pass)
* Дополнительные ставки за линию «проходит» (pass line)
* Не проходит (don't pass) – дополнительные ставки
* Ставки на «COME» – совпадение
* Ставки на «Don't come bar» – несовпадение
* Ставки на номера
* Ставки против номеров
* Ставки на поле (FIELD)
* Большая шестерка (BIG 6) и большая восьмерка (BIG 8)
* Ставки в центральной зоне (prob bet's)

# Теоретическая модель

## Ставка на «проходит». Pass line.

### Описание

Такого рода ставки можно сделать лишь до начала раунда, до того, как будет произведен первый бросок и выброшено очко.

Игрок, который делает ставку на линию «проходит» (pass line), предполагает, что кости лягут статистически правильно. Это означает, что он выиграет, если сразу выпадет семь или одиннадцать и проиграет, если сразу выпадет два, три или двенадцать.

Если выпадет исходная сумма в четыре, пять, шесть, восемь, девять или десять — это значит, что броски должны повторяться до тех пор, пока исходное очко не будет повторено и ставившие на «проходит» (pass line) выиграют, либо пока не будет выброшена сумма семь, и они проиграют.

Доля игорного дома на ставке "проходит" составляет около 1,4%.

### Исходы

Далая эту ставку, существует 2 исхода:

* Победа
* Поражение

Вероятность победы сразу:

Вероятность проигрыша сразу:

Вероятность получить point:

Исходы после point:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| S | 4 | 5 | 6 | 8 | 9 | 10 |
|  |  |  |  |  |  |  |

Следовательно, вероятность проигрыша:

Ожидаемый выигрыш:

Ожидаемый выигрыш на одну ставку:

Доход заведения:

Дисперсия выигрыша/проигрыша

Возвращается к игроку:

Среднее отклонение выигрыша за одну ставку

Индекс волатильности игры:

## Ставка на «не проходит». Don’t pass.

### Описание

Данная ставка является противоположностью ставки «проходит» за одним исключением – если выпадает двенадцать, то ставка просто возвращается игроку (т. е. он ничего не выиграл и не проиграл). По правилам некоторых игорных домов вместо двенадцати может быть двойка, что означает то же самое, что и двенадцать.

Доля игорного дома на ставке «не проходит» составляет около 1,4%.

### Исходы

Делая эту ставку, существует 3 исхода:

* Победа
* Поражение
* Ничья

Вероятность победы сразу:

Вероятность проигрыша сразу:

Вероятность ничьи:

Вероятность point:

Исходы после point:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| S | 4 | 5 | 6 | 8 | 9 | 10 |
|  |  |  |  |  |  |  |

Следовательно, вероятность проигрыша:

Ожидаемый выигрыш:

Ожидаемый выигрыш на одну ставку:

Доход заведения:

Дисперсия выигрыша/проигрыша

Возвращается к игроку:

Среднее отклонение выигрыша за одну ставку

Индекс волатильности игры:

В дальнейшем опустим расчеты в силу их эквивалентности для каждой из ставок и будем приводить только описание конкретной ставки.

## Дополнительные свободные ставки (free odds)

Данные ставки называются свободными, т. к. доход заведения на них нулевой. Их игрок может поставить после того, как выпал «пойнт», если до этого он сделал ставку «проходит» или «не проходит» или на «совпадение» или «не совпадение».

### Ставка на «проходит» (pass line)

В случае, если игрок сделал ставку на «проходит», то он может поставить на выпавшее в первом раунде очко - 4, 5, 6, 8, 9 или 10. Выплаты осуществляются исходя из реальных шансов (вероятностей) получить выпавшее очко.

Если семь очков выпадает раньше, чем повторится установочное очко, то игрок теряет и ставку по линии "проходит", и дополнительную ставку.

В большинстве заведений дополнительная ставка равна исходной ставке на линии «проходит». Данный вид ставки называется одинарной. Однако, если очко составляет шесть или восемь, в большинстве заведений разрешается делать дополнительные ставки впять долларов, если игрок поставил на линию «проходит» по крайней мере три доллара. В некоторых заведениях игрокам разрешают делать дополнительную свободную ставку, в два раза превышающую исходную.

Делая любую дополнительную ставку, игрок существенно снижает гарантированную долю выигрыша игорного дома с 1,4% до более низких значений – чем больше доп. ставка, тем ниже (0.8 % для одинарной ставки и 0.6 % для двойной). Дополнительные ставки игрок может делать в любое время после того, как установлено исходное очко. Он имеет также право снимать сделанные свободные ставки в любой момент до повторного выброса семерки.

### Ставка на «не проходит» (don’t pass line)

В случае, если игрок сделал ставку на «не проходит», то он может поставить на выпадение семёрки. Выплаты осуществляются исходя из реальных шансов (вероятностей) получить семёрку в зависимости от выпавшего исходного очка (пойнта).

Отличие от случая «проходит» в том, что здесь выплаты меньше, чем сама ставка из-за того, что вероятность получить «семерку» всегда выше.

Чаще всего разрешается сделать одинарную ставку. В некоторых заведениях допускаются двойные дополнительные ставки, и там игрок имеет шансы на получение удвоенного выигрыша.

Так же, как и иные дополнительные ставки, эти ставки по выбору игрока можно делать и снимать в любой момент после того, как установлено исходное очко.

## Ставка на совпадение «Come»

Довольно большой сектор игорного стола отведен ставкам на совпадение (come). Данные ставки разыгрываются таким же образом, что и ставки на линии «проходит» (pass line), за исключением того, что их можно делать только после того, как выброшено исходное очко.

Если игрок после выпадения исходного очка сделал ставку на совпадение, то после следующего броска он может сразу выиграть, если выпадет семь или одиннадцать (выплата 1 к 1), сразу проиграть, если выпадет два, три или двенадцать, либо в случае выпадения суммы 4, 5, 6, 8, 9,10 его ставка помещается в прямоугольник с соответствующим номером. Если этот номер выпадет до семерки-ставка выиграет (выплаты 1 к 1).

В случае, если игрок поставил еще доп. ставку, то по ней выплаты будут уже исходя из шансов (см. свободные ставки).

## Ставка на несовпадение «Don’t come bar»

Небольшой сектор игорного стола отведен ставкам на несовпадение. Это сектор Don't Come Bar. Данные ставки разыгрываются таким же образом, что и ставки на линии "не проходит" (don't pass line), за исключением того, что их можно делать только после того, как выброшено исходное очко.

Если игрок после выпадения исходного очка сделал ставку на совпадение, то после следующего броска он может:

* сразу проиграть, если выпадет 7 или 11
* сразу выиграть, если выпадет 2 или 3 (выплата 1 к 1),
* остаться при своих, если выпадет 12,
* либо в случае выпадения суммы 4, 5, 6, 8, 9,10 его ставка помещается в прямоугольник с соответствующим номером. Если семерка выпадет до этого номера, ставка выиграет. (выплаты 1 к 1).

В случае, если игрок поставил еще доп. ставку, то по ней выплаты будут уже исходя из шансов (см. свободные ставки).

## Ставка на поле (Field)

Ставка на то, что при следующем броске выпадет 2, 3, 4, 9, 10, 11 или 12.

На игорном столе поле для этих ставок (Field) занимает заметное место. Это одна большая ставка на несколько номеров сразу.

Если выпадают двойка или двенадцать, то выплаты производятся 2:1.

Все остальные комбинации - три, четыре, девять, десять и одиннадцать – оплачиваются 1:1.

Следует обратить внимание, что в этой зоне игрового стола не хватает номеров пять, шесть, семь и восемь - как раз тех самых, которые выпадают чаще всего.

## Большая шестерка (Big 6) и большая восьмерка (Big 8)

Поля для этих ставок трудно не заметить, но их делают игроки, которые не желают рисковать заметными суммами. Они ставят доллар - другой на эти цифры в расчете на то, что шесть либо восемь выпадет раньше, чем семерка, и тогда они получат выигрыш, равный сумме ставки (1 к 1).

Существует, однако, по пять комбинаций, которые дают в сумме шесть или восемь, и шесть комбинаций, которые в итоге дают семь, так что шансы получить шестерку или восьмёрку составляют 5:6.

## «Тяжелые номера» (Hard ways)

Ставка делается на номера четыре, шесть, восемь, десять. Игрок выигрывает, если выбранная сумма выпадает в виде дубля и проигрывает в случае, если она выпадает не в виде дубля, либо если выпадает 7.

## Ставки в один бросок (Proposition bets)

Тот, кто делает такую ставку, выигрывает или проигрывает в зависимости от того, какая сумма выпадет в следующем броске.

## Ставка на любой крэпс (Any Craps)

Игрок ставит на то, что в следующем броске выпадет 2, 3, 12 (крэпс-комбинация). В случае выигрыша выплаты 7 к 1.

## Ставка на любую семерку (Any Seven)

Игрок ставит на то, что в следующем броске выпадет 7. В случае выигрыша выплаты 4 к 1.

## Ставка на крэпс и 11 (Craps and Eleven, C&E)

Игрок ставит на то, что в следующем броске выпадет 2, 3, 11 или 12. В случае выпадения 2, 3 или 12 выплаты 3 к 1, в случае выпадения 11 – выплаты 7 к 1

## Ставка 2 - Тузы, ставка 12 (Two - Aces, Twelve)

Это две независимые ставки на результат следующего броска. В случае выигрыша выплаты 30 к 1.

## Ставка 3, ставка 11 (Three, Any Eleven)

Это две независимые ставки на результат следующего броска. В случае выигрыша выплаты 15 к 1.

## «Вилка» (Horn Bet)

Игрок ставит на 2, 3, 11, 12, причем на каждый номер по ставке, т. е. 4 ставки. В случае выпадения 2 и 12 выигрыш 30 к 1, в случае 3 и 11 выигрыш 15 к 1.

Для того чтобы сделать такую ставку, нужно поставить сумму кратную четырех. Например, восемь долларов, тогда все четыре номера будут играть по 2 доллара.

## «Высокая вилка» (Horn High Bet)

Игрок ставит на 2, 3, 11, 12, суммарно 5 ставок, т. е. по 1 на любые три из этих номеров и 2 на оставшийся. Выплаты аналогичны обычной «вилке».

## «Глобус» (World Bet)

Ставка сразу на все значения, которые входят в одно бросковые ставки, т. е. на 2, 3, 11, 12 и 7. Ставка делается кратная пяти. Например, 25 долларов, тогда каждый номер из ставки «WORLD» будет играть по пять долларов. В случае выпадения 2 и 12 выигрыш 30 к 1, в случае 3 и 11 выигрыш 15 к 1, в случае выпадения 7 выплаты 4 к 1.

## «Линия крэпса» (Three way craps)

Ставка на три номера крэпса – 2, 3, 12. Ставка принимается кратная трех. Например, бросаете дилеру три фишки по пять долларов и просите поставить на "Линию Крэпса». В случае выпадения 2 и 12 выигрыш 30 к 1, в случае 3 выигрыш 15 к 1.

## Ставки на номера (Win bet, Place bet)

Зона, где делаются ставки на номера, довольно велика и не только потому, что эти ставки активно разыгрываются, но и потому, что там же размещаются ставки на совпадение и несовпадение.

Ставки можно делать на номера: 4, 5, 6, 8, 9, 10. Ставки можно делать на один или несколько номеров. Ставки на номера можно делать на любые суммы, вплоть до максимальной, допускаемой в данном заведении.

Ставка на номер разыгрывается до тех пор, пока не выпадет семерка. В отличие от ставок на совпадение, при ставках на номера не приходится дожидаться повторного выпадения той же суммы. При первом же выпадении заказанного номера происходит выплата

## Прикуп (Buy)

Это ставка на номер 4, 5, 6, 8, 9, 10, причем выплаты в случае выигрыша рассчитываются исходя из вероятностей исходов, как в случае свободных (free) ставок. Но в случае выигрыша игрок должен отдать 5% выигрыша заведению.

## Ставки против номеров (Lose)

Игроки могут сделать ставки на то, что один или более номеров: четыре, пять, шесть, восемь, девять, десять - не выпадут, предупредив об этом работника заведения. Игрок выигрывает, если семерка выпадет ранее, чем указанная в ставке сумма. Выплаты в данной ставке дуальны выплатам при ставках на номера и зависят от того, на какой номер сделана ставка.

## Лэй (Lay)

Это ставка на то, что «7» выпадет раньше, чем выбранный номер (4, 5, 6, 8, 9, 10), причем выплаты в случае выигрыша рассчитываются исходя из вероятностей исходов, как в случае свободных (free) ставок. Но в случае выигрыша игрок должен отдать 5% выигрыша заведению.

## Характеристики каждой ставки

Как было написано выше, опустим одинаковые расчеты каждой величины. Вот итоговая таблица с результатами вычислений:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Ставка |  | Мат.  Ожидание | Доход заведения | RTP | Дисперсия | СКО | Индекс  Волат. |
| 1 | Pass-line | 0,493 | -0,014 | 1,4 | 98,6 | 0,9996 | 0,9998 | 1,649681 |
| 2 | Don’t pass-line | 0,479 | -0,013 | 1,3 | 98,7 | 0,9720 | 0,9859 | 1.62681 |
| 3 | Free odds\_pass-line | 0.493 | -0.012 | 1,3 | 98,8 | 3.5838 | 1.8931 | 1.64987 |
| 4 | Free odds\_dont pass-line | 0,479 | -0.016 | 1,6 | 98,4 | 2.5135 | 1.5854 | 2.6159 |
| 5 | Come | 0.493 | -0.013 | 1.3 | 98,7 | 0.9998 | 0.99991 | 1.64985 |
| 6 | Don’t come | 0.478 | -0.014 | 1,5 | 98,5 | 0.9718 | 0.9998 | 1.64981 |
| 7 | Field | 0.445 | -0.05 | 5.3 | 94,7 | 1.1637 | 1.0787 | 1.7799 |
| 8 | Big\_6, Big\_8 | 0.454 | -0.09 | 9.0 | 91.0 | 0.9092 | 0.9959 | 1.64324 |
| 9 | Hard way\_4\_10 | 0.110 | -0.114 | 11.4 | 88.6 | 6.3208 | 2.51413 | 4.14832 |
| 10 | Hard way\_6\_8 | 0.091 | -0.088 | 8.8 | 91,2 | 8.2826 | 2.8770 | 4.74707 |
| 11 | Any craps | 0.111 | -0.109 | 10.9 | 89,1 | 6.3280 | 2.5155 | 4.15069 |
| 12 | Any seven | 0.166 | -0.168 | 16.8 | 83,2 | 3.4672 | 1.8622 | 3.0727 |
| 13 | Craps\_11, C&E | 0.166 | -0.113 | 11.3 | 88,6 | 4.5309 | 2.1308 | 3.5159 |
| 14 | Two-Aces\_12 | 0.027 | -0.145 | 13.71 | 86,28 | 26.00 | 5.0990 | 8.4133 |
| 15 | Three, Any Eleven | 0.055 | -0.112 | 11.2 | 88.8 | 13.4141 | 3.6055 | 5.94907 |
| 16 | Horn bet | 0.167 | -0.125 | 12.5 | 87,5 | 4,3553 | 2.0868 | 3.4432 |
| 17 | Horn high bet | 0.167 | -0.156 | 15.6 | 84,4 | 7,4402 | 2.7276 | 4.5005 |
| 18 | World bet | 0.333 | -0.134 | 13.42 | 86,6 | 2,6830 | 1.6379 | 2.70253 |
| 19 | Three way craps | 0.111 | -0.129 | 12.90 | 87,07 | 15.3218 | 3.9143 | 6.45859 |
| 20 | Win bet, Place bet | 0.397 | -0.040 | 4.0 | 95,72 | 51.4910 | 7.1757 | 11.8399 |
| 21 | Lose | 0.601 | -0.025 | 2.5 | 97,5 | 23.320 | 4.829 | 7.9678 |
| 22 | Buy\_4\_10 | 0.333 | -0.017 | 1.7 | 98,3 | 1.9334 | 1.3904 | 2.29416 |
| 23 | Buy\_5\_9 | 0.399 | -0.021 | 2.05 | 97,9 | 1.4404 | 1.2001 | 1.98016 |
| 24 | Buy\_6\_8 | 0.454 | -0.024 | 2.42 | 97,6 | 1.1458 | 1.0704 | 1.76616 |
| 25 | Lay\_4\_10 | 0.667 | -0.016 | 1.64 | 98,4 | 0.4834 | 0.6952 | 1.1470 |
| 26 | Lay\_5\_9 | 0.599 | -0.020 | 2.01 | 98,0 | 5.7626 | 2.4005 | 3.96082 |
| 27 | Lay\_6\_8 | 0.546 | -0.021 | 2.14 | 97,9 | 28.6451 | 5.3521 | 8.8309 |

## Теоретические функции распределения для некоторых ставок

Выполним построение теоретических функций распределения, для которых ставок.

### Pass – line

Вероятности:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Выигрыш | -1 | 0 | +1 |
| Вероятность | 0,507 | 0 | 0,493 |

Соответствующая функция распределения:

Используя python, построим график этой функции, используя следующую команду:

plt.plot([-1, 0, 1], [0.507, 0, 0.493])

Полученный график функции распределения:

Изображение выглядит как линия, График, диаграмма

Автоматически созданное описание

### Don’t pass line

Вероятности:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Выигрыш | -1 | 0 | +1 |
| Вероятность | 0,4973 | 0,027 | 0,4929 |

Соответствующая функция распределения:

Используя python, построим график этой функции, используя следующую команду:

plt.plot([-1, 0, 1], [0.4973, 0.027, 0.4929])

Полученный график функции распределения:

Изображение выглядит как линия, График, диаграмма

Автоматически созданное описание

### Any Craps

Вероятности:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Выигрыш | -1 | 0 | +7 |
| Вероятность | 0,889 | 0 | 0,111 |

Соответствующая функция распределения:

Используя python, построим график этой функции, используя следующую команду:

plt.plot([-1, 0, 1], [0.889, 0.0, 0.111])

Полученный график функции распределения:

Изображение выглядит как линия, График, диаграмма, снимок экрана

Автоматически созданное описание

### World bet

Вероятности:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Выигрыш | -1 | 0 | 4 | 15 | 30 |
| Вероятность | 0,666 | 0 | 0,166 | 0,111 | 0,055 |

Соответствующая функция распределения:

Используя python, построим график этой функции, используя следующую команду:

plt.plot([-1, 0, 4, 15, 30], [0.666, 0.0, 0.166, 0.111, 0.055])

Полученный график функции распределения:

Изображение выглядит как линия, График, диаграмма, Параллельный

Автоматически созданное описание

# Моделирование

Выполним моделирование игры Крэпс и попытаемся удостовериться в правильности расчетов пунктов 2.23 и 2.24.

## Общие функции

В ходе моделирования появляется множество одинаковых функций, которые для удобства вынесем в отдельный файл.

В него добавим функцию для подбрасывания дайсов:

def roll():  
 *"""  
 Генерирует два случайных числа,  
 имитирующих бросок кубиков и возвращает их сумму  
 """* dice\_1 = random.randint(1, 6)  
 dice\_2 = random.randint(1, 6)  
 return dice\_1 + dice\_2

Функцию для постройки доверительной вероятности:

def building\_confidence\_probability(round\_history, average\_winnings):  
 *"""  
 Функция для постройки доверительной вероятности  
 """* list\_intervals\_down = []  
 list\_intervals\_up = []  
 dispersion = np.var(round\_history)  
 for i in range(0, len(round\_history) - 1):  
 list\_intervals\_down.append(average\_winnings[i + 1] - (1.65 / math.sqrt(i + 1)) \* dispersion)  
 list\_intervals\_up.append(average\_winnings[i + 1] + (1.65 / math.sqrt(i + 1)) \* dispersion)  
 return list\_intervals\_down, list\_intervals\_up

Функции для отрисовки каждого из графиков:

def print\_confidence\_probability(list\_intervals\_down, list\_intervals\_up):  
 *"""  
 Функция для отрисовки доверительной вероятности  
 """* plt.title("График доверительной вероятности")  
 plt.plot(list\_intervals\_down)  
 plt.plot(list\_intervals\_up)  
 plt.show()

def print\_average\_winnings(average\_winnings, experiment):  
 *"""  
 Функция для отрисовки средних выигрышей  
 """* plt.title("График средних выигрышей")  
 plt.plot(average\_winnings)  
 plt.hlines(np.median(average\_winnings), 0, experiment, colors='r', label='Медиана')  
 a = np.std(average\_winnings)  
 plt.hlines(a, 0, experiment, colors='g', label='СКО')  
 plt.hlines(-a, 0, experiment, colors='y', label='-СКО')  
 plt.ylim(-0.2, 0.2)  
 plt.xlim(0, 10000)  
 plt.legend()  
 plt.show()

def print\_distribution\_winnings(round\_history, experiment, situations):  
 *"""  
 Функция для отрисовки распределения выигрышей  
 """* plt.title("График распределения выигрышей")  
 for i in situations:  
 plt.vlines(i, 0, round\_history.count(i) / experiment)  
 plt.show()

Вызов функций, отвечающих за графики, перенесем в отдельную функцию:

def build\_graphic(list\_intervals\_down, list\_intervals\_up, average\_winnings, experiment, round\_history, situations):  
 print\_confidence\_probability(list\_intervals\_down, list\_intervals\_up)  
 print\_average\_winnings(average\_winnings, experiment)  
 print\_distribution\_winnings(round\_history, experiment, situations)

Так же вынесем функцию для отрисовки результатов игры в консоль:

def print\_results(win, experiment, winnings, bet, round\_history, overall\_length, game\_number, round\_history):  
 print(f'Шанс победы: {win / experiment}\n'  
 f'Ожидаемый выигрыш: {winnings}')  
  
 EV\_per\_Unit = winnings / (experiment \* bet)  
 print(f'Ожидаемый выигрыш за 1 ставку: {EV\_per\_Unit}\n'  
 f'Доход заведения: {EV\_per\_Unit \* 100}')  
  
 return\_to\_player = 1 + winnings / (experiment \* bet)  
 print(f'Процент возврата игроку: {return\_to\_player}')  
  
 var = statistics.pvariance(round\_history)  
 print(f'Дисперсия: {var}')  
  
 standard\_deviation = var \*\* 0.5  
 print(f'Среднеквадратичное отклонение: {standard\_deviation}')  
  
 print(f'Средний суммарный выигрыш: {EV\_per\_Unit \* experiment}\n'  
 f'Среднее квадратическое отклонение: {standard\_deviation \* (experiment \*\* 0.5)}')  
  
 VI = 1.65 \* standard\_deviation  
 confidence\_interval\_low = return\_to\_player - VI / math.sqrt(experiment)  
 confidence\_interval\_up = return\_to\_player + VI / math.sqrt(experiment)  
  
 print(f'Доверительный интервал: [{confidence\_interval\_low}; {confidence\_interval\_up}]\n'  
 f'Индекс волатильности игры: {VI}\n'  
 f'Средняя продолжительность игры: {overall\_length / game\_number}')

Итоговый результат можно найти в приложении.

## Модель каждой ставки

Поскольку каждая ставка механизмом очень похожа на остальные, рассмотрим общий принцип построения кода на примере ставки «pass line».

У нас есть функция roud, она отвечает за 1 раунд игры:

def round():  
 point = roll()  
 if point in (7, 11):  
 return True  
 elif point in (2, 3, 12):  
 return False  
 while True:  
 roll\_result = roll()  
 if roll\_result == point:  
 return True  
 elif roll\_result == 7:  
 return False

Функцию round несколько раз вызывает функция game, которая занимается обработкой результата ставки и следит за капиталом.

def game(experiment):  
 bet = 1  
 win = 0  
  
 capital = 1  
 game\_number = 0  
 game\_length = 0  
 overall\_length = 0  
 average\_winnings = []  
 round\_history = []  
 winnings = 0  
 for i in range(experiment):  
 game\_length += 1  
 if capital == 0:  
 game\_number += 1  
 capital = 1  
 overall\_length += game\_length  
 game\_length = 0  
 lets\_play = round()  
 if lets\_play:  
 round\_history.append(1)  
 win += 1  
 winnings += bet  
 capital += bet  
 else:  
 round\_history.append(-1)  
 winnings -= bet  
 capital -= bet  
 average\_winnings.append(winnings / ((i + 1) \* bet))

Так же именно эта функция отвечает за вывод результата в консоль:

list\_intervals\_down, list\_intervals\_up = building\_confidence\_probability(round\_history, average\_winnings)  
print\_results(win, experiment, winnings, bet, round\_history, overall\_length, game\_number)  
return list\_intervals\_down, list\_intervals\_up, average\_winnings, round\_history

Она вызывается в main, который после этого отрисовывает графики:

def main():  
 experiment = 1\_000\_000  
 list\_intervals\_down, list\_intervals\_up, average\_winnings, round\_history = game(experiment)  
 build\_graphic(list\_intervals\_down, list\_intervals\_up, average\_winnings, experiment, round\_history, (-1, 1))

## Результаты моделирования

Рассмотрим результаты моделирования каждой ставки, а в конце сравним полученные значения с теоретическими:

### Pass line

Характеристика моделирования:

Шанс победы: 0.492623

Ожидаемый выигрыш: -14754

Ожидаемый выигрыш за 1 ставку: -0.014754

Доход заведения: -1.4754

Процент возврата игроку: 0.985246

Дисперсия: 0.9997823194840001

Среднеквадратичное отклонение: 0.9998911538182544

Средний суммарный выигрыш: -14754.0

Среднее квадратическое отклонение: 999.8911538182545

Доверительный интервал: [0.9835961795961998; 0.9868958204038001]

Индекс волатильности игры: 1.6498204038001199

Средняя продолжительность игры: 67.72077746173642

График доверительной вероятности:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, линия, Прямоугольник

Автоматически созданное описание

График средних выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, График, линия

Автоматически созданное описание

График распределения выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Прямоугольник, линия

Автоматически созданное описание

### Don’t pass line

Характеристика моделирования:

Шанс победы: 0.479173

Ожидаемый выигрыш: -13738

Ожидаемый выигрыш за 1 ставку: -0.013738

Доход заведения: -1.3738000000000001

Процент возврата игроку: 0.986262

Дисперсия: 0.9718952673559998

Среднеквадратичное отклонение: 0.9858474868639672

Средний суммарный выигрыш: -13738.0

Среднее квадратическое отклонение: 985.8474868639672

Доверительный интервал: [0.9846353516466744; 0.9878886483533256]

Индекс волатильности игры: 1.6266483533255458

Средняя продолжительность игры: 72.73754273659708

График доверительной вероятности:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, линия, диаграмма

Автоматически созданное описание

График средних выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, График, диаграмма

Автоматически созданное описание

График распределения выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Прямоугольник, линия

Автоматически созданное описание

### Free odds pass line

Характеристика моделирования:

Шанс победы: 0.493631

Ожидаемый выигрыш: -11742.799999983057

Ожидаемый выигрыш за 1 ставку: -0.011742799999983056

Доход заведения: -1.1742799999983056

Процент возврата игроку: 0.9882572000000169

Дисперсия: 3.58419334664816

Среднеквадратичное отклонение: 1.8931965948226719

Средний суммарный выигрыш: -11742.799999983057

Среднее квадратическое отклонение: 1893.1965948226718

Доверительный интервал: [0.9851334256185595; 0.9913809743814743]

Индекс волатильности игры: 3.1237743814574084

Средняя продолжительность игры: 142.83115765313443

График доверительной вероятности:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, линия, диаграмма

Автоматически созданное описание

График средних выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, График, диаграмма

Автоматически созданное описание

График распределения выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, диаграмма, линия

Автоматически созданное описание

### Free odds don’t pass line

Характеристика моделирования:

Шанс победы: 0.479125

Ожидаемый выигрыш: -14849.61000002564

Ожидаемый выигрыш за 1 ставку: -0.014849610000025638

Доход заведения: -1.484961000002564

Процент возврата игроку: 0.9851503899999744

Дисперсия: 2.512139248182848

Среднеквадратичное отклонение: 1.584972948722737

Средний суммарный выигрыш: -14849.61000002564

Среднее квадратическое отклонение: 1584.972948722737

Доверительный интервал: [0.9825351846345819; 0.9877655953653669]

Индекс волатильности игры: 2.6152053653925162

Средняя продолжительность игры: 108.88048461034708

График доверительной вероятности:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, линия, Прямоугольник

Автоматически созданное описание

График средних выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, График, линия

Автоматически созданное описание

График распределения выигрышей:

Изображение выглядит как текст, диаграмма, линия, График

Автоматически созданное описание

### Come

Характеристика моделирования:

Шанс победы: 0.492772

Ожидаемый выигрыш: -14455

Ожидаемый выигрыш за 1 ставку: -0.014455

Доход заведения: -1.4455

Процент возврата игроку: 0.985545

Дисперсия: 0.9997910525571053

Среднеквадратичное отклонение: 0.9998955208206032

Средний суммарный выигрыш: -14455.0

Среднее квадратическое отклонение: 999.8955208206032

Доверительный интервал: [0.9838951723906461; 0.987194827609354]

Индекс волатильности игры: 1.6498276093539952

Средняя продолжительность игры: 69.1704364667635

График доверительной вероятности:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, линия, диаграмма

Автоматически созданное описание

График средних выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, График, линия

Автоматически созданное описание

График распределения выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Прямоугольник, линия

Автоматически созданное описание

### Don’t come

Характеристика моделирования:

Шанс победы: 0.480062

Ожидаемый выигрыш: -12337

Ожидаемый выигрыш за 1 ставку: -0.012337

Доход заведения: -1.2337

Процент возврата игроку: 0.987663

Дисперсия: 0.9723097705885688

Среднеквадратичное отклонение: 0.9860576913084593

Средний суммарный выигрыш: -12337.0

Среднее квадратическое отклонение: 986.0576913084593

Доверительный интервал: [0.986036004809341; 0.989289995190659]

Индекс волатильности игры: 1.6269951906589577

Средняя продолжительность игры: 80.56649451258876

График доверительной вероятности:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, линия, диаграмма

Автоматически созданное описание

График средних выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, График, линия

Автоматически созданное описание

График распределения выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Прямоугольник, линия

Автоматически созданное описание

### Field

Характеристика моделирования:

Шанс победы: 0.444599

Ожидаемый выигрыш: -55132

Ожидаемый выигрыш за 1 ставку: -0.055132

Доход заведения: -5.5132

Процент возврата игроку: 0.944868

Дисперсия: 0.996960462576

Среднеквадратичное отклонение: 0.9984790746810872

Средний суммарный выигрыш: -55132.0

Среднее квадратическое отклонение: 998.4790746810872

Доверительный интервал: [0.9432205095267763; 0.9465154904732238]

Индекс волатильности игры: 1.6474904732237938

Средняя продолжительность игры: 18.135602749415114

График доверительной вероятности:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, линия, Прямоугольник

Автоматически созданное описание

График средних выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, линия, График

Автоматически созданное описание

График распределения выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, линия, диаграмма

Автоматически созданное описание

### Big 6

Характеристика моделирования:

Шанс победы: 0.454669

Ожидаемый выигрыш: -90662

Ожидаемый выигрыш за 1 ставку: -0.090662

Доход заведения: -9.0662

Процент возврата игроку: 0.909338

Дисперсия: 0.991780401756

Среднеквадратичное отклонение: 0.9958817207660757

Средний суммарный выигрыш: -90662.0

Среднее квадратическое отклонение: 995.8817207660758

Доверительный интервал: [0.9076947951607359; 0.910981204839264]

Индекс волатильности игры: 1.6432048392640248

Средняя продолжительность игры: 11.028841805728655

График доверительной вероятности:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, линия, диаграмма

Автоматически созданное описание

График средних выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, линия, График

Автоматически созданное описание

График распределения выигрышей:

**Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Прямоугольник, линия

Автоматически созданное описание**

### Big 8

Характеристика моделирования:

Шанс победы: 0.454614

Ожидаемый выигрыш: -90772

Ожидаемый выигрыш за 1 ставку: -0.090772

Доход заведения: -9.077200000000001

Процент возврата игроку: 0.909228

Дисперсия: 0.991760444016

Среднеквадратичное отклонение: 0.9958717005799492

Средний суммарный выигрыш: -90772.0

Среднее квадратическое отклонение: 995.8717005799492

Доверительный интервал: [0.9075848116940431; 0.9108711883059569]

Индекс волатильности игры: 1.6431883059569161

Средняя продолжительность игры: 11.016138804736988

График доверительной вероятности:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, линия, диаграмма

Автоматически созданное описание

График средних выигрышей:

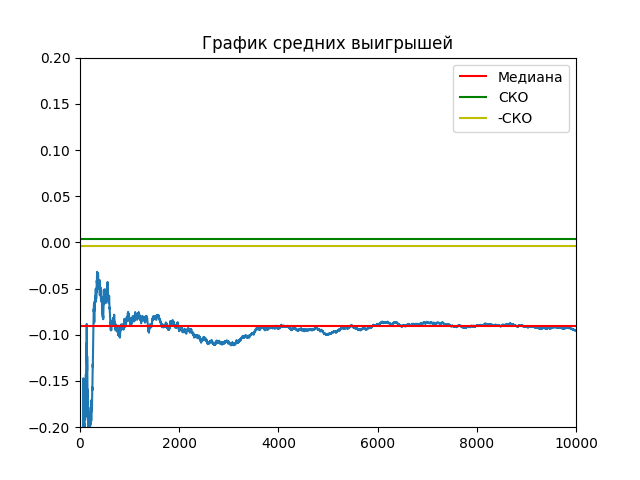


График распределения выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Прямоугольник, линия

Автоматически созданное описание

### Hard Way 4 10

Характеристика моделирования:

Шанс победы: 0.11084

Ожидаемый выигрыш: -113280

Ожидаемый выигрыш за 1 ставку: -0.11328

Доход заведения: -11.328000000000001

Процент возврата игроку: 0.88672

Дисперсия: 6.307487641599999

Среднеквадратичное отклонение: 2.5114712105855403

Средний суммарный выигрыш: -113280.0

Среднее квадратическое отклонение: 2511.4712105855406

Доверительный интервал: [0.8825760725025338; 0.8908639274974661]

Индекс волатильности игры: 4.143927497466142

Средняя продолжительность игры: 8.814777899304943

График доверительной вероятности:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, линия, диаграмма

Автоматически созданное описание

График средних выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, График, линия

Автоматически созданное описание

График распределения выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Прямоугольник, линия

Автоматически созданное описание

### Hard way 6 8

Характеристика моделирования:

Шанс победы: 0.091304

Ожидаемый выигрыш: -269568

Ожидаемый выигрыш за 1 ставку: -0.269568

Доход заведения: -26.956799999999998

Процент возврата игроку: 0.730432

Дисперсия: 8.330103640063998

Среднеквадратичное отклонение: 2.886191892453445

Средний суммарный выигрыш: -269568.0

Среднее квадратическое отклонение: 2886.1918924534452

Доверительный интервал: [0.7256697833774518; 0.7351942166225481]

Индекс волатильности игры: 4.762216622548184

Средняя продолжительность игры: 3.708693168328585

График доверительной вероятности:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, линия, диаграмма

Автоматически созданное описание

График средних выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, линия, дисплей

Автоматически созданное описание

График распределения выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Прямоугольник, линия

Автоматически созданное описание

### Any Craps

Характеристика моделирования:

Шанс победы: 0.11172

Ожидаемый выигрыш: -106240

Ожидаемый выигрыш за 1 ставку: -0.10624

Доход заведения: -10.624

Процент возврата игроку: 0.89376

Дисперсия: 6.3512730624

Среднеквадратичное отклонение: 2.520173220713211

Средний суммарный выигрыш: -106240.0

Среднее квадратическое отклонение: 2520.173220713211

Доверительный интервал: [0.8896017141858232; 0.8979182858141768]

Индекс волатильности игры: 4.158285814176798

Средняя продолжительность игры: 9.412192688528293

График доверительной вероятности:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, линия, диаграмма

Автоматически созданное описание

График средних выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, линия, График

Автоматически созданное описание

График распределения выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Прямоугольник, линия

Автоматически созданное описание

### Any 7

Характеристика моделирования:

Шанс победы: 0.166797

Ожидаемый выигрыш: -166015

Ожидаемый выигрыш за 1 ставку: -0.166015

Доход заведения: -16.601499999999998

Процент возврата игроку: 0.833985

Дисперсия: 3.474394019775

Среднеквадратичное отклонение: 1.8639726445887022

Средний суммарный выигрыш: -166015.0

Среднее квадратическое отклонение: 1863.9726445887022

Доверительный интервал: [0.8309094451364286; 0.8370605548635713]

Индекс волатильности игры: 3.0755548635713583

Средняя продолжительность игры: 6.023497735158057

График доверительной вероятности:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, линия, Прямоугольник

Автоматически созданное описание

График средних выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, График, линия

Автоматически созданное описание

График распределения выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Прямоугольник, линия

Автоматически созданное описание

### Craps and eleven

Характеристика моделирования:

Шанс победы: 0.166837

Ожидаемый выигрыш: -109992

Ожидаемый выигрыш за 1 ставку: -0.109992

Доход заведения: -10.9992

Процент возврата игроку: 0.890008

Дисперсия: 4.549197759936

Среднеквадратичное отклонение: 2.1328848445089577

Средний суммарный выигрыш: -109992.0

Среднее квадратическое отклонение: 2132.8848445089575

Доверительный интервал: [0.8864887400065602; 0.8935272599934398]

Индекс волатильности игры: 3.51925999343978

Средняя продолжительность игры: 9.089087851656592

График доверительной вероятности:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, линия, Прямоугольник

Автоматически созданное описание

График средних выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, График, линия

Автоматически созданное описание

График распределения выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Прямоугольник, дисплей

Автоматически созданное описание

### Two Aces 12

Характеристика моделирования:

Шанс победы: 0.027696

Ожидаемый выигрыш: -141424

Ожидаемый выигрыш за 1 ставку: -0.141424

Доход заведения: -14.142399999999999

Процент возврата игроку: 0.858576

Дисперсия: 25.878703252224

Среднеквадратичное отклонение: 5.087111484155227

Средний суммарный выигрыш: -141424.0

Среднее квадратическое отклонение: 5087.111484155227

Доверительный интервал: [0.8501822660511439; 0.8669697339488561]

Индекс волатильности игры: 8.393733948856124

Средняя продолжительность игры: 7.0698651056248405

График доверительной вероятности:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, линия, Прямоугольник

Автоматически созданное описание

График средних выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, линия, График

Автоматически созданное описание

График распределения выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Прямоугольник, линия

Автоматически созданное описание

### Three, Any eleven

Характеристика моделирования:

Шанс победы: 0.055235

Ожидаемый выигрыш: -116240

Ожидаемый выигрыш за 1 ставку: -0.11624

Доход заведения: -11.623999999999999

Процент возврата игроку: 0.88376

Дисперсия: 13.359128262399999

Среднеквадратичное отклонение: 3.6550141261560123

Средний суммарный выигрыш: -116240.0

Среднее квадратическое отклонение: 3655.0141261560125

Доверительный интервал: [0.8777292266918426; 0.8897907733081574]

Индекс волатильности игры: 6.0307733081574195

Средняя продолжительность игры: 8.600758657468733

График доверительной вероятности:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, линия, диаграмма

Автоматически созданное описание

График средних выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, линия, График

Автоматически созданное описание

График распределения выигрышей:

**Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Прямоугольник, линия

Автоматически созданное описание**

### Horn bet

Характеристика моделирования:

Шанс победы: 0.166293

Ожидаемый выигрыш: -126451.75

Ожидаемый выигрыш за 1 ставку: -0.12645175

Доход заведения: -12.645175

Процент возврата игроку: 0.87354825

Дисперсия: 4.346022392421937

Среднеквадратичное отклонение: 2.0847115849493276

Средний суммарный выигрыш: -126451.75

Среднее квадратическое отклонение: 2084.7115849493275

Доверительный интервал: [0.8701084758848336; 0.8769880241151664]

Индекс волатильности игры: 3.4397741151663905

Средняя продолжительность игры: 3.9565217391304346

График доверительной вероятности:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, линия, диаграмма

Автоматически созданное описание

График средних выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, График, линия

Автоматически созданное описание

График распределения выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, диаграмма, Прямоугольник

Автоматически созданное описание

### Horn high bet

Характеристика моделирования:

Шанс победы: 0.167228

Ожидаемый выигрыш: -153649.75

Ожидаемый выигрыш за 1 ставку: -0.15364975

Доход заведения: -15.364975

Процент возврата игроку: 0.84635025

Дисперсия: 7.474679066824937

Среднеквадратичное отклонение: 2.7339859302536538

Средний суммарный выигрыш: -153649.75

Среднее квадратическое отклонение: 2733.985930253654

Доверительный интервал: [0.8418391732150814; 0.8508613267849185]

Индекс волатильности игры: 4.5110767849185285

Средняя продолжительность игры: 11.0

График доверительной вероятности:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, линия, диаграмма

Автоматически созданное описание

График средних выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, линия, График

Автоматически созданное описание

График распределения выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, дисплей, Прямоугольник

Автоматически созданное описание

### World bet

Характеристика моделирования:

Шанс победы: 0.333303

Ожидаемый выигрыш: -133307.80000030546

Ожидаемый выигрыш за 1 ставку: -0.13330780000030545

Доход заведения: -13.330780000030545

Процент возврата игроку: 0.8666921999996946

Дисперсия: 2.69255027045916

Среднеквадратичное отклонение: 1.640899226174222

Средний суммарный выигрыш: -133307.80000030546

Среднее квадратическое отклонение: 1640.899226174222

Доверительный интервал: [0.8639847162765071; 0.8693996837228821]

Индекс волатильности игры: 2.7074837231874658

Средняя продолжительность игры: 1.3636363636363635

График доверительной вероятности:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, линия, Прямоугольник

Автоматически созданное описание

График средних выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, График, линия

Автоматически созданное описание

График распределения выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, диаграмма, линия

Автоматически созданное описание

### Three way craps

Характеристика моделирования:

Шанс победы: 0.111324

Ожидаемый выигрыш: -190518.0

Ожидаемый выигрыш за 1 ставку: -0.127012

Доход заведения: -12.701200000000002

Процент возврата игроку: 0.872988

Дисперсия: 15.257940903711999

Среднеквадратичное отклонение: 3.9061414341664586

Средний суммарный выигрыш: -127012.00000000001

Среднее квадратическое отклонение: 3906.1414341664586

Доверительный интервал: [0.8665428666336253; 0.8794331333663746]

Индекс волатильности игры: 6.445133366374656

Средняя продолжительность игры: 8.254173340158182

График доверительной вероятности:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, линия, диаграмма

Автоматически созданное описание

График средних выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, линия, График

Автоматически созданное описание

График распределения выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, дисплей, Прямоугольник

Автоматически созданное описание

### Win bet, Place bet

Характеристика моделирования:

Шанс победы: 0.395144

Ожидаемый выигрыш: -256180.40000103542

Ожидаемый выигрыш за 1 ставку: -0.042696733333505904

Доход заведения: -4.269673333350591

Процент возврата игроку: 0.9573032666664941

Дисперсия: 51.4735691985892

Среднеквадратичное отклонение: 7.174508289673182

Средний суммарный выигрыш: -42696.7333335059

Среднее квадратическое отклонение: 7174.508289673182

Доверительный интервал: [0.9454653279885333; 0.9691412053444549]

Индекс волатильности игры: 11.83793867796075

Средняя продолжительность игры: 27.663282525104428

График доверительной вероятности:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, линия, диаграмма

Автоматически созданное описание

График средних выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, График, линия

Автоматически созданное описание

График распределения выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, диаграмма, линия

Автоматически созданное описание

### Lose

Характеристика моделирования:

Шанс победы: 0.604298

Ожидаемый выигрыш: -1520230.3772700434

Ожидаемый выигрыш за 1 ставку: -0.024130640909048307

Доход заведения: -2.4130640909048306

Процент возврата игроку: 0.9758693590909517

Дисперсия: 25.7334439296046

Среднеквадратичное отклонение: 5.24672570356803

Средний суммарный выигрыш: -24130.640909048307

Среднее квадратическое отклонение: 50246.72570356803

Доверительный интервал: [0.8929622616800645; 1.058776456501839]

Индекс волатильности игры: 8.90709741088725

Средняя продолжительность игры: 51.52228476992202

График доверительной вероятности:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, линия, диаграмма

Автоматически созданное описание

График средних выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, График, диаграмма

Автоматически созданное описание

График распределения выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, линия, диаграмма

Автоматически созданное описание

### Buy 4 10

Характеристика моделирования:

Шанс победы: 0.333726

Ожидаемый выигрыш: -15508.299999924358

Ожидаемый выигрыш за 1 ставку: -0.015508299999924358

Доход заведения: -1.5508299999924358

Процент возврата игроку: 0.9844917000000757

Дисперсия: 1.9350266076311102

Среднеквадратичное отклонение: 1.3910523382069815

Средний суммарный выигрыш: -15508.299999924358

Среднее квадратическое отклонение: 1391.0523382069814

Доверительный интервал: [0.9821964636420342; 0.9867869363581172]

Индекс волатильности игры: 2.295236358041519

Средняя продолжительность игры: 69.78191081024495

График доверительной вероятности:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, линия, Прямоугольник

Автоматически созданное описание

График средних выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, График, линия

Автоматически созданное описание

График распределения выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Прямоугольник, дисплей

Автоматически созданное описание

### Buy 5 9

Характеристика моделирования:

Шанс победы: 0.399908

Ожидаемый выигрыш: -20225.3999998537

Ожидаемый выигрыш за 1 ставку: -0.0202253999998537

Доход заведения: -2.02253999998537

Процент возврата игроку: 0.9797746000001463

Дисперсия: 1.4404895031948397

Среднеквадратичное отклонение: 1.2002039423343183

Средний суммарный выигрыш: -20225.3999998537

Среднее квадратическое отклонение: 1200.2039423343183

Доверительный интервал: [0.9777942634952946; 0.9817549365049979]

Индекс волатильности игры: 1.980336504851625

Средняя продолжительность игры: 57.83699676075891

График доверительной вероятности:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, линия, Прямоугольник

Автоматически созданное описание

График средних выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, График, линия

Автоматически созданное описание

График распределения выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Прямоугольник, дисплей

Автоматически созданное описание

### Buy 6 8

Характеристика моделирования:

Шанс победы: 0.45439

Ожидаемый выигрыш: -23061.49999988216

Ожидаемый выигрыш за 1 ставку: -0.02306149999988216

Доход заведения: -2.306149999988216

Процент возврата игроку: 0.9769385000001178

Дисперсия: 1.14600894221775

Среднеквадратичное отклонение: 1.0705180718781677

Средний суммарный выигрыш: -23061.49999988216

Среднее квадратическое отклонение: 1070.5180718781678

Доверительный интервал: [0.9751721451815188; 0.9787048548187168]

Индекс волатильности игры: 1.7663548185989766

Средняя продолжительность игры: 54.05411103302881

График доверительной вероятности:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, линия, диаграмма

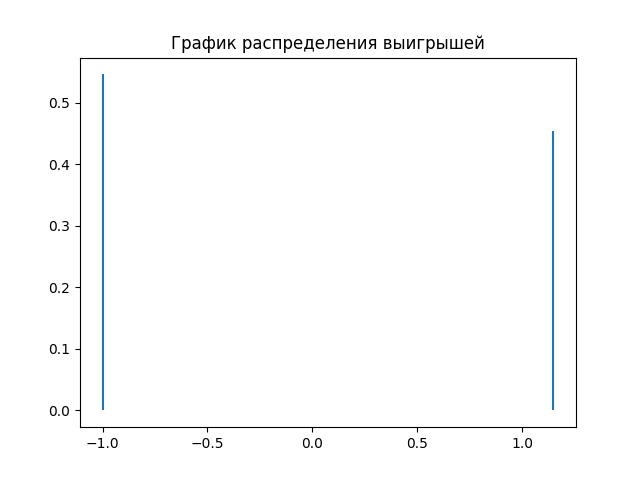
Автоматически созданное описание

График средних выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, График, линия

Автоматически созданное описание

График распределения выигрышей:



### Lay 4 10

Характеристика моделирования:

Шанс победы: 0.666245

Ожидаемый выигрыш: -17288.624999892687

Ожидаемый выигрыш за 1 ставку: -0.01728862499989269

Доход заведения: -1.7288624999892688

Процент возврата игроку: 0.9827113750001073

Дисперсия: 0.4837776315706094

Среднеквадратичное отклонение: 0.6955412508044432

Средний суммарный выигрыш: -17288.624999892687

Среднее квадратическое отклонение: 695.5412508044432

Доверительный интервал: [0.98156373193628; 0.9838590180639346]

Индекс волатильности игры: 1.1476430638273312

Средняя продолжительность игры: 71.22978844647055

График доверительной вероятности:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, линия, диаграмма

Автоматически созданное описание

График средних выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, линия, График

Автоматически созданное описание

График распределения выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Прямоугольник, линия

Автоматически созданное описание

### Lay 5 9

Характеристика моделирования:

Шанс победы: 0.60074

Ожидаемый выигрыш: -56373.99999947053

Ожидаемый выигрыш за 1 ставку: -0.018791333333156843

Доход заведения: -1.8791333333156843

Процент возврата игроку: 0.9812086666668431

Дисперсия: 5.760245828957791

Среднеквадратичное отклонение: 2.4000512138197783

Средний суммарный выигрыш: -18791.333333156843

Среднее квадратическое отклонение: 2400.0512138197782

Доверительный интервал: [0.9772485821640405; 0.9851687511696458]

Индекс волатильности игры: 3.960084502802634

Средняя продолжительность игры: 65.86335485571222

График доверительной вероятности:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, линия, диаграмма

Автоматически созданное описание

График средних выигрышей:

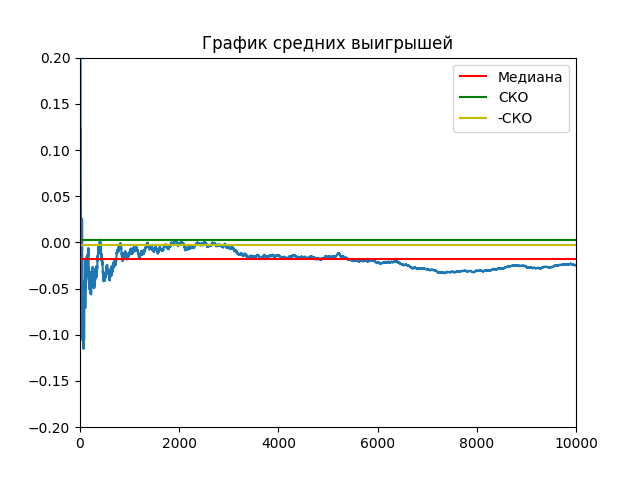


График распределения выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Прямоугольник, линия

Автоматически созданное описание

### Lay 6 8

Характеристика моделирования:

Шанс победы: 0.545486

Ожидаемый выигрыш: -136025.5

Ожидаемый выигрыш за 1 ставку: -0.022670916666666666

Доход заведения: -2.2670916666666665

Процент возврата игроку: 0.9773290833333333

Дисперсия: 28.664378199912427

Среднеквадратичное отклонение: 5.3539124198956065

Средний суммарный выигрыш: -22670.916666666664

Среднее квадратическое отклонение: 5353.912419895607

Доверительный интервал: [0.9684951278405056; 0.9861630388261611]

Индекс волатильности игры: 8.83395549282775

Средняя продолжительность игры: 53.06952552807557

График доверительной вероятности:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, линия, Прямоугольник

Автоматически созданное описание

График средних выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, График, линия

Автоматически созданное описание

График распределения выигрышей:

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Прямоугольник, линия

Автоматически созданное описание

## Анализ моделирования

Как видно из характеристик моделирования, они близки к значениям, полученным при теоретическом анализе в пункте 2.23. что говорит о корректности выполненной работы.

# Вывод

В ходе работы были получены аналитические и экспериментальные значения характеристик различных ставок в игре Craps.

На основе этих данных можно с уверенностью сказать, что на большой дистанции казино всегда будет в плюсе, о чем свидетельствует характеристика ожидаемого выигрыша за 1 ставку, которая при любой ставке является отрицательной.

Из этой работы можно сделать вывод, что заработать деньги на казино невозможно. Рано или поздно всё будет проиграно. Казино – средство досуга, поэтому играть в него с целью выиграть – плохая затея.

Так же дополнительно проанализировав среднюю длительность игры, видно, что наименее рискованными ставками являются Pass-line, Don’t pass-line, Free odds\_pass-line, а наиболее рискованной - Horn high bet.

# Приложение

Весь код можно найти по ссылке: [github.com](https://github.com/DafterT/Probability_Theory/tree/main/%D0%A0%D0%B0%D1%81%D1%87%D0%B5%D1%82%D0%BA%D0%B8/%D0%A0%D0%B0%D1%81%D1%87%D0%B5%D1%82%D0%BA%D0%B0%20%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%80%203.%20%D0%A2%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B2%D0%B5%D1%80)