ЛАБОРАТОРНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ПЕРИОД ПАНДЕМИИ НА ОСНОВАНИИ ИНФОРМАЦИИ ОБ ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ[73]

Гежа В.Н.

Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), Россия, г. Долгопрудный, Институтский пер., д.9.

vlad_gezha@mail.ru,

Чабан А.Н.

Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), Россия, г. Долгопрудный, Институтский пер., д.9.

Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ, г. Москва, проспект Вернадского, 82, стр.1.

chaban@mail.mipt.ru

Аннотация: Рассмотрена динамическая стохастическая игра, которая моделирует поведение людей в период пандемии. Изучается влияние особенностей поведения участников эксперимента на скорость распространения болезни внутри закрытого сообщества. Проведена серия лабораторных экспериментов, построена имитационная модель, найдено равновесие Нэша.

Ключевые слова: COVID-19, динамическая игра, экспериментальная экономика, равновесие Нэша.

Введение

Уже много лет для описания распространения инфекционных заболеваний используется математический аппарат. За это время значительно увеличилось разнообразие моделей – от простейших уравнений, придуманных Бернулли для описания динамики изменения числа заболевших [1],[2] до современных компьютерных программ, имитирующих распространение болезни в рамках многопараметрических моделей.

Пандемия COVID-19 не стала исключением – уже написано множество статей, изучающих распространение болезни как внутри организма человека [3], так и внутри различных сообществ [4]. Главным отличием нашей статьи является то, что мы стараемся фокусировать своё внимание на поведении отдельных людей, свободных от регулирования извне. Для изучения поведения конкретных индивидов хорошо подходит аппарат теории игр и экспериментальной экономики.

1 Описание игры и проведённых экспериментов

1.1 Дизайн игры

Так как за основу эпидемии бралась пандемия CODIV-19, то стоит отметить несколько факторов, которые повлияли на дизайн итоговой игры, названной "Пандемия" (подробнее о дизайне игры можно прочитать в [5]).

Коронавирус – это острое респираторное заболевание, которое в основном передаётся от одного человека к другому при непосредственном контакте.

В некоторых случаях (с момента дизайна игры доля подобных случаев только увеличилась) болезнь протекает бессимптомно в течение некоторого периода, при этом больной уже может заражать других людей.

У болезни довольно широкий диапазон тяжести: кто-то переносит болезнь без всяких симптомов, а кто-то болеет очень тяжёло, а некоторые люди даже умирают.

Переболев, люди получают локальный иммунитет (сейчас довольно активно ведутся споры о том, насколько долго он остаётся у человека, но мы в игре в целом моделируем не очень большие периоды времени).

В отсутствии строго контроля со стороны государства люди ведут себя по-разному: кто-то изолируется дома, кто-то контактирует с другими с осторожностью, используя маску и перчатки, а кто-то продолжает взаимодействовать как ни в чём не бывало.

С учётом вышеуказанных пунктов была предложена следующая концепция игры.

Всего в игре 2N участников, причём как минимум один из них должен являться ботом: в случае чётного числа участников добавляются 2 бота, в случае нечётного числа – один. В начале игры один из ботов является заразным. Все участники в каждом из M раундов делятся случайным образом на пары, играя в матричную игру, заданную следующей матрицей (см. табл. 1).

[73] *Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 19-01-00296)*

Таблица 1. Матрица игры “Пандемия”

		Игрок 2		
		Изоляция	**Осторожность**	**Взаимодействие**
Игрок 1	Изоляция	0, 0 p = 0	0, 1 p = 0	0, 3 p = 0
	Осторожность	1, 0 p = 0	2, 2 p = 0.25	3, 4 p = 0.5
	Взаимодействие	3, 0 p = 0	4, 3 p = 0.5	5, 5 p = 0.75

При выборе вариантов контакта игрок 1 выбирает строку, игрок 2 – столбец. В ячейке на пересечении выбранной строки и столбца первое число – выигрыш игрока 1, второе – выигрыш игрока 2. Также указана вероятность передачи инфекции от зараженного игрока к незараженному при выборе данной ячейки. Заразившийся игрок болеет 6 раундов и является заразным в течение всей болезни, но первые 3 раунда он не знает о своём статусе больного. В конце болезни (или конце игры, если для кого-то не успевают пройти все 6 раундов болезни) для больного игрока реализуется один из трех исходов: с вероятностью 60% он "выздоравливает без последствий" – не получает штрафа и до конца игры становится иммунным к болезни; с вероятностью 30% "выздоравливает с последствиями" – получает 200 очков штрафа, но всё равно до конца игры остаётся иммунным к болезни; с вероятностью 10% "умирает" – получает 500 очков штрафа и для него фиксируется выбор изоляции до конца игры.

Игрокам доступна следующая информация: информация о собственном заражении и общем числе заражённых – с задержкой в 3 раунда, информация об общем числе выздоровевших и умерших и своём статусе после окончания болезни – без задержки.

1.2 Эксперименты

Начиная с весны 2020 года, было проведено 6 экспериментов с разными группами участников: 3 эксперимента со студентами, 2 эксперимента со слушателями программ дополнительного образования MBA и 1 эксперимент с абитуриентами, причем одна из программ MBA была специализированной (врачи) и более возрастной. Для обучающихся мотивацией был учет заработанных в эксперименте баллов как части оценки за курс, для абитуриентов – призы по итогам летней школы.

При изложении правил игры участникам сообщали количество раундов игры и общее количество игроков (с учётом ботов). Главной целью проведения экспериментов было сравнение стратегий, продемонстрированных участниками в реальности, и их результативности. В дальнейшем появилась возможность сравнить результаты с теоретически найденным равновесием Нэша (РН), а также результатами написанной для этой игры имитационной модели.

Перейдём к непосредственному описанию параметров и результатов экспериментов (см. табл. 2):

Таблица 2. Основные характеристики экспериментов

	Магистры МФТИ 15.05.2020	**Врачи РАНХиГС 30.05.2020**	**Магистры РАНХиГС 31.05.2020**	**Абитуриенты МФТИ 04.08.2020**	**Студенты Томского ГУ 23.09.2020**	**Магистры МФТИ 12.03.2021**
Число участников	24	16	20	22	22	24
Количество раундов	34	30	30	30	30	30
Средний риск контакта	0.384	0.371	0.385	0.396	0.384	0.423

Как видно из таблицы 2, исходные параметры (число участников и количество раундов) весьма близки. Средний риск контакта рассчитывался по значениям вероятности передачи инфекции из таблицы 1, взвешенным по доле участников, выбравших соответствующие стратегии и затем усредненный по раундам. Эти значения дают оценку рискованности действий игроков в эксперименте.

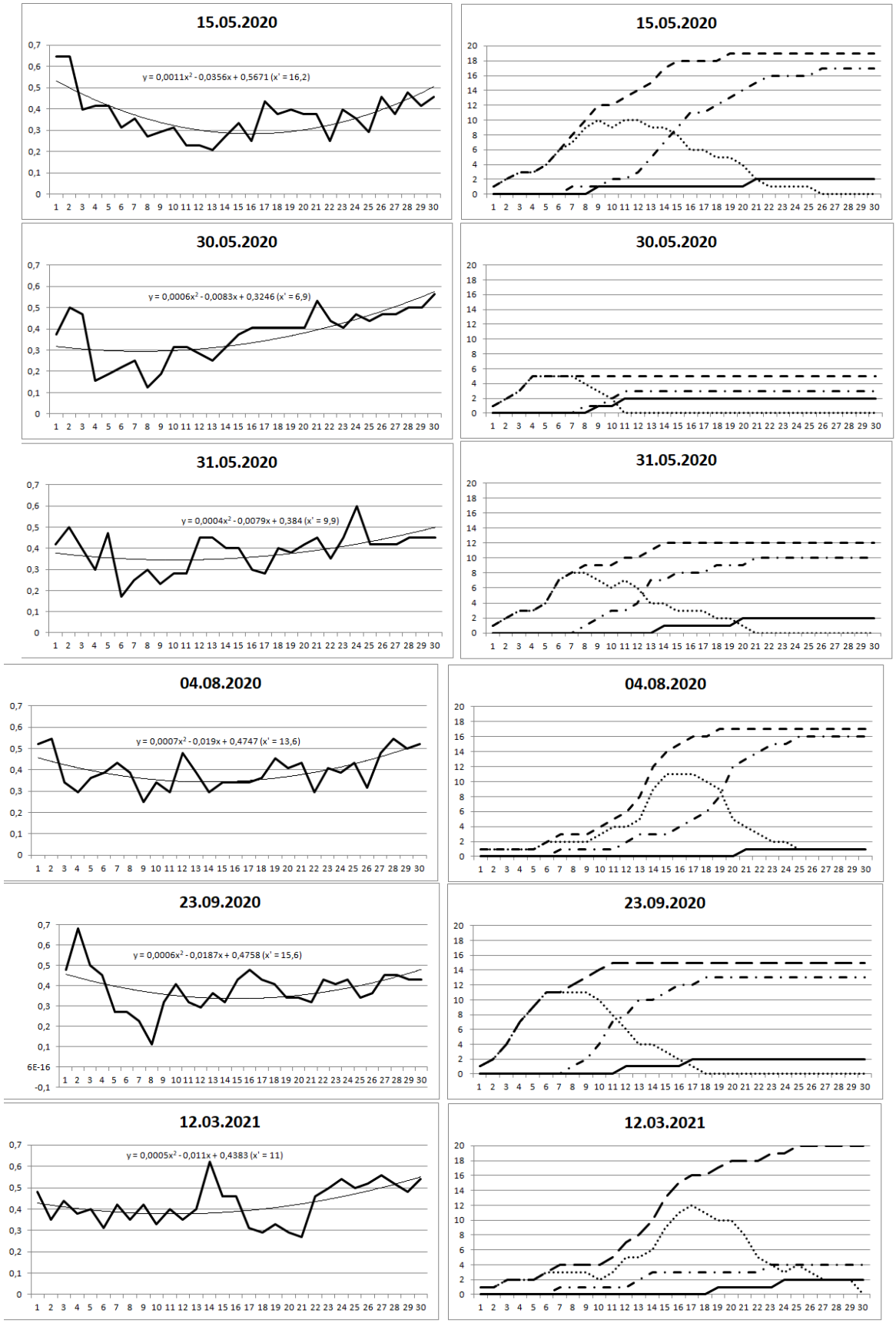

Рис. 1. Динамика среднего риска контакта по раундам и состава популяции

На рисунке 1 левые графики изображают динамику риска контакта по раундам для 6 экспериментов (жирная линия) и ее сглаживание квадратичной аппроксимацией (тонкая линия); для удобства сравнения в первом эксперименте отображаются данные за первые 30 периодов.

Расположение минимума аппроксимирующей кривой показывает, насколько рано или поздно участники стали выбирать в среднем более безопасное поведение.

Для каждого левого графика правый график показывает динамику состава популяции: точечная линия {·····} изображает количество больных в данном раунде, пунктир {– – – – –} – общее (с начала игры) количество зараженных, штрих-пунктир {– · – · – · –} – общее количество выздоровевших, сплошная {————} – общее количество умерших. Графики показывают, насколько разными получились результаты экспериментов: где-то болезнь удалось победить достаточно быстро и она не затронула много людей, а где-то, наоборот, новые заболевавшие фиксировались почти до конца игры, а число переболевших превысило две трети популяции.

После проведения каждого эксперимента участники писали отзывы: их просили предложить варианты к улучшению игры, но что более важно – просили описать свои стратегии. Обобщение полученных отзывов позволило разделить стратегии людей на 2 класса: либо сидеть в изоляции в начале игры, а потом взаимодействовать по окончании эпидемии, либо сначала некоторое время взаимодействовать, а потом сесть в изоляцию ближе к самому пику. Данные результаты затем были воспроизведены с помощью созданной для этой игры имитационной модели.

2 Имитационная модель

В имитационной модели между собой играли боты, стратегии которых определялись заранее заданными параметрами. Сначала рассматривались простейшие боты со случайной стратегией вида $\{p, 1-p-q, q\}$, где вероятность p отвечала выбору взаимодействия, q – изоляции, а $1-p-q$ - осторожным контактам. Приведем пример полученной имитационной моделью динамики этих экспериментов с разными параметрами случайной стратегии (см. рис.2).

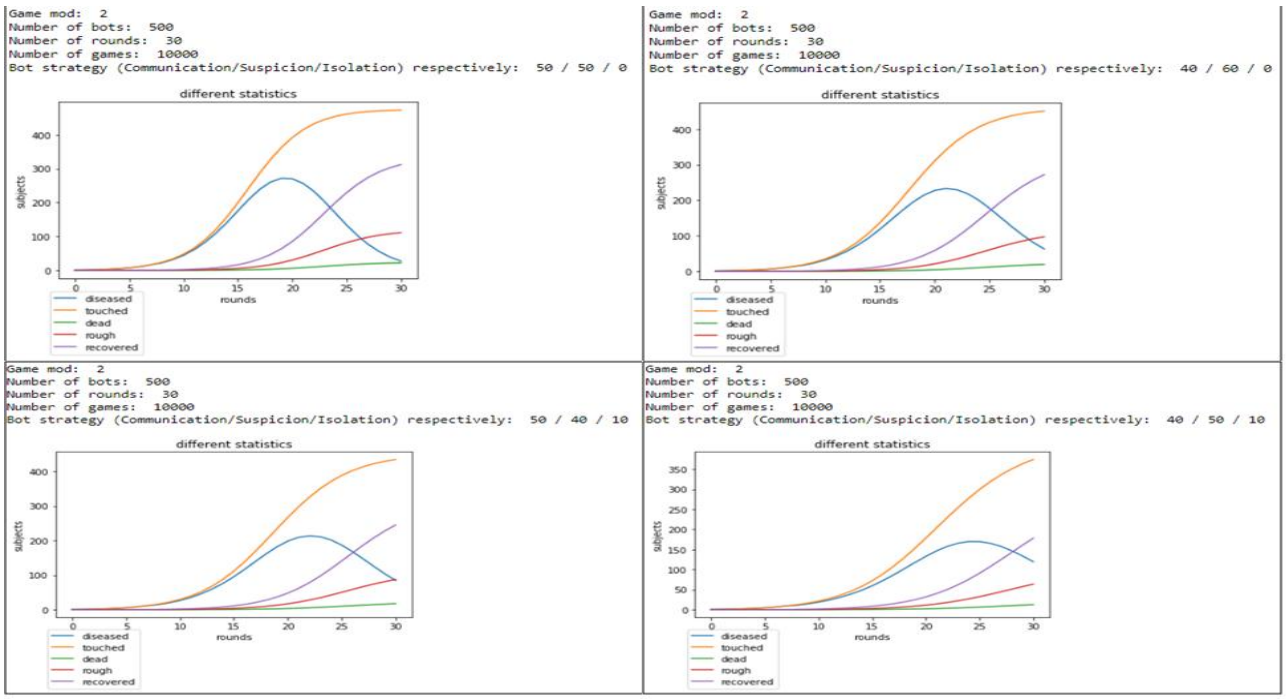

Рис. 2. Динамики состава популяции ботов со случайной стратегией для разных параметров p и q

На рисунке 2 синим цветом изображено количество больных в данном раунде, оранжевым – общее (с начала игры) количество зараженных, сиреневым – общее количество выздоровевших, красным – общее количество выздоровевших с последствиями, зеленым – общее количество умерших. Общие параметры расчета: 500 ботов, 30 раундов, 10000 повторений. Параметры выбора стратегии для левого верхнего графика: $p = 0.5,\ 1-p-q = 0.5,\ q = 0$, для правого верхнего: $p = 0.4,\ 1-p-q = 0.6,\ q = 0$, для левого нижнего: $p = 0.5,\ 1-p-q = 0.4,\ q = 0.1$, для правого нижнего: $p = 0.4,\ 1-p-q = 0.5,\ q = 0.1$. На первых трех графиках масштаб по вертикали – до 400, на последнем – до 350. При более высоком среднем риске контактов (график 1) эпидемия за 30 раундов почти заканчивается, добавление вероятности изоляции замедляет развитие эпидемии, а некоторое

уменьшение взаимодействия снижает число умерших. Кроме того, синий график показывает последовательное смещение на более поздние сроки и уменьшение максимума больных.

Плюсом компьютерной модели является возможность проводить множество экспериментов без особых усилий, в то время как собрать людей даже для 1 реального эксперимента – нетривиальная задача. Это, в свою очередь, помогает справиться с вероятностной природой игры – повторяя одни и те же ситуации много раз, можно получить средний выигрыш игроков, не зависящий от того, сработала ли в конкретном случае вероятность заражения или нет. Также с помощью такой модели можно искать стратегии, рациональные в том или ином смысле. Для данной модели минусом является предельно простой тип стратегий, в частности, не учитывающий обратную связь выбора стратегии с показателями развития эпидемии. Поэтому следующим шагом стал учет информации о стратегиях участников в проведенных экспериментах.

После проведения экспериментов участников просили написать краткие отзывы, в которых в том числе предлагалось описать свою стратегию поведения. Для построения класса ботов на основе этой информации были использованы первые четыре эксперимента. В одном из них средняя стратегия участников кардинально отличалась от средней стратегии участников трёх других экспериментов. А именно, в эксперименте «Врачи РАНХиГС» от 30.05.2020 игроки в основном придерживались следующей идеи: первые несколько раундов выбирать изоляцию, а затем выбирать взаимодействие без страха заболеть. В трёх других экспериментах люди придерживались противоположной стратегии: успеть пообщаться первые несколько раундов, а после сидеть в изоляции, переживая пик заболеваемости.

Таким образом, можно говорить о релейных стратегиях двух типов. В трёх экспериментах люди выбирали для себя некоторый раунд m, до которого они были готовы взаимодействовать, после чего садились в изоляцию до конца эпидемии; назовём такую стратегию relay-type 1. В эксперименте с медиками, наоборот, они выбирали некоторый раунд m, до которого готовы были сидеть в изоляции, после чего начинали взаимодействовать; назовём такую стратегию relay-type 2. Сделаем допущение, что каждый игрок в эксперименте случайно выбирал для себя величину m из отрезка $[a, b]$, где величины a и b были взяты как граничные из отзывов участников.

Также необходимо отметить два ключевых момента, которые делали подобные стратегии на самом деле более сложными. Во-первых, подавляющее число участников всё же понимало, что после того, как не осталось больных, выгодно взаимодействовать. Во-вторых, участники вели себя по-разному после того, как они узнали о своей болезни. Часть не меняла своей стратегии, часть переключалась на полное взаимодействие (что приносит больший выигрыш и является доминирующей стратегией), а часть садилась в добровольную изоляцию (проявляя гражданскую сознательность и заботясь о других игроках). Обозначим шанс того, что случайный игрок выберет второй путь, термином zombie chance с вероятностью z, а шанс того, что он выберет третий путь – термином peaceful chance с вероятностью p. Для каждого из экспериментов эти вероятности были оценены на основании отзывов участников о своих стратегиях.

Таким образом, для каждого из четырех экспериментов была построена имитационная модель и проведены расчеты динамики состава популяций. Общие параметры расчета: 20 ботов, 30 раундов, 10000 повторений. Специфические настройки для экспериментов указаны в таблице 3.

Таблица 3. Параметры имитационной модели

	Магистры МФТИ 15.05.2020	**Врачи РАНХиГС 30.05.2020**	**Магистры РАНХиГС 31.05.2020**	**Абитуриенты МФТИ 04.08.2020**
Тип стратегии	relay-type 1	relay-type 2	relay-type 1	relay-type 1
Диапазон раундов $[a, b]$ для переключения	[3, 22]	[2, 4]	[3, 13]	[3, 17]
Вероятность zombie chance	0.8	0.0	0.5	0.5
Вероятность peaceful chance	0.1	1.0	0.1	0.1

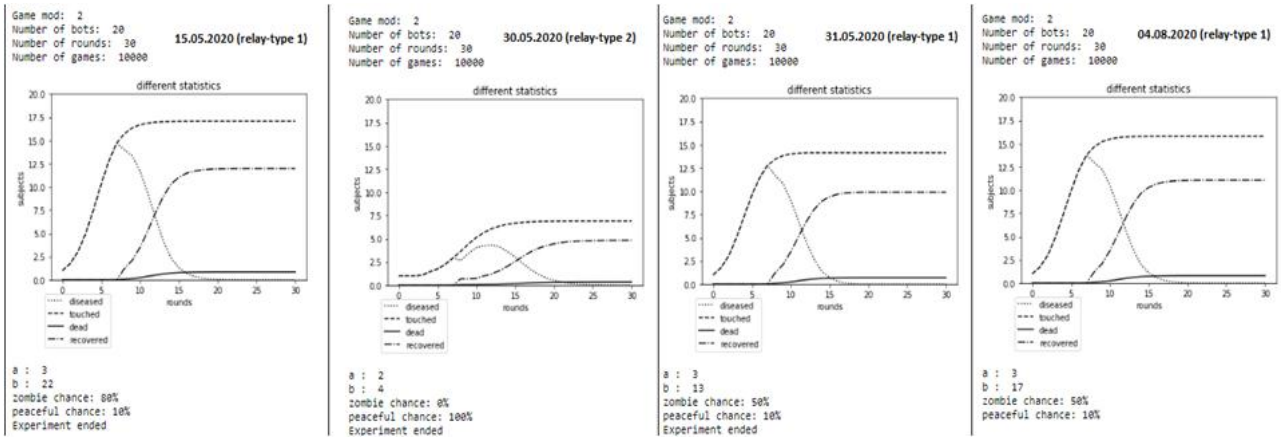

Рис. 3. Динамики состава популяции для имитационной модели с заданными параметрами

На рисунке 3 приведены графики по результатам расчетов. Обозначения линий – те же, что и на рисунке 1. Модель показывает качественное отличие эксперимента «Врачи РАНХиГС» от трех других. Также верно отображается сравнительные уровни состава популяции участников и ботов. Выход на стационарные значения у ботов происходит существенно быстрее; можно предположить, что реальные участники применяют более сложные стратегии, чем боты.

3 Равновесие Нэша

Очевидно, что при достаточной длине игры становится выгодно всем вместе пересидеть первые 6 раундов в изоляции, дождаться выздоровления изначального больного бота и затем перейти к взаимодействию. Во всех проведённых экспериментах это условие выполняется. Тем не менее, стратегию, более-менее близкую к данному равновесию Нэша, продемонстрировали только врачи. Это объясняется тем, что стратегия взаимодействия в начале игры также является локальным максимумом среди близких ей стратегий, хотя и проигрывает равновесию по результативности.

Заключение

В рамках данной игры и проведённых экспериментов видно, насколько важна в современном обществе, где жёсткие меры со стороны государства применяются всё реже, система мягкого воздействия. Введением штрафов за взаимодействие и за контакт с осторожностью можно было бы добиться, чтобы все сидели в изоляции. Альтернатива состоит в том, чтобы объяснить людям, что их действия не оптимальны. Это особенно важно для таких ситуаций как начало пандемии, когда несознательное поведение одного человека может привести к многотысячной вспышке заболевания. Остаётся открытым вопрос о методах донесения этого материала – многие люди часто ведут себя иррационально. Но в целом, подобные игры несут в себе и просветительскую деятельность; многие участники экспериментов стали серьёзнее относится к мерам профилактики против COVID-19 после их проведения. Некоторым (как раз врачам в эксперименте от 30.05.2020) изначально была близка концепция того, что для того, чтобы с наименьшими потерями победить болезнь, надо сначала всем посидеть в изоляции – после проведения игр об этом задумались и другие участники экспериментов.

Литература

1. *Bernoulli D* Essai d'une nouvelle analyse de la mortalite causee par la petite verole, et desavantages de l'inoculation pour la prevenir. – Histoire de l'Acad, Roy Sci(Paris) avec Mem.1760, p. 1–45.
2. *Bailey N.T.J., et al.* The mathematical theory of infectious diseases and its applications. High Wycombe: Charles Griffin & Company Ltd.
3. *Guan W., Ni Z., Hu Y., Liang W., Ou C., He J., et al.* Моделирование Clinical characteristics of coronavirus disease 2019 in China. – New England journal of medicine, 382(18):1708–1720.
4. *Flaxman S., Mishra S., Gandy A., Unwin H.J.T., Mellan T.A., Coupland H., et al.* Estimating the effects of non-pharmaceutical interventions on COVID-19 in Europe.//Nature, 584(7820):257–261.
5. *V. Gezha, O. Menshikova, A. Sedush, R. Yaminov, I. Zarubin* Laboratory Study of Different Social Groups Behavior during the Pandemic//IEEE, pp. 1-5, doi: 10.1109/MLSD49919.2020.9247721.
6. *Chen D.L., Schonger M., Wickens C.* An open-source platform for laboratory, online and field experiments // Journal of Behavioral and Experimental Finance, vol 9, 2016. Pp. 88-97.