Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана
Кафедра «Системы обработки информации и управления»

Утверждаю: _____ Согласовано: _____

"___"_____2020 г. "___"_____2020 г.

Курсовая работа по дисциплине «Имитационное моделирование дискретных процессов»

Тема: «Модель распространения коронавирусной инфекции в университете»

Пояснительная записка
(вид документа)

Листы А4
(вид носителя)

35
(количество листов)

Исполнитель: Проверил:

Студент группы ИУ5-71

Белоусов Евгений Черненький М.В.

Москва - 2020

Оглавление

Введение

Имитационное моделирование становится эффективным методом исследования сложных систем со случайным взаимодействием элементов, таких как транспортные потоки, многоступенчатое промышленное производство, распределенные объекты управления. Принцип имитационного моделирования заключается в том, что поведение системы отображают компьютерной моделью взаимодействия ее элементов во времени и пространстве.

Главная ценность имитационного моделирования состоит в том, что в его основу положена методология системного анализа. Она дает возможность исследовать проектируемую или анализируемую систему по технологии операционного исследования, включая такие взаимосвязанные этапы, как содержательная постановка задачи; разработка концептуальной модели; разработка и программная реализация имитационной модели; оценка адекватности модели и точности результатов моделирования; планирование экспериментов; принятие решений. Благодаря этому имитационное моделирование можно применять как универсальный подход для принятия решений в условиях неопределенности и для учета в моделях трудно формализуемых факторов.

Изучение системы с помощью модели позволяет проверить новые решения без вмешательства в работу реальной системы, растянуть или сжать время функционирования системы, понять сложное взаимодействие элементов внутри системы, уточнить значения коэффициентов, оценить степень влияния факторов и выявить “узкие места”.

Применение имитационного моделирования целесообразно, если:

- проведение экспериментов с реальной системой невозможно или дорого;
- требуется изучить поведение системы при ускоренном или замедленном времени;
- аналитическое описание поведения сложной системы невозможно;
- поведение системы зависит от случайных воздействий внешней среды;
- требуется выявить реакцию системы на непредвиденные ситуации;
- нужно проверить идеи по созданию или модернизации системы;
- требуется подготовить специалистов по управлению реальной системой.

Актуальность

В 2020 году человечество столкнулось с пандемией коронавируса. Большинство предприятий было переведено на удаленный режим работы. Все крупные IT компании отправили своих сотрудников на удаленку. Многие ВУЗы перешли на дистанционный режим обучения, не дожидаясь приказа сверху. Многие начали использовать медицинские маски в местах скопления людей.
Данная работа должна ответить на вопрос, необходимы ли принятые меры безопасности.

Цели и задачи

Целью выполнения курсовой работы является исследование процессов распространения коронавирусной инфекции. Для этого необходимо решить следующие задачи:

1. Изучить предметную область, которую необходимо моделировать.
2. Построить модель.

3. Выявить зависимости в модели.
4. На основе выявленных зависимостей сделать выводы.

Предметная область

COVID-19 — потенциально тяжёлая острая респираторная инфекция, вызываемая коронавирусом SARS-CoV-2 (2019-nCoV). Представляет собой опасное заболевание, которое может протекать как в форме острой респираторной вирусной инфекции лёгкого течения, так и в тяжёлой форме. Наиболее частым осложнением заболевания является вирусная пневмония, способная приводить к острому респираторному дистресс-синдрому и последующей острой дыхательной недостаточности, при которых чаще всего необходимы кислородная терапия и респираторная поддержка. К наиболее распространённым симптомам заболевания относятся повышенная температура тела, утомляемость и сухой кашель. В редких случаях поражение вирусом детей и подростков, предположительно, может приводить к развитию воспалительного синдрома.

Распространяется вирус воздушно-капельным путём через вдыхание распылённых в воздухе при кашле, чихании или разговоре капель с вирусом, а также через попадание вируса на поверхности с последующим занесением в глаза, нос или рот. К числу эффективных мер профилактики относится частое мытьё рук и соблюдение правил респираторной гигиены. Заболевание вызывается новым вирусом, против которого у людей изначально нет приобретённого иммунитета, к инфекции восприимчивы люди всех возрастных категорий.

На 1 октября 2020 года против вируса отсутствовали какие-либо специфические противовирусные средства лечения или профилактики. В большинстве случаев (примерно в 80 %) какое-либо специфическое лечение не требуется, а выздоровление происходит само по себе.

Коэффициент смертности от инфекции (англ. IFR) оценивается примерно в 0,68 %, согласно анализу серопревалентности ВОЗ — в 0,27 %.

Вирус передаётся воздушно-капельным путём через вдыхание мелких капель, распылённых в воздухе при кашле, чихании или разговоре. Капли с вирусом могут попадать на поверхности и предметы, а затем инфицировать прикоснувшегося к ним человека через последующие прикосновения к глазам, носу или рту. Вирус может оставаться жизнеспособным в течение нескольких часов, попадая на поверхности предметов. На стальных поверхностях и на пластике он может сохраняться до 2—3 дней

Для инфекции, вызываемой вирусом SARS-CoV-2, инкубационный период составляет 1—14 дней, может протекать бессимптомно, в лёгкой форме и в тяжёлой форме, с риском смерти, но полная клиническая картина пока ещё не ясна.

Пациенты с лёгкими симптомами обычно выздоравливают в течение недели. В среднем длительность симптомов не превышает 20 дней.

Описание модели

Для моделирования процессов распространения коронавирусной инфекции в университете могут быть использованы мультиагентные модели или модели типа SEIR. В данной работе будет реализована мультиагентная модель ввиду отсутствия коэффициентов для модели SEIR.

Модель является дискретной моделью с дискретизацией в 1 сутки.

Время моделирования – с 1 сентября до 31 декабря.

В рамках модели будем считать, что университет принял решение не переходить на дистанционное обучение. Однако, мы можем отслеживать картину распространения заболевания и для университетов, которые перешли на дистанционку, просто не рассматривая часть графиков, находящихся за днем введения самоизоляции.

Изначально все, кроме одного нулевого пациента, студенты и преподаватели университета здоровы.

Преподаватели, в рамках рассматриваемой модели, представляют собой такую же сущность как студенты, но с другими значениями характеристик.

Каждые сутки каждый человек с некоторой вероятностью приходит в университет. Он встречает случайное количество пришедших человек, распределенное нормальным образом вокруг среднего числа человек, встречаемое им в сутки. Если встречается здоровый человек, то ничего не происходит. Если встречается зараженный человек, то с вероятностью заразности коронавирусной инфекции студент становится зараженным. Зараженный студент продолжает ходить в университет до проявления первых симптомов (в течение инкубационного периода, который распределен нормальным образом) и заражать встречаемых людей. После проявления симптомов студент прекращает ходить в университет и болеет некоторое нормально распределенное время. После этого он умирает с вероятностью смертности от коронавирусной инфекции или выздоравливает и обретает иммунитет, на некоторое нормально-распределенное время, после которого снова становится подверженным опасности заражения.

Ограничения модели

Рассматриваемая модель не учитывает такие факторы как:

1. Люди, с которыми студенты и преподаватели встречаются вне университета.
2. Загруженность больниц: смертность вируса не зависит от количества заболевших.
3. Пожилых людей и людей, страдающих, хроническими заболеваниями: в модели для всех используются усредненные коэффициенты.
4. Время моделирования ограничено периодом с 1 сентября 2020 г. по 31 декабря 2020 г.

Модель

[1]:
```
#health status:
SUCCESS = 0
HEALTHY = 1
SICK = 2
INFECTIOUS = 3
IMMUNITY = 4
DEAD = 5
```

[2]:
```
#human role:
STUDENT = 0
TEACHER = 1
```

[3]:
```
from calendar import Calendar
import random
```

[4]:
```
class Human:
    def   init  ( self, role, come_to_university,
                 meeting_person_expected_value, meeting_person_dispersion,
                 incubation_period_expected_value,
                 incubation_period_dispersion, mortality,
                 illness_time_expected_value, illness_time_dispersion,
                 immunitet_period_expected_value,
                 immunitet_period_dispersion):
        self.health =
        HEALTHY self.role =
        role
        self.come_to_university = come_to_university
        self.meeting_person_expected_value =
        meeting_person_expected_value self.meeting_person_dispersion
        = meeting_person_dispersion self.time_period = -1
        self.mortality = mortality
        self.incubation_period_expected_value =
        incubation_period_expected_value
        self.incubation_period_dispersion = incubation_period_dispersion
        self.illness_time_expected_value = illness_time_expected_value
```

```
    def infectious(self, infectiouness):
        if self.health == HEALTHY and random.uniform(0, 1) < infectiouness:
            self.health = INFECTIOUS
            self.time_period = int(random.normalvariate(
                self.incubation_period_expected_value,
                self.incubation_period_dispersion))
            return True
        return False

    def process(self):
        if self.health == INFECTIOUS:
            self.time_period -= 1
            if self.time_period <= 0:
                self.health = SICK
                self.time_period = int(random.normalvariate(
                    self.illness_time_expected_value,
                    self.illness_time_dispersion
                ))
                return self.health
        if self.health == SICK:
            self.time_period -= 1
            if self.time_period <= 0:
                if random.uniform(0, 1) < self.mortality:
                    self.health = DEAD
                else:
                    self.health = IMMUNITY
                    self.time_period = int(random.normalvariate(
                        self.immunitet_period_expected_value,
                        self.immunitet_period_dispersion
                ))
                return self.health
        if self.health == IMMUNITY:
            self.time_period -= 1
            if self.time_period <= 0:
                self.health = HEALTHY
                self.time_period = -1
                return self.health
        return SUCCESS

    def is_come(self):
        if self.health != SICK and ¥
            random.uniform(0, 1) < self.come_to_university:
            return True
        return False

    def get_meetings(self):
        meetings = int(random.normalvariate(
```

```
            self.meeting_person_expected_valu
            e,
            self.meeting_person_dispersion)
            )
        if meetings > 0:
            return meetings
```

[5]:
```
class Population:
    def __init__(self, students_num, student_meeting_person_expected_value,
                 student_meeting_person_dispersion, student_come_to_university,
                 teachers_num, teacher_meeting_person_expected_value,
                 teacher_meeting_person_dispersion, teacher_come_to_university,
                 infectiousness, incubation_period_expected_value,
                 incubation_period_dispersion, mortality,
                 illness_time_expected_value, illness_time_dispersion,
                 immunitet_period_expected_value, immunitet_period_dispersion
                ):
        self.human_list = []
        #add students
        for i in range(students_num):
            self.human_list.append(  Human(STUDENT,
                                           student_come_to_university,
                                           student_meeting_person_expected_value,
                                           student_meeting_person_dispersion,
                                           incubation_period_expected_value,
                                           incubation_period_dispersion,
                                           mortality,
                                           illness_time_expected_value,
                                           illness_time_dispersion,
                                           immunitet_period_expected_value,
                                           immunitet_period_dispersion)
                                    )
        #add teachers
        for i in range(teachers_num):
            self.human_list.append(  Human(TEACHER,
                                           teacher_come_to_university,
                                           teacher_meeting_person_expected_value,
                                           teacher_meeting_person_dispersion,
                                           incubation_period_expected_value,
                                           incubation_period_dispersion,
                                           mortality,
                                           illness_time_expected_value,
                                           illness_time_dispersion,
                                           immunitet_period_expected_value,
                                           immunitet_period_dispersion)
                                    )
        self.dead = 0
```

```
        self.healthy = len(self.human_list)
        self.infectious = 0
        self.sick = 0
        self.immunity = 0
        self.mortality = mortality
        self.infectiousness = infectiousness

    def process( self ):
        #create comming list
        come_to_university  =  list()
        for human in
        self.human_list:
            result = human.process()
            if result == DEAD:
                self.dead += 1
                self.sick -= 1
                self.human_list.remove(human)
                continue

            elif result == SICK:
                self.infectious -= 1
                self.sick += 1
                continue

            elif result == IMMUNITY:
                self.sick -= 1
                self.immunity += 1
                continue

            elif result == HEALTHY:
                self.immunity -= 1
                self.healthy += 1
                continue

            if  human.is_come():
                come_to_university.append(human)
        if len(come_to_university) == 0:
            return

        #meetings
        for human in come_to_university:
            if(human.health == INFECTIOUS):
                for i in range(human.get_meetings()):
                    if   random.choice(come_to_university).infectious(self.
↔infectiousness):
                        self.healthy -= 1
                        self.infectious += 1
```

```
    def process_weekend( self ):
        for human in
            self.human_list: result
            = human.process() if
            result == DEAD:
                self.dead += 1
                self.sick -= 1
                self.human_list.remove(huma
                n)
            elif result == SICK:
                self.infectious -=
                1
                self.sick += 1
            elif result ==
                IMMUNITY:
                self.sick -= 1



    def first_infection( self ):
        human =
        random.choice(self.human_list)
        human.infectious(1.)
        self.healthy -= 1
        self.infectious += 1

    def add_infectious( self, human):
        human.infectious(self.infectiousnes
        s) self.healthy -= 1
```

[6]:
```
import datetime
```

[7]:
```
    def autum_semestr_loop( population,
                 drawer):
    try:
        calendar = Calendar()
        my_calendar = calendar.yeardayscalendar( year = 2020 )
        for season in range(2, 5):
           for month in range(3):
                if (season)*3+1+ month < 9:
                    continue
                if season == 4 and month > 0:
                    break
                for  week  in  range(len(my_calendar[season][month])):
                    for day in range(7):
                        if not my_calendar[season][month][week][day] == 0:
```

```
                            #print('sunday')
                            population.process_weekend()
                        else:
                            #print('{} - {}'.format(
                            #my_calendar[season][month][week][day],
                            #(season)*3+1+ month
                            #))
                            #print(str(season)+' '+str(month)+'
↪'+str(week)+'  '+str(day))
                            population.process()
                            #print('{} {} {} {} {}'.format(
                            #   population.healthy,
                            #   population.infectious,
                            #   population.sick,
                            #   population.immunity,
                            #   population.dead
                            #   ))
                        date = datetime.date(year=2020,
                                             month=(season)*3 +1 + month,
↪day=my_calendar[season][month][week][day])
                        drawer.add(population, date)
    except
        IndexError:
        return
```

[8]:
```
import matplotlib.pyplot as plt
%matplotlib inline
```

[9]:
```
class Drawer2D:
    def  init  (self):
        self.healthy = []
        self.infectious =
        [] self.sick = []
        self.dead = []
        self.date = []
        self.immunity = []

    def add(self, population, date):
        self.healthy.append(population.healthy+population.immuni
        ty) self.infectious.append(population.infectious)
        self.sick.append(population.sick)
```

```
        self.dead.append(population.dead)
        self.immunity.append(population.immunit
        y) self.date.append(date)

    def draw(self):
        fig, ax = plt.subplots(figsize=(15,
        ax.plot(self.date self.healthy, 'g', label='
        ,                  self.infectious, 'b',
        ax.plot(self.date  self.sick, 'r',
        ,                  self.dead, 'black',
        ax.plot(self.date  label='
        ,
        ax.set_xlabel(
        ax.set_ylabel(
```

Эксперимент 1

Основная цель этого эксперимента – убедиться в работоспособности модели.

[10]:
```
def experiment1():
    students_num = 100
    student_meeting_person_expected_value = 10
    student_meeting_person_dispersion = 2
    student_come_to_university = 0.9
    teachers_num = 0
    teacher_meeting_person_expected_value = 0
    teacher_meeting_person_dispersion = 0
    teacher_come_to_university = 0
    infectiousness = 0.2
    incubation_period_expected_value = 14
    incubation_period_dispersion = 2
    mortality = 0.1
    illness_time_expected_value = 20
    illness_time_dispersion = 15
    immunitet_period_expected_value = 40
    immunitet_period_dispersion = 10
    population = Population(students_num, student_meeting_person_expected_value,
                            student_meeting_person_dispersion, ␣
↔student_come_to_university,
                            teachers_num, teacher_meeting_person_expected_value,
                            teacher_meeting_person_dispersion, ␣
↔teacher_come_to_university,
                            infectiousness, incubation_period_expected_value,
                            incubation_period_dispersion,
                            mortality,
                            illness_time_expected_value, illness_time_dispersion,
                            immunitet_period_expected_value, ␣
```

```
↔immunitet_period_dispersion)
    population.first_infection()
    drawer2D = Drawer2D()
```

```
    autum_semestr_loop( population, drawer2D)
    return drawer2D
```

Эксперимент 2

Для эксперимента 2 в средствах массовой информации были найдены коэффициенты, которыми характеризуется коронавирусная инфекция. Данный эксперимент призван показать характерное для коронавируса протекание болезни.

[11]:
```
def experiment2():
    students_num = 19000
    student_meeting_person_expected_value = 150
    student_meeting_person_dispersion = 50
    student_come_to_university = 0.5
    teachers_num = 3297
    teacher_meeting_person_expected_value = 200
    teacher_meeting_person_dispersion = 150
    teacher_come_to_university = 0.3
    infectiousness = 0.799 #https://rg.ru/2020/05/04/
↪issledovanie-veroiatnost-zarazitsia-covid-vyshe-vsego-doma-i-v-
transporte.
↪html
    incubation_period_expected_value = 11 #https://iz.ru/989894/2020-03-22/
↪nazvan-srednii-inkubatcionnyi-period-koronavirusa
    incubation_period_dispersion = 5
    mortality = 0.06
    illness_time_expected_value = 20 #https://iz.ru/981482/2020-02-28/
↪voz-nazvala-sroki-vyzdorovleniia-ot-koronavirusa
    illness_time_dispersion = 5
    immunitet_period_expected_value = 240
    immunitet_period_dispersion = 100
    population = Population(students_num, student_meeting_person_expected_value,
                        student_meeting_person_dispersion, ␣
↪student_come_to_university,
                        teachers_num, teacher_meeting_person_expected_value,
                        teacher_meeting_person_dispersion, ␣
↪teacher_come_to_university,
                        infectiousness, incubation_period_expected_value,
                        incubation_period_dispersion,
                        mortality,
                        illness_time_expected_value, illness_time_dispersion,
                        immunitet_period_expected_value, ␣
↪immunitet_period_dispersion)
    population.first_infection()
    drawer2D = Drawer2D()
    autum_semestr_loop( population, drawer2D)
    return drawer2D
```

Эксперимент 3

В эксперименте 3 заразность коронавирусной инфекции снижена до уровня, который обеспечивает медицинская маска.

[12]:
```
def experiment3():
    students_num = 19000
    student_meeting_person_expected_value = 150
    student_meeting_person_dispersion = 50
    student_come_to_university = 0.5
    teachers_num = 3297
    teacher_meeting_person_expected_value = 200
    teacher_meeting_person_dispersion = 150
    teacher_come_to_university = 0.3
    infectiousness = 0.799*0.7 #https://rg.ru/2020/05/04/
↪issledovanie-veroiatnost-zarazitsia-covid-vyshe-vsego-doma-i-v-
transporte.
↪html
                               #https://www.kommersant.ru/doc/4432704
    incubation_period_expected_value = 11 #https://iz.ru/989894/2020-03-22/
↪nazvan-srednii-inkubatcionnyi-period-koronavirusa
    incubation_period_dispersion = 5
    mortality = 0.06
    illness_time_expected_value = 20 #https://iz.ru/981482/2020-02-28/
↪voz-nazvala-sroki-vyzdorovleniia-ot-koronavirusa
    illness_time_dispersion = 5
    immunitet_period_expected_value = 240
    immunitet_period_dispersion = 100
    population = Population(students_num, student_meeting_person_expected_value,
                        student_meeting_person_dispersion, ␣
↪student_come_to_university,
                        teachers_num, teacher_meeting_person_expected_value,
                        teacher_meeting_person_dispersion, ␣
↪teacher_come_to_university,
                        infectiousness, incubation_period_expected_value,
                        incubation_period_dispersion,
                        mortality,
                        illness_time_expected_value, illness_time_dispersion,
                        immunitet_period_expected_value, ␣
↪immunitet_period_dispersion)
    population.first_infection()
    drawer2D = Drawer2D()
    autum_semestr_loop( population, drawer2D)
    return drawer2D
```

Эксперимент 4

Данный эксперимент показывает, как выглядели бы зависимости, в случае, если после выздоровления у человека вырабатывался короткий иммунитет в среднем на 20 дней.

[13]:
```
def experiment4():
    students_num = 19000
    student_meeting_person_expected_value = 150
    student_meeting_person_dispersion = 50
    student_come_to_university = 0.5
    teachers_num = 3297
    teacher_meeting_person_expected_value = 200
    teacher_meeting_person_dispersion = 150
    teacher_come_to_university = 0.3
    infectiousness = 0.799*0.7 #https://rg.ru/2020/05/04/
↪issledovanie-veroiatnost-zarazitsia-covid-vyshe-vsego-doma-i-v-
transporte.
↪html
                               #https://www.kommersant.ru/doc/4432704
    incubation_period_expected_value = 11 #https://iz.ru/989894/2020-03-22/
↪nazvan-srednii-inkubatcionnyi-period-koronavirusa
    incubation_period_dispersion = 5
    mortality = 0.06
    illness_time_expected_value = 20 #https://iz.ru/981482/2020-02-28/
↪voz-nazvala-sroki-vyzdorovleniia-ot-koronavirusa
    illness_time_dispersion = 5
    immunitet_period_expected_value = 20
    immunitet_period_dispersion = 10
    population = Population(students_num, student_meeting_person_expected_value,
                        student_meeting_person_dispersion, ␣
↪student_come_to_university,
                        teachers_num, teacher_meeting_person_expected_value,
                        teacher_meeting_person_dispersion, ␣
↪teacher_come_to_university,
                        infectiousness, incubation_period_expected_value,
                        incubation_period_dispersion,
                        mortality,
                        illness_time_expected_value, illness_time_dispersion,
                        immunitet_period_expected_value, ␣
↪immunitet_period_dispersion)
    population.first_infection()
    drawer2D = Drawer2D()
    autum_semestr_loop( population, drawer2D)
    return drawer2D
```

[14]:
```
import pylab
from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D
import numpy as np
```

[15]:
```
class Drawer3D:
    def __init__(self, k_name):
        self.Y = []
        self.X = []
        self.date = []
        self.Zhealthy = []
        self.Zinfectious = []
        self.Zsick = []
        self.Zdead = []
        self.Zimmunity = []
        self.healthy = []
        self.infectious = []
        self.sick = []
        self.dead = []
        self.immunity = []
        self.k_name = k_name

    def setK(self, k):
        self.X.append([i for i in range(len(self.date))])
        self.Y.append([k for i in range(len(self.date))].copy())
        self.Zhealthy.append(self.healthy.copy())
        self.Zinfectious.append(self.infectious.copy())
        self.Zsick.append(self.sick.copy())
        self.Zdead.append(self.dead.copy())
        self.Zimmunity.append(self.immunity.copy())
        self.date = []
        self.healthy = []
        self.infectious = []
        self.sick = []
        self.dead = []
        self.immunity = []

    def add(self, population, date):
        self.date.append(date)
        self.healthy.append(population.healthy)
        self.infectious.append(population.infectious)
        self.sick.append(population.sick)
        self.dead.append(population.dead)
        self.immunity.append(population.immunity)

    def draw(self):
```

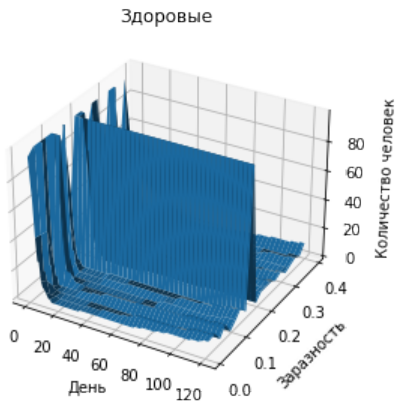
```
        x = np.array(self.X)
        y = np.array(self.Y)
        zHealthy = np.array(self.Zhealthy)
        zInfectious = np.array(self.Zinfectious)
        zImmunity = np.array(self.Zimmunity)
        zDead = np.array(self.Zdead)
        zSick = np.array(self.Zsick)

        fig = plt.figure(figsize=(15, 15))
        ax = fig.add_subplot(3, 2, 1, projection='3d')
        ax.set_title('     ')
        ax.set_xlabel('   ')
        ax.set_ylabel(self.k_name)
        ax.set_zlabel('           ')
        surf = ax.plot_surface(x, y, zHealthy)

        ax = fig.add_subplot(3, 2, 2, projection='3d')
        ax.set_title('      ')
        ax.set_xlabel('   ')
        ax.set_ylabel(self.k_name)
        ax.set_zlabel('           ')
        surf = ax.plot_surface(x, y, zInfectious)

        ax = fig.add_subplot(3, 2, 3, projection='3d')
        ax.set_title('     ')
        ax.set_xlabel('   ')
        ax.set_ylabel(self.k_name)
        ax.set_zlabel('           ')
        surf = ax.plot_surface(x, y, zSick)

        ax = fig.add_subplot(3, 2, 4, projection='3d')
        ax.set_title('      ')
        ax.set_xlabel('   ')
        ax.set_ylabel(self.k_name)
        ax.set_zlabel('           ')
        surf = ax.plot_surface(x, y, zImmunity)

        ax = fig.add_subplot(3, 2, 5, projection='3d')
        ax.set_title('    ')
        ax.set_xlabel('   ')
        ax.set_ylabel(self.k_name)
        ax.set_zlabel('           ')
        surf = ax.plot_surface(x, y, zDead)
```

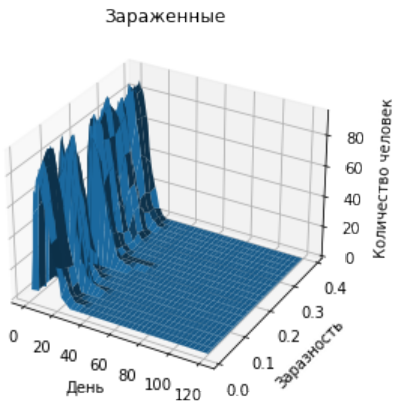
Проверка возможности построения объемных графиков

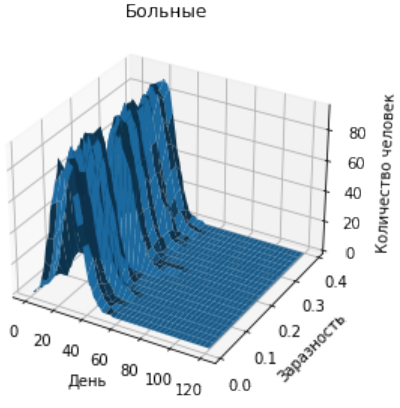
[16]:
```
%%time
students_num = 100
student_meeting_person_expected_value = 150
```

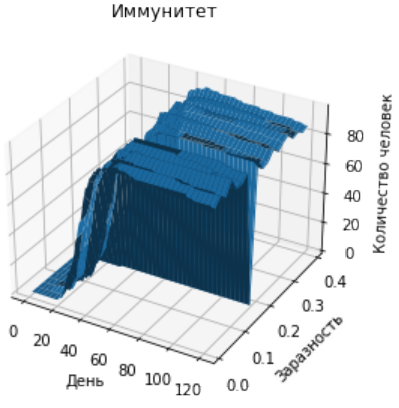
```
student_meeting_person_dispersion = 50
student_come_to_university = 0.5
teachers_num = 0
teacher_meeting_person_expected_value = 200
teacher_meeting_person_dispersion = 150
teacher_come_to_university = 0.3
incubation_period_expected_value = 11 #https://iz.ru/989894/2020-03-22/
↪nazvan-srednii-inkubatcionnyi-period-koronavirusa
incubation_period_dispersion = 5
mortality = 0.06
illness_time_expected_value = 20 #https://iz.ru/981482/2020-02-28/
↪voz-nazvala-sroki-vyzdorovleniia-ot-koronavirusa
illness_time_dispersion = 5
immunitet_period_expected_value = 240
immunitet_period_dispersion = 100
drawer3D = Drawer3D('      ')
for infectiousness in np.arange(0.01, 0.4, 0.02):
    population = Population(students_num, student_meeting_person_expected_value,
                        student_meeting_person_dispersion, ␣
↪student_come_to_university,
                        teachers_num, teacher_meeting_person_expected_value,
                        teacher_meeting_person_dispersion, ␣
↪teacher_come_to_university,
                        infectiousness, incubation_period_expected_value,
                        incubation_period_dispersion,
                        mortality,
                        illness_time_expected_value, illness_time_dispersion,
                        immunitet_period_expected_value, ␣
↪immunitet_period_dispersion)
    population.first_infection()
    autum_semestr_loop( population, drawer3D)
    drawer3D.setK(infectiousness)
drawer3D.draw()
```

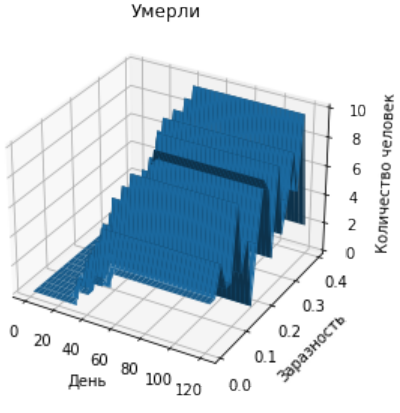
```
CPU times: user 866 ms, sys: 177 µs, total: 866 ms
Wall time: 887 ms
```











Все зависимости построились, то есть, модель работает. Можно экспериментировать с большими объемами данных.

Выбросы

Видно, что на объемных графиках иногда встречаются выбросы. Это происходит из-за ситуаций, например, когда нулевой пациент по воле случайности не ходил на занятия в течение инкубационного периода болезни. Данные ситуации отражают действительность, хотя и являются маловероятными.

Чтобы избавиться от выбросов, можно проводить моделирование несколько раз и усреднять значения. Ввиду увеличения вычислительной сложности и, соответственно, времени построения

моделей все эксперименты, приведенные ниже, проводятся без устранения выбросов. Автор работы считает, что не смотря на выбросы, приведенные графики дают достаточно информации о характере процесса и его зависимостях

Эксперименты 5-12

Серия экспериментов признана для определения вида зависимостей процесса распространения коронавирусной инфекции от коэффициентов.

[17]:
```
def experiment5():
    students_num = 19000
    student_meeting_person_expected_value = 150
    student_meeting_person_dispersion = 50
    student_come_to_university = 0.5
    teachers_num = 3297
    teacher_meeting_person_expected_value = 200
    teacher_meeting_person_dispersion = 150
    teacher_come_to_university = 0.3
    incubation_period_expected_value = 11 #https://iz.ru/989894/2020-03-22/
↪nazvan-srednii-inkubatcionnyi-period-koronavirusa
    incubation_period_dispersion = 5
    mortality = 0.06
    illness_time_expected_value = 20 #https://iz.ru/981482/2020-02-28/
↪voz-nazvala-sroki-vyzdorovleniia-ot-koronavirusa
    illness_time_dispersion = 5
    immunitet_period_expected_value = 240
    immunitet_period_dispersion = 100
    drawer3D = Drawer3D("      ")
    for infectiousness in np.arange(0.0, 0.95, 0.05):
        population = Population(students_num, ␣
↪student_meeting_person_expected_value,
                            student_meeting_person_dispersion, ␣
↪student_come_to_university,
                            teachers_num, teacher_meeting_person_expected_value,
                            teacher_meeting_person_dispersion, ␣
↪teacher_come_to_university,
                            infectiousness, incubation_period_expected_value,
                            incubation_period_dispersion,
                            mortality,
                            illness_time_expected_value, illness_time_dispersion,
                            immunitet_period_expected_value, ␣
↪immunitet_period_dispersion)
        population.first_infection()
        autum_semestr_loop( population, drawer3D)
        drawer3D.setK(infectiousness)
    return drawer3D
```

[18]:
```
def experiment6():
    students_num = 19000
    student_meeting_person_expected_value = 150
    student_meeting_person_dispersion = 50
    teachers_num = 3297
    teacher_meeting_person_expected_value = 200
    teacher_meeting_person_dispersion = 150
    teacher_come_to_university = 0.3
    infectiousness = 0.799 #https://rg.ru/2020/05/04/
↪issledovanie-veroiatnost-zarazitsia-covid-vyshe-vsego-doma-i-v-
transporte.
↪html
    incubation_period_expected_value = 11 #https://iz.ru/989894/2020-03-22/
↪nazvan-srednii-inkubatcionnyi-period-koronavirusa
    incubation_period_dispersion = 5
    mortality = 0.06
    illness_time_expected_value = 20 #https://iz.ru/981482/2020-02-28/
↪voz-nazvala-sroki-vyzdorovleniia-ot-koronavirusa
    illness_time_dispersion = 5
    immunitet_period_expected_value = 240
    immunitet_period_dispersion = 100
    drawer3D = Drawer3D("                    ")
    for student_come_to_university in np.arange(0.,  0.95,  0.05):
        population = Population(students_num, ␣
↪student_meeting_person_expected_value,
                            student_meeting_person_dispersion, ␣
↪student_come_to_university,
                            teachers_num, teacher_meeting_person_expected_value,
                            teacher_meeting_person_dispersion, ␣
↪teacher_come_to_university,
                            infectiousness, incubation_period_expected_value,
                            incubation_period_dispersion,
                            mortality,
                            illness_time_expected_value, illness_time_dispersion,
                            immunitet_period_expected_value, ␣
↪immunitet_period_dispersion)
        population.first_infection()
        autum_semestr_loop( population, drawer3D)
        drawer3D.setK(student_come_to_university)
    return drawer3D
```

[19]:
```
def experiment7():
    students_num = 19000
    student_meeting_person_dispersion = 50
    student_come_to_university = 0.5
    teachers_num = 3297
    teacher_meeting_person_expected_value = 200
    teacher_meeting_person_dispersion = 150
    teacher_come_to_university = 0.3
    infectiousness = 0.799 #https://rg.ru/2020/05/04/
↪issledovanie-veroiatnost-zarazitsia-covid-vyshe-vsego-doma-i-v-
transporte.
↪html
    incubation_period_expected_value = 11 #https://iz.ru/989894/2020-03-22/
↪nazvan-srednii-inkubatcionnyi-period-koronavirusa
    incubation_period_dispersion = 5
    mortality = 0.06
    illness_time_expected_value = 20 #https://iz.ru/981482/2020-02-28/
↪voz-nazvala-sroki-vyzdorovleniia-ot-koronavirusa
    illness_time_dispersion = 5
    immunitet_period_expected_value = 240
    immunitet_period_dispersion = 100
    drawer3D = Drawer3D("                    ")
    for student_meeting_person_expected_value in np.arange(10, 200, 10):
        population = Population(students_num, ␣
↪student_meeting_person_expected_value,
                            student_meeting_person_dispersion, ␣
↪student_come_to_university,
                            teachers_num, teacher_meeting_person_expected_value,
                            teacher_meeting_person_dispersion, ␣
↪teacher_come_to_university,
                            infectiousness, incubation_period_expected_value,
                            incubation_period_dispersion,
                            mortality,
                            illness_time_expected_value, illness_time_dispersion,
                            immunitet_period_expected_value, ␣
↪immunitet_period_dispersion)
        population.first_infection()
        autum_semestr_loop(population, drawer3D)
        drawer3D.setK(student_meeting_person_expected_value)
    return drawer3D
```

[20]:
```
def experiment8():
    students_num = 19000
    student_meeting_person_expected_value = 150
    student_meeting_person_dispersion = 50
    student_come_to_university = 0.5
    teachers_num = 3297
    teacher_meeting_person_expected_value = 200
    teacher_meeting_person_dispersion = 150
    infectiousness = 0.799
    #https://rg.ru/2020/05/04/
↪issledovanie-veroiatnost-zarazitsia-covid-vyshe-vsego-doma-i-v-
transporte.
↪html
    incubation_period_expected_value = 11 #https://iz.ru/989894/2020-03-22/
↪nazvan-srednii-inkubatcionnyi-period-koronavirusa
    incubation_period_dispersion = 5
    mortality = 0.06
    illness_time_expected_value = 20 #https://iz.ru/981482/2020-02-28/
↪voz-nazvala-sroki-vyzdorovleniia-ot-koronavirusa
    illness_time_dispersion = 5
    immunitet_period_expected_value = 240
    immunitet_period_dispersion = 100
    drawer3D = Drawer3D("                          ")
    for teacher_come_to_university in np.arange(0.05, 1, 0.05):
        population = Population(students_num, ␣
↪student_meeting_person_expected_value,
                            student_meeting_person_dispersion, ␣
↪student_come_to_university,
                            teachers_num, teacher_meeting_person_expected_value,
                            teacher_meeting_person_dispersion, ␣
↪teacher_come_to_university,
                            infectiousness, incubation_period_expected_value,
                            incubation_period_dispersion,
                            mortality,
                            illness_time_expected_value, illness_time_dispersion,
                            immunitet_period_expected_value, ␣
↪immunitet_period_dispersion)
        population.first_infection()
        autum_semestr_loop(population, drawer3D)
        drawer3D.setK(teacher_come_to_university)
    return drawer3D
```

[21]:
```
def experiment9():
    students_num = 19000
    student_meeting_person_expected_value = 150
    student_meeting_person_dispersion = 50
    student_come_to_university = 0.5
    teachers_num = 3297
    teacher_meeting_person_expected_value = 200
    teacher_meeting_person_dispersion = 150
    teacher_come_to_university = 0.3
    infectiousness = 0.799 #https://rg.ru/2020/05/04/
↪issledovanie-veroiatnost-zarazitsia-covid-vyshe-vsego-doma-i-v-
transporte.
↪html
    incubation_period_dispersion = 5
    mortality = 0.06
    illness_time_expected_value = 20 #https://iz.ru/981482/2020-02-28/
↪voz-nazvala-sroki-vyzdorovleniia-ot-koronavirusa
    illness_time_dispersion = 5
    immunitet_period_expected_value = 240
    immunitet_period_dispersion = 100
    drawer3D = Drawer3D("                    ")
    for incubation_period_expected_value in np.arange(1, 20, 1):
        population = Population(students_num, ␣
↪student_meeting_person_expected_value,
                            student_meeting_person_dispersion, ␣
↪student_come_to_university,
                            teachers_num, teacher_meeting_person_expected_value,
                            teacher_meeting_person_dispersion, ␣
↪teacher_come_to_university,
                            infectiousness, incubation_period_expected_value,
                            incubation_period_dispersion,
                            mortality,
                            illness_time_expected_value, illness_time_dispersion,
                            immunitet_period_expected_value, ␣
↪immunitet_period_dispersion)
        population.first_infection()
        autum_semestr_loop( population, drawer3D)
        drawer3D.setK(incubation_period_expected_value)
    return drawer3D
```

[22]:
```
def experiment10():
    students_num = 19000
    student_meeting_person_expected_value = 150
    student_meeting_person_dispersion = 50
    student_come_to_university = 0.5
    teachers_num = 3297
    teacher_meeting_person_expected_value = 200
    teacher_meeting_person_dispersion = 150
    teacher_come_to_university = 0.3
    infectiousness = 0.799 #https://rg.ru/2020/05/04/
↪issledovanie-veroiatnost-zarazitsia-covid-vyshe-vsego-doma-i-v-
transporte.
↪html
    incubation_period_expected_value = 11 #https://iz.ru/989894/2020-03-22/
↪nazvan-srednii-inkubatcionnyi-period-koronavirusa
    incubation_period_dispersion = 5
    illness_time_expected_value = 20 #https://iz.ru/981482/2020-02-28/
↪voz-nazvala-sroki-vyzdorovleniia-ot-koronavirusa
    illness_time_dispersion = 5
    immunitet_period_expected_value = 240
    immunitet_period_dispersion = 100
    drawer3D = Drawer3D("      ")
    for mortality in np.arange(0, 1, 0.05):
        population = Population(students_num, ␣
↪student_meeting_person_expected_value,
                            student_meeting_person_dispersion, ␣
↪student_come_to_university,
                            teachers_num, teacher_meeting_person_expected_value,
                            teacher_meeting_person_dispersion, ␣
↪teacher_come_to_university,
                            infectiousness, incubation_period_expected_value,
                            incubation_period_dispersion,
                            mortality,
                            illness_time_expected_value, illness_time_dispersion,
                            immunitet_period_expected_value, ␣
↪immunitet_period_dispersion)
        population.first_infection()
        autum_semestr_loop( population, drawer3D)
        drawer3D.setK(mortality)
    return drawer3D
```

[23]:
```
def experiment11():
    students_num = 19000
    student_meeting_person_expected_value = 150
    student_meeting_person_dispersion = 50
    student_come_to_university = 0.5
    teachers_num = 3297
    teacher_meeting_person_expected_value = 200
    teacher_meeting_person_dispersion = 150
    teacher_come_to_university = 0.3
    infectiousness = 0.799 #https://rg.ru/2020/05/04/
↪issledovanie-veroiatnost-zarazitsia-covid-vyshe-vsego-doma-i-v-
transporte.
↪html
    incubation_period_expected_value = 11 #https://iz.ru/989894/2020-03-22/
↪nazvan-srednii-inkubatcionnyi-period-koronavirusa
    incubation_period_dispersion = 5
    mortality = 0.06
    illness_time_expected_value = 20 #https://iz.ru/981482/2020-02-28/
↪voz-nazvala-sroki-vyzdorovleniia-ot-koronavirusa
    illness_time_dispersion = 5
    immunitet_period_dispersion = 100
    drawer3D = Drawer3D("                    ")
    for immunitet_period_expected_value in np.arange(10, 100, 10):
        population = Population(students_num,␣
↪student_meeting_person_expected_value,
                            student_meeting_person_dispersion,␣
↪student_come_to_university,
                            teachers_num, teacher_meeting_person_expected_value,
                            teacher_meeting_person_dispersion,␣
↪teacher_come_to_university,
                            infectiousness, incubation_period_expected_value,
                            incubation_period_dispersion,
                            mortality,
                            illness_time_expected_value, illness_time_dispersion,
                            immunitet_period_expected_value,␣
↪immunitet_period_dispersion)
        population.first_infection()
        autum_semestr_loop(population, drawer3D)
        drawer3D.setK(immunitet_period_expected_value)
    return drawer3D
```

[24]:
```
def experiment12():
    students_num = 19000
    student_meeting_person_expected_value = 150
    student_meeting_person_dispersion = 50
    student_come_to_university = 0.5
    teachers_num = 3297
    teacher_meeting_person_expected_value = 200
    teacher_meeting_person_dispersion = 150
    teacher_come_to_university = 0.3
    infectiousness = 0.799 #https://rg.ru/2020/05/04/
↪issledovanie-veroiatnost-zarazitsia-covid-vyshe-vsego-doma-i-v-
transporte.
↪html
    incubation_period_expected_value = 11 #https://iz.ru/989894/2020-03-22/
↪nazvan-srednii-inkubatcionnyi-period-koronavirusa
    incubation_period_dispersion = 5
    mortality = 0.06
    illness_time_expected_value = 20 #https://iz.ru/981482/2020-02-28/
↪voz-nazvala-sroki-vyzdorovleniia-ot-koronavirusa
    illness_time_dispersion = 5
    immunitet_period_expected_value = 240
    immunitet_period_dispersion = 100
    drawer3D = Drawer3D("            ")
    for illness_time_expected_value in np.arange(3, 30, 2):
        population = Population(students_num, ␣
↪student_meeting_person_expected_value,
                            student_meeting_person_dispersion, ␣
↪student_come_to_university,
                            teachers_num, teacher_meeting_person_expected_value,
                            teacher_meeting_person_dispersion, ␣
↪teacher_come_to_university,
                            infectiousness, incubation_period_expected_value,
                            incubation_period_dispersion,
                            mortality,
                            illness_time_expected_value, illness_time_dispersion,
                            immunitet_period_expected_value, ␣
↪immunitet_period_dispersion)
        population.first_infection()
        autum_semestr_loop( population, drawer3D)
        drawer3D.setK(illness_time_expected_value)
    return drawer3D
```

[25]:
```
import multiprocessing
num_of_cpu =
multiprocessing.cpu_count() print
(num_of_cpu)
```

```
32
```

[26]:
```
experiment_list = [experiment1,
                   experiment2
                   ,
                   experiment3
                   ,
                   experiment4
                   ,
                   experiment5
                   ,
                   experiment6
                   ,
                   experiment7
```

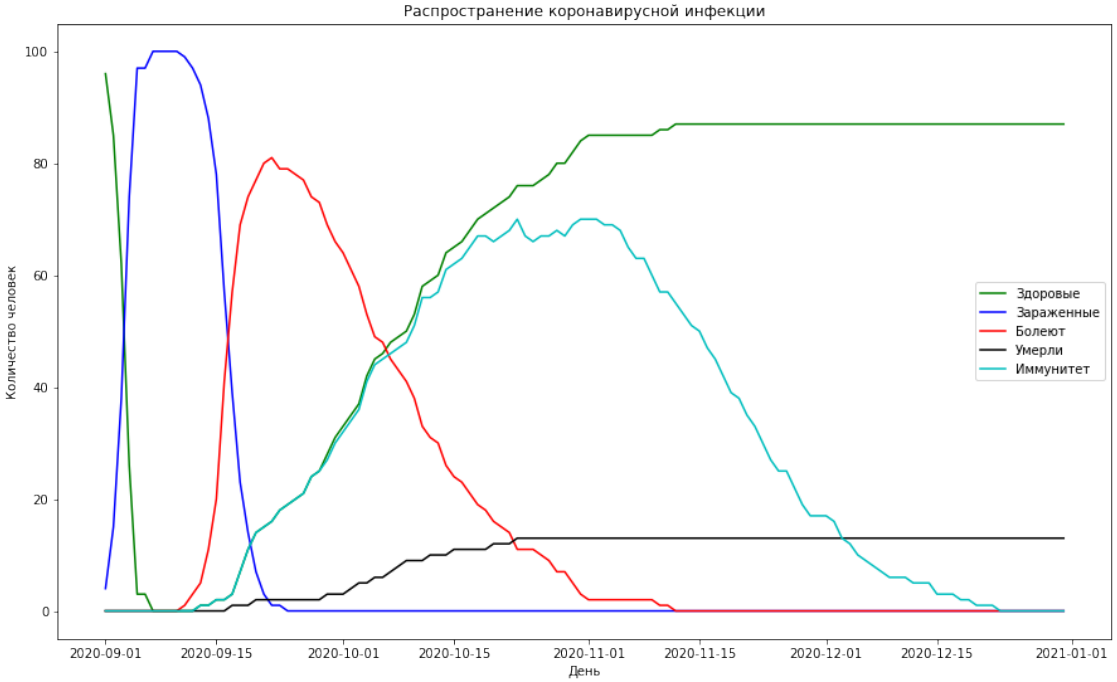
[27]:
```
def experiment_do(i):
    return experiment_list[i]()
```

[28]:
```
%%time
pool = multiprocessing.Pool(processes=num_of_cpu)
res = pool.map(experiment_do, range(len(experiment_list)))
```

```
CPU times: user 1.09 s, sys: 102 ms, total: 1.19 s
Wall time: 3min 11s
```

[29]:
```
res[0].draw()
```

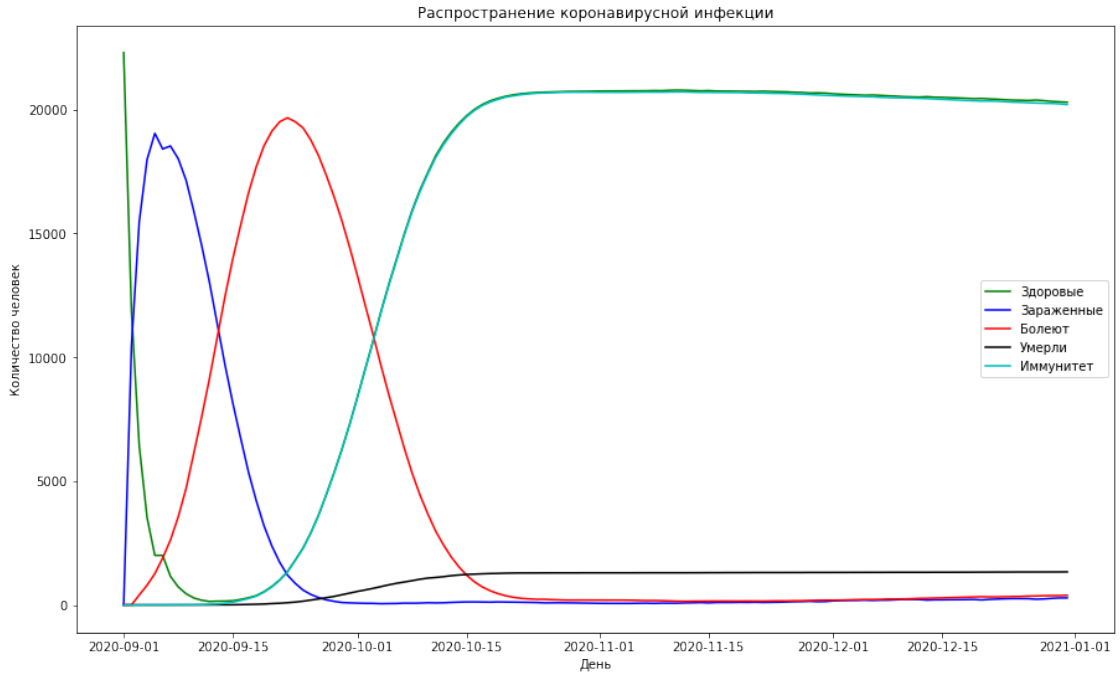
Выводы по эксперименту 1



Модель работает без сбоев, корректно отражая основные зависимости

[30]:
```
res[1].draw()
```

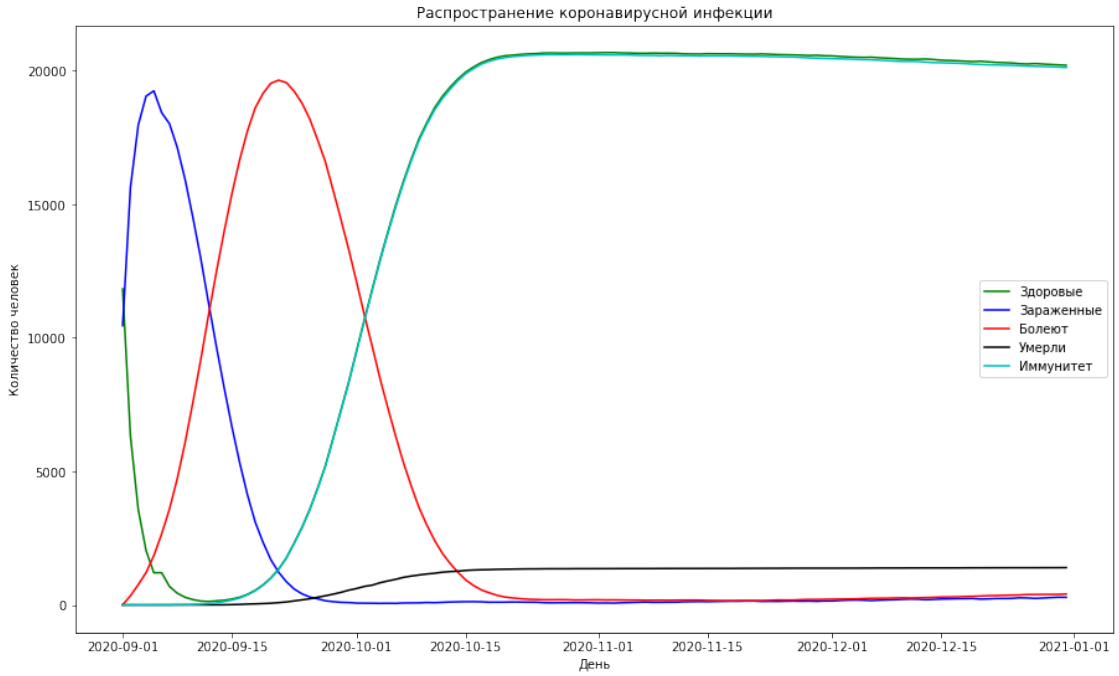
Выводы по эксперименту 2



Данный график отображает обычное течение коронавирусной инфекции, почти сразу вся популяция инфицируется, и, затем, заболевает. За то время, пока люди болеют, коронавирусная инфекция исчезает, так как не остается людей, в которых вирус может размножаться. Кажется, это один из способов победить коронавирус на относительно небольшом острове, изолированном от внешнего мира. Смертность при этом находится на уровне 6%.

[31]:
```
res[2].draw()
```

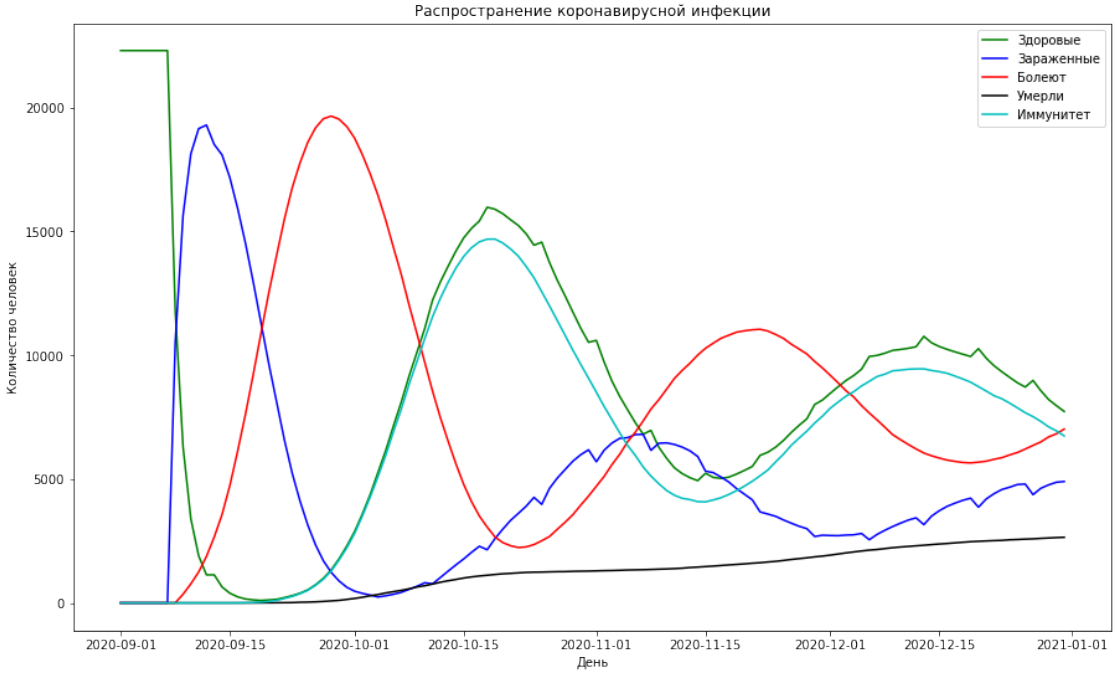
Выводы по эксперименту 3



В сравнении с предыдущим графиком, результаты различаются не сильно. В обоих случаях все люди очень быстро заражаются. Данный эксперимент свидетельствует, о том что маска не способна оказать существенную защиту от коронавирусной инфекции.

[32]:
```
res[3].draw()
```

Выводы по эксперименту 4

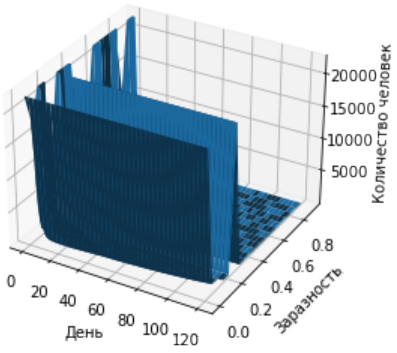


На данном графике отчетливо видно вторую волну заболевания, она меньше первой. На остальных графиках вторая волна не наблюдается из-за ограничения времени моделирования модели.

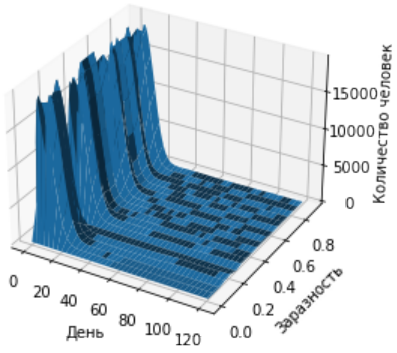
[33]:
```
res[4].draw()
```

Выводы по экспериментам 5-12

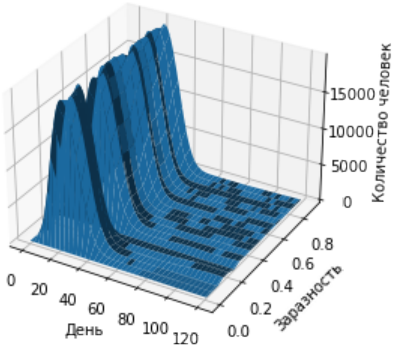
Здоровые



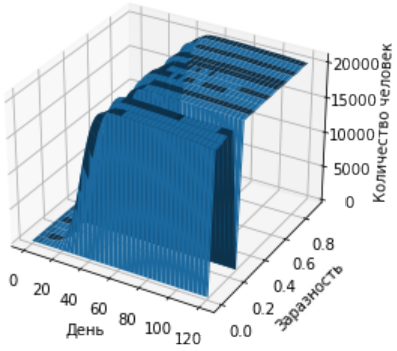
Зараженные



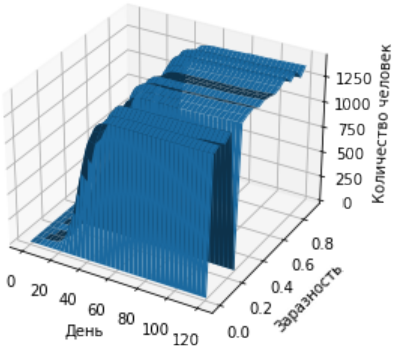
Больные



Иммунитет

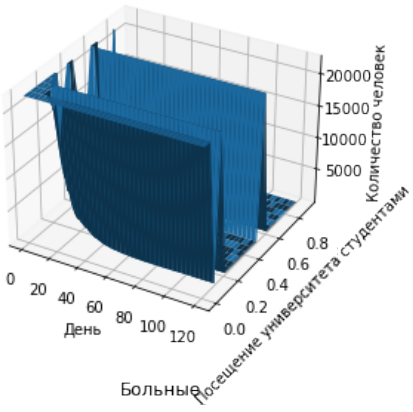


Умерли

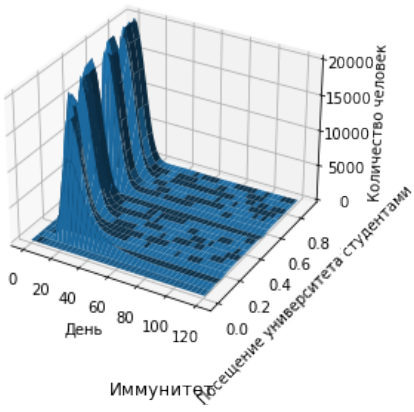


[34]:
```
res[5].draw()
```

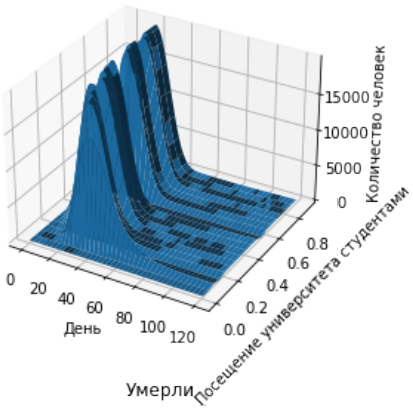
Здоровые



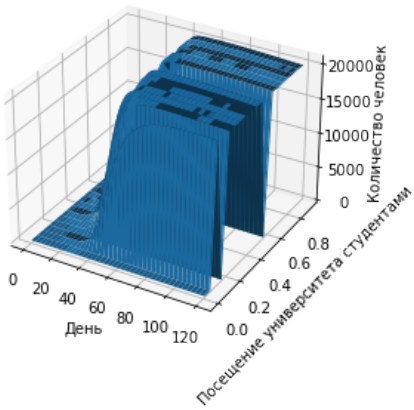
Зараженные



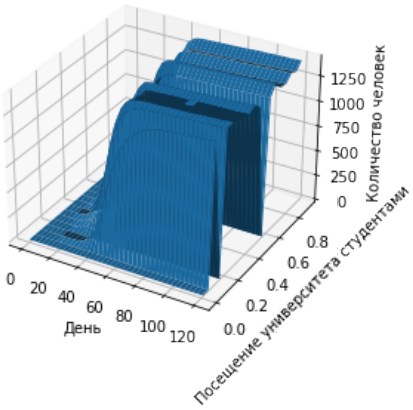
Больные



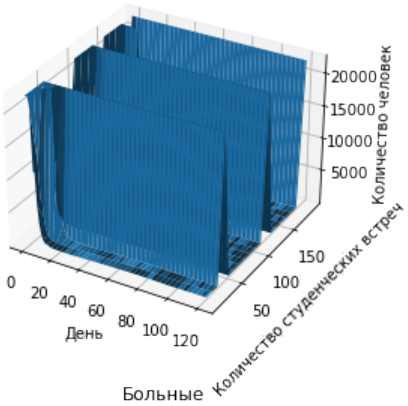
Иммунитет



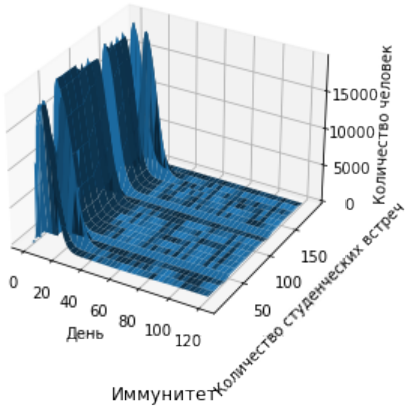
Умерли



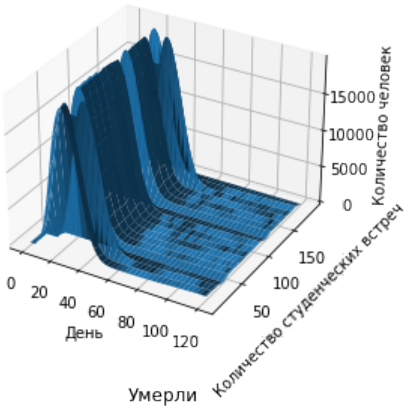
Здоровые



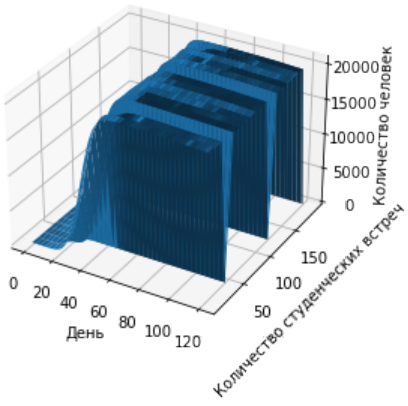
Зараженные



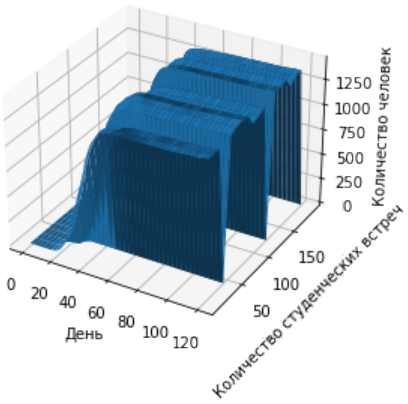
Больные



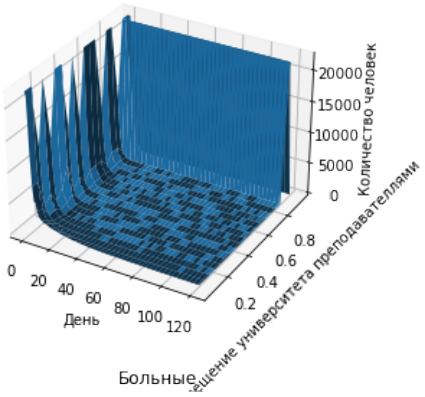
Иммунитет



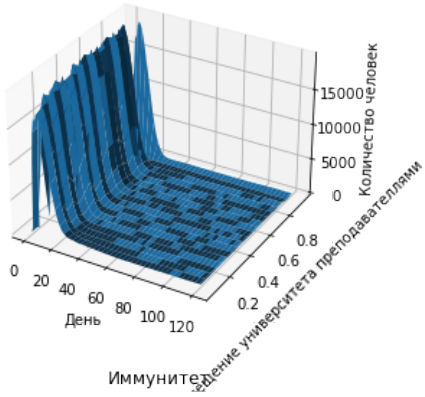
Умерли



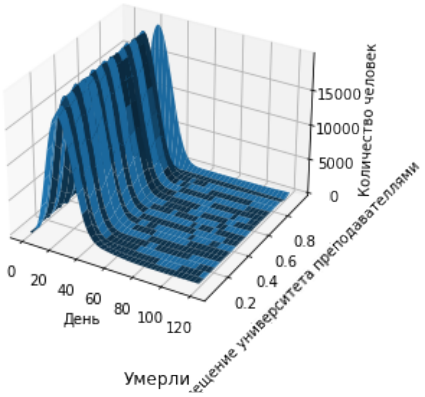
Здоровые



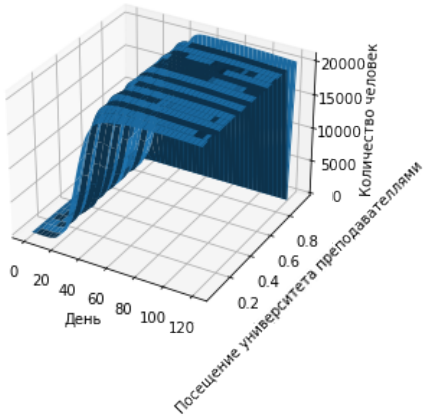
Зараженные



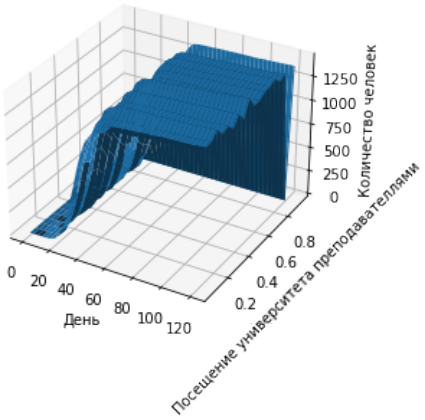
Больные



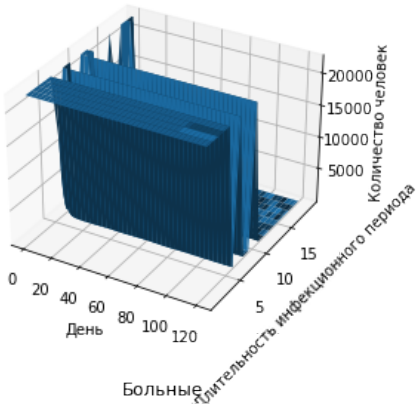
Иммунитет



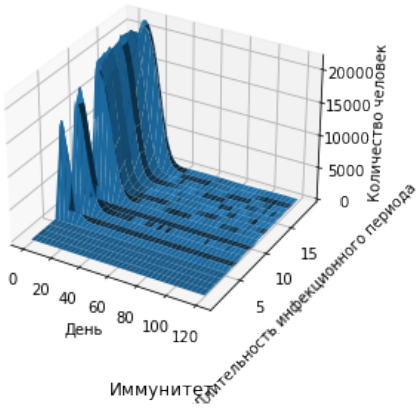
Умерли



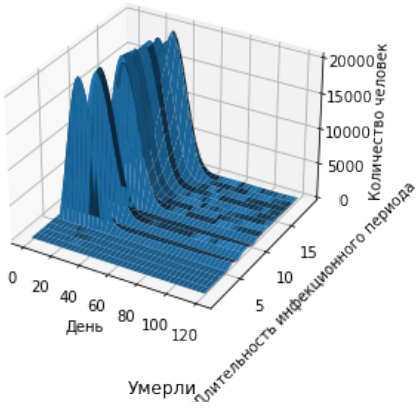
Здоровые



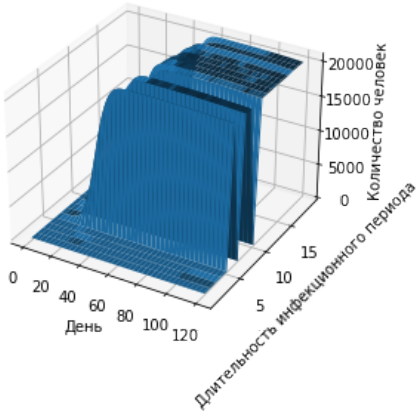
Зараженные



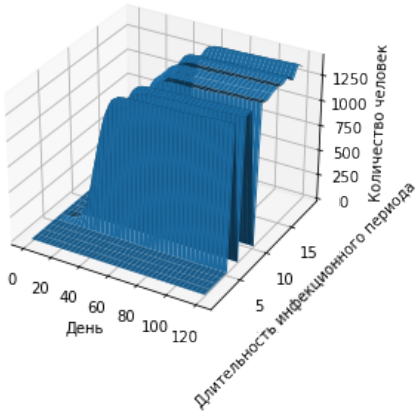
Больные

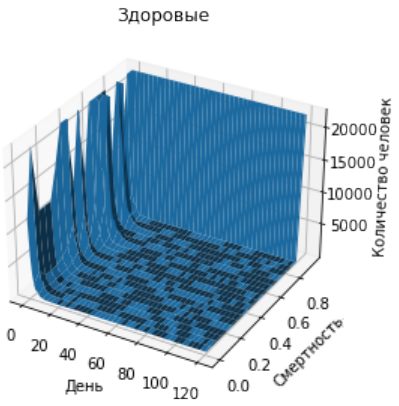


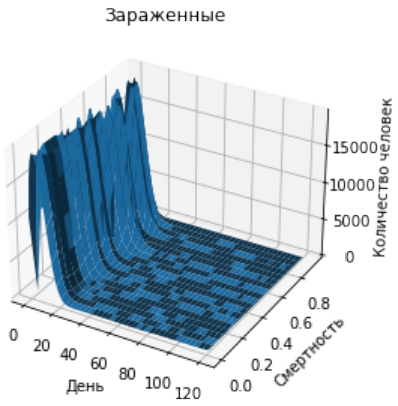
Иммунитет

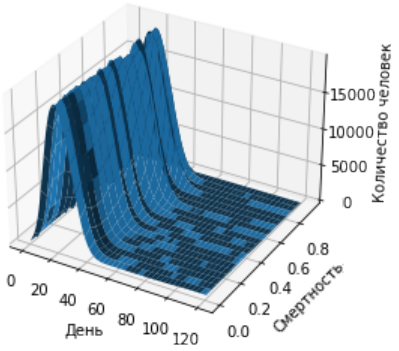


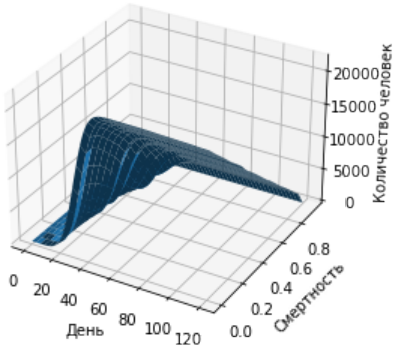
Умерли

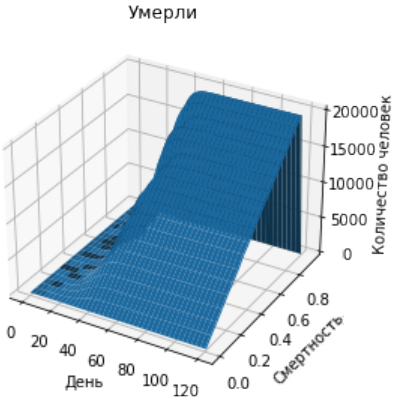




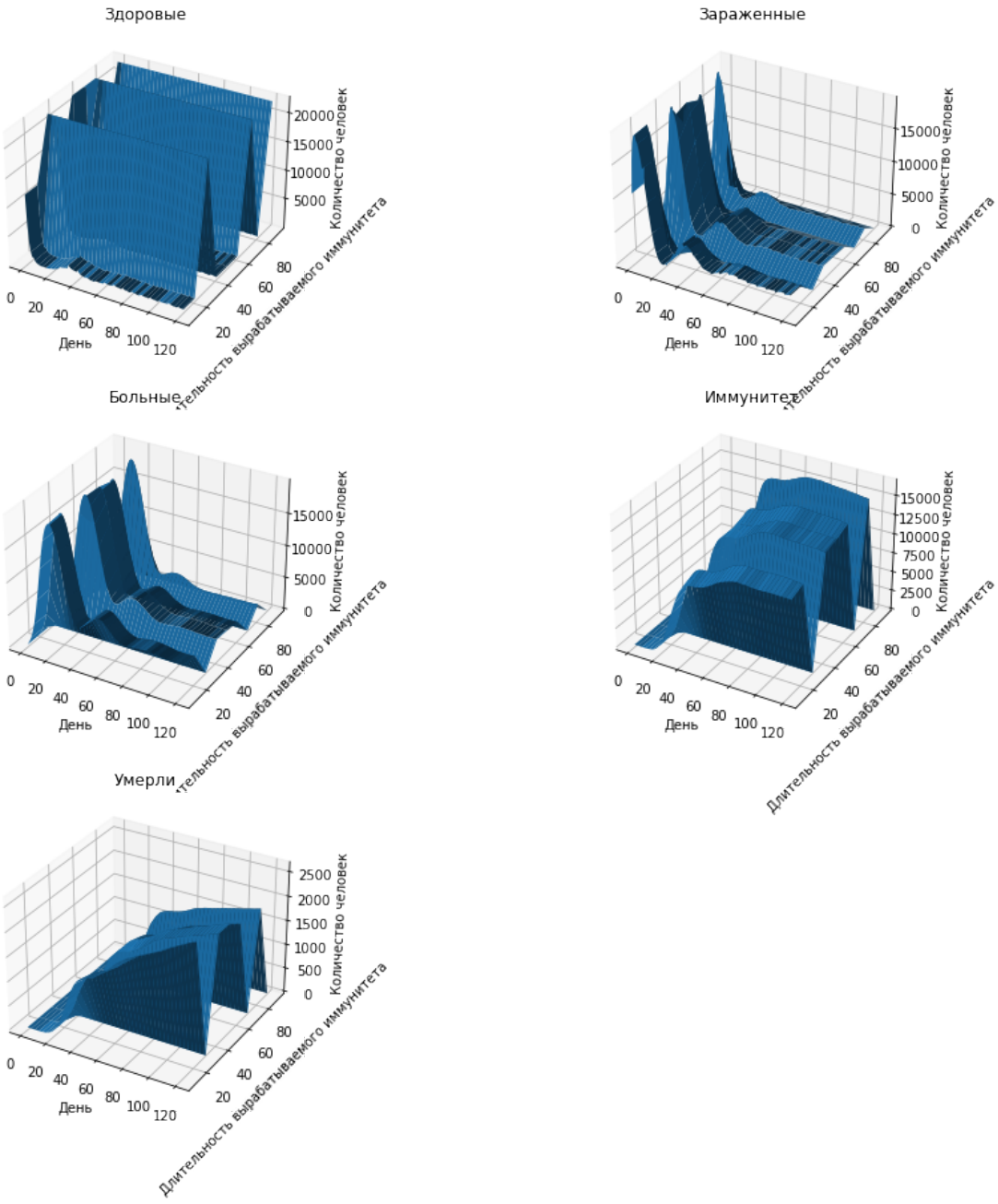




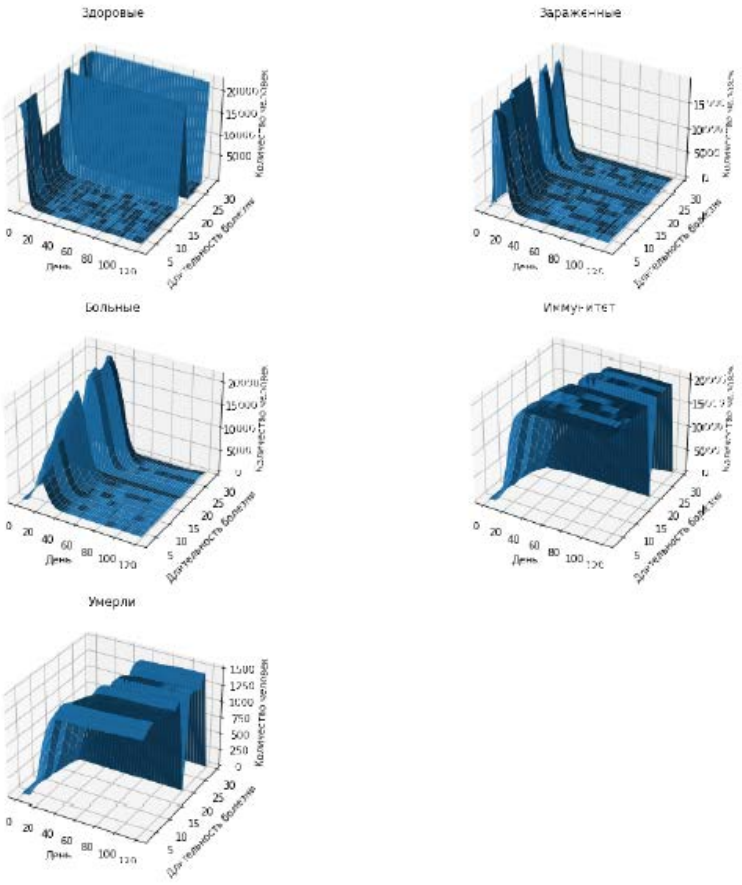




[39]:
```
res[10].draw()
```



[40]:
```
res[11].draw()
```



1. На графике зависимости количества зараженных от посещаемости университета видно, что если вероятность посещения занятия равна 0, то заражения подавляющего большинства человек удастся избежать.
2. Удается избежать распространения болезни, в случае, если ее инфекционный период довольно мал.
3. Ограничение посещения университета преподавателями не имеет большого влияния на популяцию, так как их значительно меньше, чем студентов.
4. Снижение количества встреч в университете не дает существенной разницы, так как в рамках модели люди постоянно встречаются с разными людьми. Чтобы не допустить распространение вируса, необходимо полностью исключить встречи.
5. Введение дистанционного обучения с 1 сентября помогает остановить распространение коронавирусной инфекции во всех эксперимента.

Выводы по работе

В рамках курсовой работы была создана программа на языке Python3, моделирующая распространение коронавирусной инфекции в университете. С ее помощью можно изучать процесс распространения вируса при конкретных коэффициентах, а можно пытаться выявить некоторые зависимости от них. Благодаря данной модели нам удалось найти наиболее эффективные решения существующей проблемы.

Список используемых источников

1. Исследование: вероятность заразиться COVID выше всего дома и в транспорте. https://rg.ru/2020/05/04/issledovanie-veroiatnost-zarazitsia-covid-vyshe-vsego-doma-i-v-transporte.html
2. Назван средний инкубационный период коронавируса https://iz.ru/989894/2020-03-22/nazvan-srednii-inkubatcionnyi-period-koronavirusa
3. ВОЗ назвала сроки выздоровления от коронавируса https://iz.ru/981482/2020-02-28/voz-nazvala-sroki-vyzdorovleniia-ot-koronavirusa
4. Московский государственный техничесеий университет имени Н.Э. Баумана https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%B3%D0%BE%D1%81%D1%83%D0%B4%D0%B0%D1%80%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%83%D0%BD%D0%B8%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%81%D0%B8%D1%82%D0%B5%D1%82_%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%B8_%D0%9D._%D0%AD._%D0%91%D0%B0%D1%83%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%B0
5. Состав педагогических работников образовательной организации https://bmstu.ru/sveden/employees/pps/
6. Конспект лекций ИМДП 2020