**Цель**

Разработать программное обеспечение в виде онлайн-калькулятора, выполняющего оценку степени развития пандемии в регионе России на основе уже описанной базовой модели системной динамики.

**Исследуемые показатели**

В качестве исследуемых показателей выбраны следующие переменные:

* L1(t) – летальность (mortality);
* L2(t) – численность инфицированных (number of infected people);
* L3(t) – численность населения региона (the number of civilizations);
* L4(t) – численность госпитализированных (the number of hospitalized patients);
* L5(t) – изолированность (isolation);
* L6(t) – скорость распространения (propagation speed);
* L7(t) – доступность лекарства (drug availability);
* L8(t) – тяжесть симптомов (severity of symptoms);
* L9(t) – количество умерших от заболевания (the number of deaths from the disease);
* L10(t) – уровень медицины (level of medicine);
* L11(t) – длительность инкубационного периода (duration of the incubation period);
* L12(t) – длительность периода полного развития болезни (duration of the period of full development of the disease);
* L13(t) – длительность реабилитационного периода (duration of the rehabilitation period);
* L14(t) – устойчивость вируса к лекарствам (drug resistance of the virus);
* L15(t) – степень осложнений заболевания (the degree of complications of the disease).

Данные показатели были объединены в систему дифференциальных уравнений, решение которой позволит продемонстрировать изменения параметров развития пандемии в течение времени .

Система приведена ниже:

Таблица 1 - Система уравнений и подграфов исследуемых переменных Li(t)

| № | Уравнение | Константы |
| --- | --- | --- |
| 1 |  | L1(t) - летальность (mortality) |
| 2 |  | L2(t) - численность инфицированных (number of infected people) |
| 3 |  | L3(t) - численность цивилизации (the number of civilizations) |
| 4 |  | L4(t) - численность госпитализированных (the number of hospitalized patients) |
| 5 |  | L5(t) - изолированность (isolation) |
| 6 |  | L6(t) - скорость распространения (propagation speed) |
| 7 |  | L7(t) - доступность лекарства (drug availability) |
| 8 |  | L8(t) - тяжесть симптомов (severity of symptoms |
| 9 |  | L9(t) - количество умерших от заболевания (the number of deaths from the disease) |
| 10 |  | L10(t) - уровень медицины (level of medicine) |
| 11 |  | L11(t) - длительность инкубационного периода (duration of the incubation period) |
| 12 |  | L12(t) - длительность периода полного развития болезни (duration of the period of full development of the disease) |
| 13 |  | L13(t) - длительность реабилитационного периода (duration of the rehabilitation period) |
| 14 |  | L14(t) - устойчивость вируса к лекарствам (drug resistance of the virus) |
| 15 |  | L15(t) - степень осложнений заболевания (the degree of complications of the disease) |

# Возмущения

Результаты комплекса мероприятий, необходимых для оценки влияния пандемии на риски развития цивилизации, показывают, что в качестве возмущений (внешних факторов) в модели целесообразно использовать следующие показатели:

* q1(t) – опыт медицинских сотрудников;
* q2(t) – опыт научных сотрудников;
* q3(t) – трудоемкость разработки вакцины;
* q4(t) – экономическая обстановка в цивилизации;
* q5(t) – меры предпринятые государством.

# Граф причинно-следственных связей

Граф причинно-следственных связей между моделируемыми переменными и факторами внешней среды формируется с разбитием на отдельные подграфы , каждый из которых используется при формировании соответствующего нелинейного дифференциального уравнения.

Матрица инцидентностей графа представляет собой матрицу размером 15 х 20 по числу моделируемых переменных и возмущений .

Значения элементов этой матрицы определяются следующими выражениями:

1. , если увеличение значения переменной или фактора внешней среды приводит к увеличению переменной или фактора внешней среды .
2. , если увеличение значения переменной или фактора внешней среды приводит к уменьшению переменной или фактора внешней среды .
3. При отсутствии связи между указанными переменными и факторами .

Связи графа (подграфы) причинно-следственных связей, определяющие взаимосвязи между переменными формируемой системы, приведены в таблице 1. По горизонтали указаны исследуемые переменные, по вертикали зависимости ранее описанных переменных от других.

Значения элементов таблицы выбраны в соответствии с мнением экспертов о релевантности причинно-следственных связей, влияющих на моделируемую переменную. Эти значения могут быть изменены при внедрении разрабатываемой математической модели оценки влияния пандемии на риски развития цивилизации.

# Решение системы дифференциальных уравнений

Дифференциальное уравнение, характеризующее изменение уровня исследуемых показателей как строки матрицы графа причинно-следственных связей в общем виде будет иметь форму:

где Bi(t) – результат произведения факторов, влияющих на темп увеличения исследуемой переменной, а Di(t) – результат произведения факторов, влияющих на темп уменьшения исследуемой переменной.

Нормировка выполняется с помощью множителя , где - максимальное значение уровня функциональных возможностей рассматриваемого программного обеспечения в выбранной числовой шкале измерений.

Для системы дифференциальных уравнений было реализовано:

* Решения системы дифференциальных уравнений;
* Построения графика зависимости переменных L от времени t;
* Построения нескольких лепестковых диаграмм со значениями параметров влияния пандемии в разные промежутки времени t.

Функции возмущения представляют из себя ступенчатые функции. Далее представлено описание функций возмущения:

При начальных значениях Li = [0.05; 0.01; 0.2; 0.7; 0.7; 0.5; 0.1; 0.3; 0.6; 0.8; 0.3; 0.5; 0.1; 0.8; 0.1], где каждый элемент массива представляет из себя исследуемый показатель