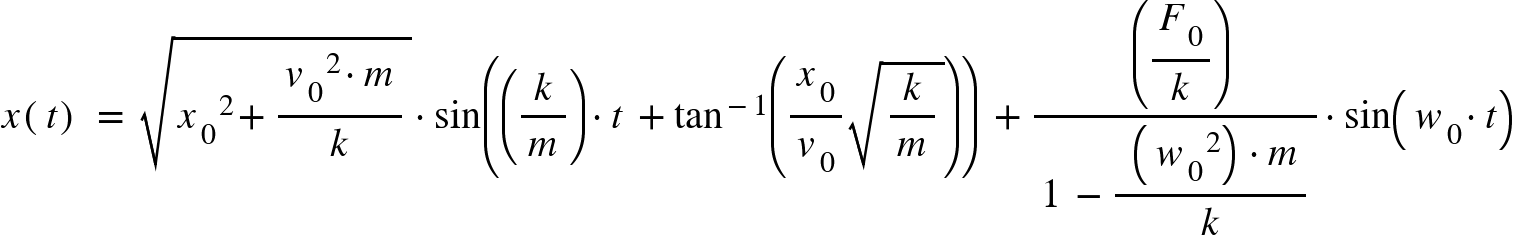
**ВВЕДЕНИЕ**

В современном мире анализ механических вибраций остается одной из ключевых задач в инженерии. Традиционно исследование колебательных процессов основывалось на аналитических и численных методах, позволяющих получать точные решения для линейной и относительно простой нелинейной динамики. Однако с усложнением моделей усложнением моделей и возникновением задач, описывающих более сложные физические явления, классические методы часто сталкиваются с ограничениями как по вычислительной сложности, так и по точности.

В данной работе рассматривается уравнение, описывающее вибрации, представленное следующей формулой:



Данная формула включает такие компоненты как:

{"mathml":"<math style=\"font-family:stix;font-size:11px;\" xmlns=\"http://www.w3.org/1998/Math/MathML\"><msub><mi>v</mi><mn>0</mn></msub><mo>&#xA0;</mo><mo>-</mo><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x43D;</mi><mi>&#x430;</mi><mi>&#x447;</mi><mi>&#x430;</mi><mi>&#x43B;</mi><mi>&#x44C;</mi><mi>&#x43D;</mi><mi>&#x430;</mi><mi>&#x44F;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x441;</mi><mi>&#x43A;</mi><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x440;</mi><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x441;</mi><mi>&#x442;</mi><mi>&#x44C;</mi><mspace linebreak=\"newline\"/><msub><mi>x</mi><mn>0</mn></msub><mo>&#xA0;</mo><mo>-</mo><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x43D;</mi><mi>&#x430;</mi><mi>&#x447;</mi><mi>&#x430;</mi><mi>&#x43B;</mi><mi>&#x44C;</mi><mi>&#x43D;</mi><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x435;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x43F;</mi><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x43B;</mi><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x436;</mi><mi>&#x435;</mi><mi>&#x43D;</mi><mi>&#x438;</mi><mi>&#x435;</mi><mspace linebreak=\"newline\"/><mi>m</mi><mo>&#xA0;</mo><mo>-</mo><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x43C;</mi><mi>&#x430;</mi><mi>&#x441;</mi><mi>&#x441;</mi><mi>&#x430;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x43C;</mi><mi>&#x430;</mi><mi>&#x442;</mi><mi>&#x435;</mi><mi>&#x440;</mi><mi>&#x438;</mi><mi>&#x430;</mi><mi>&#x43B;</mi><mi>&#x44C;</mi><mi>&#x43D;</mi><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x439;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x442;</mi><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x447;</mi><mi>&#x43A;</mi><mi>&#x438;</mi><mspace linebreak=\"newline\"/><mi>t</mi><mo>&#xA0;</mo><mo>-</mo><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x43C;</mi><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x43C;</mi><mi>&#x435;</mi><mi>&#x43D;</mi><mi>&#x442;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x432;</mi><mi>&#x440;</mi><mi>&#x435;</mi><mi>&#x43C;</mi><mi>&#x435;</mi><mi>&#x43D;</mi><mi>&#x438;</mi><mo>,</mo><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x432;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x43A;</mi><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x442;</mi><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x440;</mi><mi>&#x44B;</mi><mi>&#x439;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x43D;</mi><mi>&#x443;</mi><mi>&#x436;</mi><mi>&#x43D;</mi><mi>&#x43E;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x432;</mi><mi>&#x44B;</mi><mi>&#x447;</mi><mi>&#x438;</mi><mi>&#x441;</mi><mi>&#x43B;</mi><mi>&#x438;</mi><mi>&#x442;</mi><mi>&#x44C;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x43F;</mi><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x43B;</mi><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x436;</mi><mi>&#x435;</mi><mi>&#x43D;</mi><mi>&#x438;</mi><mi>&#x435;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x43C;</mi><mi>&#x430;</mi><mi>&#x442;</mi><mi>&#x435;</mi><mi>&#x440;</mi><mi>&#x438;</mi><mi>&#x430;</mi><mi>&#x43B;</mi><mi>&#x44C;</mi><mi>&#x43D;</mi><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x439;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x442;</mi><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x447;</mi><mi>&#x43A;</mi><mi>&#x438;</mi><mspace linebreak=\"newline\"/><msub><mi>F</mi><mn>0</mn></msub><mo>&#xA0;</mo><mo>-</mo><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x430;</mi><mi>&#x43C;</mi><mi>&#x43F;</mi><mi>&#x43B;</mi><mi>&#x438;</mi><mi>&#x442;</mi><mi>&#x443;</mi><mi>&#x434;</mi><mi>&#x43D;</mi><mi>&#x430;</mi><mi>&#x44F;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x441;</mi><mi>&#x438;</mi><mi>&#x43B;</mi><mi>&#x430;</mi><mspace linebreak=\"newline\"/><msub><mi>w</mi><mn>0</mn></msub><mo>&#xA0;</mo><mo>-</mo><mi>&#x444;</mi><mi>&#x430;</mi><mi>&#x437;</mi><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x432;</mi><mi>&#x430;</mi><mi>&#x44F;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x447;</mi><mi>&#x430;</mi><mi>&#x441;</mi><mi>&#x442;</mi><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x442;</mi><mi>&#x430;</mi><mspace linebreak=\"newline\"/><mi>w</mi><mo>&#xA0;</mo><mo>-</mo><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x430;</mi><mi>&#x43C;</mi><mi>&#x43F;</mi><mi>&#x43B;</mi><mi>&#x438;</mi><mi>&#x442;</mi><mi>&#x443;</mi><mi>&#x434;</mi><mi>&#x43D;</mi><mi>&#x430;</mi><mi>&#x44F;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x447;</mi><mi>&#x430;</mi><mi>&#x441;</mi><mi>&#x442;</mi><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x442;</mi><mi>&#x430;</mi><mspace linebreak=\"newline\"/><mi>k</mi><mo>&#xA0;</mo><mo>-</mo><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x436;</mi><mi>&#x435;</mi><mi>&#x441;</mi><mi>&#x442;</mi><mi>&#x43A;</mi><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x441;</mi><mi>&#x442;</mi><mi>&#x44C;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x43F;</mi><mi>&#x440;</mi><mi>&#x443;</mi><mi>&#x436;</mi><mi>&#x438;</mi><mi>&#x43D;</mi><mi>&#x44B;</mi></math>","origin":"MathType Legacy","version":"v3.17.1"}

Такое уравнение позволяет полноценно описать нелинейное поведение системы, что делает задачу расчета x(t) достаточно сложной с точки зрения аналитического решения.

Одним из современных подходов для решения подобных нелинейных задач является применение методов машинного обучения, в частности, нейронных сетей. Так как нейронные сети обладают способностью к аппроксимации сложных зависимостей, то они могут служить эффективным инструментом в случаях, когда традиционные алгоритмы требуют значительных вычислительных ресурсов или демонстрируют ограниченную точность в условиях изменяемых параметров модели.

Целью данной работы является исследование возможностей использования нейронных сетей для приближенного решения уравнения, описывающего вибрации. В работе рассматривается следующие этапы:

- Вывод аналитического решения уравнения колебаний материальной точки.

- Построение модели нейронной сети, предназначенной для аппроксимации функциональной зависимости, заданной указанной формулой.

- Анализ результатов, полученных с использованием построенной модели нейронной сети, с результатами, полученными, используя традиционные методы.

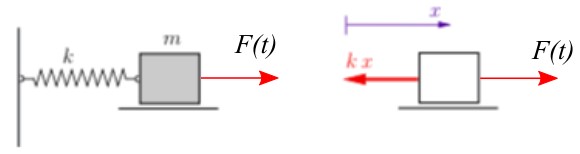
Рассматриваемая тема является актуальной, поскольку сочетание традиционных методик математического моделирования с современными подходами машинного обучения представляет значительный интерес как для фундаментальных исследований, так и для прикладного анализа сложных динамических систем. Применение методов нейронных сетей в данной области способствует не только повышению точности вычислений, но и расширяет возможности для моделирования реальных инженерных систем, где часто возникают ситуации, требующего быстроты принятия решений на основе сложных нелинейных зависимостей.

Данная работа является попыткой объединения классических представлений о механических вибрациях с новейшими достижениями в области нейронных сетей, что позволяет посмотреть на задачи динамики под новым углом и предложить эффективные решения для сложных механических систем.

**ГЛАВА 1**

**ВЫВОД АНАЛИТИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ**

При выводе аналитического решения уравнения колебаний материальной точки использовался Второй закон Ньютона. Также приведен рисунок системы



{"mathml":"<math style=\"font-family:stix;font-size:11px;\" xmlns=\"http://www.w3.org/1998/Math/MathML\"><mi>&#x418;</mi><mi>&#x437;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x412;</mi><mi>&#x442;</mi><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x440;</mi><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x433;</mi><mi>&#x43E;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x437;</mi><mi>&#x430;</mi><mi>&#x43A;</mi><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x43D;</mi><mi>&#x430;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x41D;</mi><mi>&#x44C;</mi><mi>&#x44E;</mi><mi>&#x442;</mi><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x43D;</mi><mi>&#x430;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x441;</mi><mi>&#x43B;</mi><mi>&#x435;</mi><mi>&#x434;</mi><mi>&#x443;</mi><mi>&#x435;</mi><mi>&#x442;</mi><mspace linebreak=\"newline\"/><mi>m</mi><mo>&#xB7;</mo><mi>x</mi><mo>''</mo><mo>+</mo><mi>k</mi><mo>&#xB7;</mo><mi>x</mi><mo>&#xA0;</mo><mo>=</mo><mo>&#xA0;</mo><mi>F</mi><mfenced><mi>t</mi></mfenced><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x438;</mi><mi>&#x43B;</mi><mi>&#x438;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>x</mi><mo>''</mo><mo>&#xA0;</mo><mo>+</mo><mo>&#xA0;</mo><msup><mi>w</mi><mn>2</mn></msup><mo>&#xB7;</mo><mi>x</mi><mo>&#xA0;</mo><mo>=</mo><mfrac><mrow><mo>&#xA0;</mo><mi>F</mi><mfenced><mi>t</mi></mfenced></mrow><mi>m</mi></mfrac><mspace linebreak=\"newline\"/><mi>&#x41E;</mi><mi>&#x431;</mi><mi>&#x449;</mi><mi>&#x435;</mi><mi>&#x435;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x440;</mi><mi>&#x435;</mi><mi>&#x448;</mi><mi>&#x435;</mi><mi>&#x43D;</mi><mi>&#x438;</mi><mi>&#x435;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x43C;</mi><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x436;</mi><mi>&#x43D;</mi><mi>&#x43E;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x437;</mi><mi>&#x430;</mi><mi>&#x43F;</mi><mi>&#x438;</mi><mi>&#x441;</mi><mi>&#x430;</mi><mi>&#x442;</mi><mi>&#x44C;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x442;</mi><mi>&#x430;</mi><mi>&#x43A;</mi><mspace linebreak=\"newline\"/><mi>x</mi><mfenced><mi>t</mi></mfenced><mo>&#xA0;</mo><mo>=</mo><mo>&#xA0;</mo><msub><mi>x</mi><mn>0</mn></msub><mfenced><mi>t</mi></mfenced><mo>&#xA0;</mo><mo>+</mo><mo>&#xA0;</mo><msub><mi>x</mi><mi>p</mi></msub><mfenced><mi>t</mi></mfenced><mo>&#xA0;</mo><mfenced><mn>1</mn></mfenced><mo>,</mo><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x433;</mi><mi>&#x434;</mi><mi>&#x435;</mi><mo>&#xA0;</mo><msub><mi>x</mi><mn>0</mn></msub><mfenced><mi>t</mi></mfenced><mo>=</mo><mi>A</mi><mo>&#xB7;</mo><mi>sin</mi><mfenced><mrow><mi>w</mi><mo>&#xB7;</mo><mi>t</mi><mo>+</mo><mi>&#x3D5;</mi></mrow></mfenced><mo>&#xA0;</mo><mo>-</mo><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x440;</mi><mi>&#x435;</mi><mi>&#x448;</mi><mi>&#x435;</mi><mi>&#x43D;</mi><mi>&#x438;</mi><mi>&#x435;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x434;</mi><mi>&#x43D;</mi><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x440;</mi><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x434;</mi><mi>&#x43D;</mi><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x433;</mi><mi>&#x43E;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x434;</mi><mi>&#x438;</mi><mi>&#x444;</mi><mi>&#x444;</mi><mi>&#x435;</mi><mi>&#x440;</mi><mi>&#x435;</mi><mi>&#x43D;</mi><mi>&#x446;</mi><mi>&#x438;</mi><mi>&#x430;</mi><mi>&#x43B;</mi><mi>&#x44C;</mi><mi>&#x43D;</mi><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x433;</mi><mi>&#x43E;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x443;</mi><mi>&#x440;</mi><mi>&#x430;</mi><mi>&#x432;</mi><mi>&#x43D;</mi><mi>&#x435;</mi><mi>&#x43D;</mi><mi>&#x438;</mi><mi>&#x44F;</mi><mo>,</mo><mspace linebreak=\"newline\"/><msub><mi>x</mi><mi>p</mi></msub><mfenced><mi>t</mi></mfenced><mo>&#xA0;</mo><mo>-</mo><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x447;</mi><mi>&#x430;</mi><mi>&#x441;</mi><mi>&#x442;</mi><mi>&#x43D;</mi><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x435;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x440;</mi><mi>&#x435;</mi><mi>&#x448;</mi><mi>&#x435;</mi><mi>&#x43D;</mi><mi>&#x438;</mi><mi>&#x435;</mi><mo>.</mo><mspace linebreak=\"newline\"/><mi>&#x421;</mi><mi>&#x447;</mi><mi>&#x438;</mi><mi>&#x442;</mi><mi>&#x430;</mi><mi>&#x44F;</mi><mo>,</mo><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x447;</mi><mi>&#x442;</mi><mi>&#x43E;</mi><mspace linebreak=\"newline\"/><mi>F</mi><mfenced><mi>t</mi></mfenced><mo>&#xA0;</mo><mo>=</mo><mo>&#xA0;</mo><msub><mi>F</mi><mn>0</mn></msub><mo>&#xB7;</mo><mi>sin</mi><mfenced><mrow><msub><mi>w</mi><mn>0</mn></msub><mo>&#xB7;</mo><mi>t</mi></mrow></mfenced><mspace linebreak=\"newline\"/><mi>&#x418;</mi><mi>&#x437;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x44D;</mi><mi>&#x442;</mi><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x433;</mi><mi>&#x43E;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x441;</mi><mi>&#x43B;</mi><mi>&#x435;</mi><mi>&#x434;</mi><mi>&#x443;</mi><mi>&#x435;</mi><mi>&#x442;</mi><mspace linebreak=\"newline\"/><mi>x</mi><mo>''</mo><mo>+</mo><msup><mi>w</mi><mn>2</mn></msup><mo>&#xB7;</mo><mi>x</mi><mo>&#xA0;</mo><mo>=</mo><mo>&#xA0;</mo><msub><mi>F</mi><mn>0</mn></msub><mo>&#xB7;</mo><mfrac><mrow><mi>sin</mi><mfenced><mrow><msub><mi>w</mi><mn>0</mn></msub><mo>&#xB7;</mo><mi>t</mi></mrow></mfenced></mrow><mi>m</mi></mfrac><mo>&#xA0;</mo><mfenced><mn>2</mn></mfenced><mspace linebreak=\"newline\"/><mi>&#x423;</mi><mi>&#x447;</mi><mi>&#x438;</mi><mi>&#x442;</mi><mi>&#x44B;</mi><mi>&#x432;</mi><mi>&#x430;</mi><mi>&#x44F;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x447;</mi><mi>&#x430;</mi><mi>&#x442;</mi><mi>&#x441;</mi><mi>&#x43D;</mi><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x435;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x440;</mi><mi>&#x435;</mi><mi>&#x448;</mi><mi>&#x435;</mi><mi>&#x43D;</mi><mi>&#x438;</mi><mi>&#x435;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x432;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x432;</mi><mi>&#x438;</mi><mi>&#x434;</mi><mi>&#x435;</mi><mspace linebreak=\"newline\"/><msub><mi>x</mi><mi>p</mi></msub><mfenced><mi>t</mi></mfenced><mo>&#xA0;</mo><mo>=</mo><mo>&#xA0;</mo><mi>X</mi><mo>&#xB7;</mo><mi>sin</mi><mfenced><mrow><msub><mi>w</mi><mn>0</mn></msub><mo>&#xB7;</mo><mi>t</mi></mrow></mfenced><mo>,</mo><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x433;</mi><mi>&#x434;</mi><mi>&#x435;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>X</mi><mo>&#xA0;</mo><mo>-</mo><mi>&#x43A;</mi><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x43D;</mi><mi>&#x441;</mi><mi>&#x442;</mi><mi>&#x430;</mi><mi>&#x43D;</mi><mi>&#x442;</mi><mi>&#x430;</mi><mo>.</mo><mspace linebreak=\"newline\"/><mi>&#x41F;</mi><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x434;</mi><mi>&#x441;</mi><mi>&#x442;</mi><mi>&#x430;</mi><mi>&#x432;</mi><mi>&#x43B;</mi><mi>&#x44F;</mi><mi>&#x44F;</mi><mo>&#xA0;</mo><msub><mi>x</mi><mi>p</mi></msub><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x432;</mi><mo>&#xA0;</mo><mfenced><mn>2</mn></mfenced><mo>,</mo><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x43F;</mi><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x43B;</mi><mi>&#x443;</mi><mi>&#x447;</mi><mi>&#x438;</mi><mi>&#x43C;</mi><mo>,</mo><mspace linebreak=\"newline\"/><mo>-</mo><mi>X</mi><mo>&#xB7;</mo><msup><msub><mi>w</mi><mn>0</mn></msub><mn>2</mn></msup><mi>sin</mi><mfenced><mrow><msub><mi>w</mi><mn>0</mn></msub><mo>&#xB7;</mo><mi>t</mi></mrow></mfenced><mo>+</mo><msup><mi>w</mi><mn>2</mn></msup><mo>&#xB7;</mo><mfenced><mrow><mi>X</mi><mo>&#xB7;</mo><mi>sin</mi><mfenced><mrow><msub><mi>w</mi><mn>0</mn></msub><mo>&#xB7;</mo><mi>t</mi></mrow></mfenced></mrow></mfenced><mo>=</mo><mfrac><mrow><msub><mi>F</mi><mn>0</mn></msub><mi>sin</mi><mfenced><mrow><msub><mi>w</mi><mn>0</mn></msub><mo>&#xB7;</mo><mi>t</mi></mrow></mfenced></mrow><mi>m</mi></mfrac><mspace linebreak=\"newline\"/><mi>&#x420;</mi><mi>&#x430;</mi><mi>&#x437;</mi><mi>&#x434;</mi><mi>&#x435;</mi><mi>&#x43B;</mi><mi>&#x438;</mi><mi>&#x432;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x432;</mi><mi>&#x44B;</mi><mi>&#x440;</mi><mi>&#x430;</mi><mi>&#x436;</mi><mi>&#x435;</mi><mi>&#x43D;</mi><mi>&#x438;</mi><mi>&#x435;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x43D;</mi><mi>&#x430;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>sin</mi><mfenced><mrow><msub><mi>w</mi><mn>0</mn></msub><mo>&#xB7;</mo><mi>t</mi></mrow></mfenced><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x438;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x432;</mi><mi>&#x44B;</mi><mi>&#x440;</mi><mi>&#x430;</mi><mi>&#x437;</mi><mi>&#x438;</mi><mi>&#x432;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>X</mi><mo>,</mo><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x43F;</mi><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x43B;</mi><mi>&#x443;</mi><mi>&#x447;</mi><mi>&#x430;</mi><mi>&#x435;</mi><mi>&#x442;</mi><mi>&#x441;</mi><mi>&#x44F;</mi><mspace linebreak=\"newline\"/><mi>X</mi><mo>&#xA0;</mo><mo>=</mo><mfrac><mstyle displaystyle=\"true\"><mfrac><msub><mi>F</mi><mn>0</mn></msub><mi>m</mi></mfrac></mstyle><mrow><msup><mi>w</mi><mn>2</mn></msup><mo>-</mo><msup><msub><mi>w</mi><mn>0</mn></msub><mn>2</mn></msup></mrow></mfrac><mo>=</mo><mfrac><mstyle displaystyle=\"true\"><mfrac><msub><mi>F</mi><mn>0</mn></msub><mi>k</mi></mfrac></mstyle><mrow><mn>1</mn><mo>-</mo><msup><mfenced><mstyle displaystyle=\"true\"><mfrac><msub><mi>w</mi><mn>0</mn></msub><mi>w</mi></mfrac></mstyle></mfenced><mn>2</mn></msup></mrow></mfrac><mspace linebreak=\"newline\"/><mi>&#x41F;</mi><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x434;</mi><mi>&#x441;</mi><mi>&#x442;</mi><mi>&#x430;</mi><mi>&#x432;</mi><mi>&#x438;</mi><mi>&#x432;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>X</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x432;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x447;</mi><mi>&#x430;</mi><mi>&#x441;</mi><mi>&#x442;</mi><mi>&#x43D;</mi><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x435;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x440;</mi><mi>&#x435;</mi><mi>&#x448;</mi><mi>&#x435;</mi><mi>&#x43D;</mi><mi>&#x438;</mi><mi>&#x435;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x43F;</mi><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x43B;</mi><mi>&#x443;</mi><mi>&#x447;</mi><mi>&#x430;</mi><mi>&#x435;</mi><mi>&#x43C;</mi><mspace linebreak=\"newline\"/><msub><mi>x</mi><mi>p</mi></msub><mfenced><mi>t</mi></mfenced><mo>&#xA0;</mo><mo>=</mo><mo>&#xA0;</mo><mfrac><mstyle displaystyle=\"true\"><mfrac><msub><mi>F</mi><mn>0</mn></msub><mi>k</mi></mfrac></mstyle><mrow><mn>1</mn><mo>&#xA0;</mo><mo>-</mo><mo>&#xA0;</mo><msup><mfenced><mstyle displaystyle=\"true\"><mfrac><msub><mi>w</mi><mn>0</mn></msub><mi>w</mi></mfrac></mstyle></mfenced><mn>2</mn></msup></mrow></mfrac><mo>&#xB7;</mo><mi>sin</mi><mfenced><mrow><msub><mi>w</mi><mn>0</mn></msub><mo>&#xB7;</mo><mi>t</mi></mrow></mfenced><mspace linebreak=\"newline\"/><mi>&#x41F;</mi><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x434;</mi><mi>&#x441;</mi><mi>&#x442;</mi><mi>&#x430;</mi><mi>&#x432;</mi><mi>&#x438;</mi><mi>&#x432;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x447;</mi><mi>&#x430;</mi><mi>&#x441;</mi><mi>&#x442;</mi><mi>&#x43D;</mi><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x435;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x440;</mi><mi>&#x435;</mi><mi>&#x448;</mi><mi>&#x435;</mi><mi>&#x43D;</mi><mi>&#x438;</mi><mi>&#x435;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x438;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x440;</mi><mi>&#x435;</mi><mi>&#x448;</mi><mi>&#x435;</mi><mi>&#x43D;</mi><mi>&#x438;</mi><mi>&#x435;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x434;</mi><mi>&#x43D;</mi><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x440;</mi><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x434;</mi><mi>&#x43D;</mi><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x433;</mi><mi>&#x43E;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x443;</mi><mi>&#x440;</mi><mi>&#x430;</mi><mi>&#x432;</mi><mi>&#x43D;</mi><mi>&#x435;</mi><mi>&#x43D;</mi><mi>&#x438;</mi><mi>&#x44F;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x432;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x431;</mi><mi>&#x449;</mi><mi>&#x435;</mi><mi>&#x435;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x440;</mi><mi>&#x435;</mi><mi>&#x448;</mi><mi>&#x435;</mi><mi>&#x43D;</mi><mi>&#x438;</mi><mi>&#x435;</mi><mo>,</mo><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x43F;</mi><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x43B;</mi><mi>&#x443;</mi><mi>&#x447;</mi><mi>&#x438;</mi><mi>&#x43C;</mi><mspace linebreak=\"newline\"/><mi>x</mi><mfenced><mi>t</mi></mfenced><mo>&#xA0;</mo><mo>=</mo><mo>&#xA0;</mo><mi>A</mi><mo>&#xB7;</mo><mi>sin</mi><mfenced><mrow><mi>w</mi><mo>&#xB7;</mo><mi>t</mi><mo>+</mo><msub><mi>&#x3D5;</mi><mn>0</mn></msub></mrow></mfenced><mo>+</mo><mfrac><mstyle displaystyle=\"true\"><mfrac><msub><mi>F</mi><mn>0</mn></msub><mi>k</mi></mfrac></mstyle><mrow><mn>1</mn><mo>-</mo><msup><mfenced><mstyle displaystyle=\"true\"><mfrac><msub><mi>w</mi><mn>0</mn></msub><mi>w</mi></mfrac></mstyle></mfenced><mn>2</mn></msup></mrow></mfrac><mi>sin</mi><mfenced><mrow><msub><mi>w</mi><mn>0</mn></msub><mo>&#xB7;</mo><mi>t</mi></mrow></mfenced><mo>&#xA0;</mo><mfenced><mn>3</mn></mfenced><mspace linebreak=\"newline\"/><mi>&#x422;</mi><mi>&#x430;</mi><mi>&#x43A;</mi><mi>&#x436;</mi><mi>&#x435;</mi><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x443;</mi><mi>&#x447;</mi><mi>&#x438;</mi><mi>&#x442;</mi><mi>&#x44B;</mi><mi>&#x432;</mi><mi>&#x430;</mi><mi>&#x44F;</mi><mspace linebreak=\"newline\"/><mi>A</mi><mo>&#xA0;</mo><mo>=</mo><mo>&#xA0;</mo><msqrt><msup><msub><mi>x</mi><mn>0</mn></msub><mn>2</mn></msup><mo>+</mo><mfrac><msup><msub><mi>v</mi><mn>0</mn></msub><mn>2</mn></msup><msup><mi>w</mi><mn>2</mn></msup></mfrac></msqrt><mo>&#xA0;</mo><mfenced><mn>4</mn></mfenced><mspace linebreak=\"newline\"/><mi>&#x3D5;</mi><mo>&#xA0;</mo><mo>=</mo><mo>&#xA0;</mo><msup><mi>tan</mi><mrow><mo>-</mo><mn>1</mn></mrow></msup><mfenced><mfrac><mrow><msub><mi>x</mi><mn>0</mn></msub><mo>&#xB7;</mo><mi>w</mi></mrow><msub><mi>v</mi><mn>0</mn></msub></mfrac></mfenced><mo>&#xA0;</mo><mfenced><mn>5</mn></mfenced><mspace linebreak=\"newline\"/><mi>w</mi><mo>&#xA0;</mo><mo>=</mo><mo>&#xA0;</mo><msqrt><mfrac><mi>k</mi><mi>m</mi></mfrac></msqrt><mo>&#xA0;</mo><mfenced><mn>6</mn></mfenced><mspace linebreak=\"newline\"/><mi>&#x41F;</mi><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x434;</mi><mi>&#x441;</mi><mi>&#x442;</mi><mi>&#x430;</mi><mi>&#x432;</mi><mi>&#x438;</mi><mi>&#x432;</mi><mo>&#xA0;</mo><mfenced><mn>4</mn></mfenced><mo>,</mo><mfenced><mn>5</mn></mfenced><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x438;</mi><mo>&#xA0;</mo><mfenced><mn>6</mn></mfenced><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x432;</mi><mo>&#xA0;</mo><mfenced><mn>3</mn></mfenced><mo>,</mo><mo>&#xA0;</mo><mi>&#x43F;</mi><mi>&#x43E;</mi><mi>&#x43B;</mi><mi>&#x443;</mi><mi>&#x447;</mi><mi>&#x438;</mi><mi>&#x43C;</mi><mspace linebreak=\"newline\"/><mi>x</mi><mfenced><mi>t</mi></mfenced><mo>&#xA0;</mo><mo>=</mo><mo>&#xA0;</mo><msqrt><msup><msub><mi>x</mi><mn>0</mn></msub><mn>2</mn></msup><mo>+</mo><mfrac><msup><msub><mi>v</mi><mn>0</mn></msub><mn>2</mn></msup><msup><mi>w</mi><mn>2</mn></msup></mfrac></msqrt><mo>&#xB7;</mo><mi>sin</mi><mfenced><mrow><msqrt><mfrac><mi>k</mi><mi>m</mi></mfrac></msqrt><mo>&#xB7;</mo><mi>t</mi><mo>+</mo><msup><mi>tan</mi><mrow><mo>-</mo><mn>1</mn></mrow></msup><mfenced><mfrac><mrow><msub><mi>x</mi><mn>0</mn></msub><mo>&#xB7;</mo><mi>w</mi></mrow><msub><mi>v</mi><mn>0</mn></msub></mfrac></mfenced></mrow></mfenced><mo>&#xA0;</mo><mo>+</mo><mo>&#xA0;</mo><mfrac><mstyle displaystyle=\"true\"><mfrac><msub><mi>F</mi><mn>0</mn></msub><mi>k</mi></mfrac></mstyle><mrow><mn>1</mn><mo>-</mo><msup><mfenced><mstyle displaystyle=\"true\"><mfrac><msub><mi>w</mi><mn>0</mn></msub><mi>w</mi></mfrac></mstyle></mfenced><mn>2</mn></msup></mrow></mfrac><mo>&#xB7;</mo><mi>sin</mi><mfenced><mrow><msub><mi>w</mi><mn>0</mn></msub><mo>&#xB7;</mo><mi>t</mi></mrow></mfenced><mspace linebreak=\"newline\"/><mspace linebreak=\"newline\"/><mspace linebreak=\"newline\"/><mspace linebreak=\"newline\"/><mspace linebreak=\"newline\"/><mspace linebreak=\"newline\"/><mspace linebreak=\"newline\"/><mspace linebreak=\"newline\"/><mspace linebreak=\"newline\"/></math>","origin":"MathType Legacy","version":"v3.17.1"}

Полученное уравнение движения является аналитическим решением уравнения колебаний материальной точки.

**ГЛАВА 2**

**ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ НЕЙРОННОЙ СЕТИ**