

УДК 519.6

## ГЕНЕРАТИВНЫЙ ДИЗАЙН ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЁРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Стародубцев Н.О. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – к.т.н., доцент Никитин Н.О.  
(Университет ИТМО)

**Аннотация.** В данной работе предложен метод решения задачи генеративного дизайна волнозащитных сооружений, основанный на многокритериальной эволюционной суррогатной оптимизации. Предложенный подход был протестирован на синтетической акватории. Результаты экспериментов показали, что разработанный метод позволяет получать более эффективные решения, чем стандартные подходы.

**Введение.** Задача нахождения оптимальной конфигурации волнозащитных сооружений является актуальной темой для исследований. Правильная конфигурация способна обеспечить эффективную защиту морского порта от сильных штормов. Стандартным подходом для решения данной задачи является привлечение инженера-проектировщика. При таком подходе человеку необходимо принять во внимание целый ряд факторов: стоимость постройки, эффективность конструкции, временные затраты на проектировку и производство. Подобный подход не является оптимальным, вследствие своей высокой времязатратности. Для повышения эффективности исследователи переходят к математической постановке задачи. Решается многокритериальная оптимизационная задача. В качестве критериев рассматриваются: цена сооружения и высота морских волн в значимых для защиты точках. Значения высот морских волн вычисляются с помощью численного моделирования. Необходимость численного моделирования вызывает ряд трудностей: 1) невозможность применения градиентных методов; 2) высокая времязатратность получения значений целевой функции. Для решения первой проблемы используются эволюционные алгоритмы. Решить вторую проблему помогают суррогатные модели, основная суть которых заключается в восстановлении исследуемой зависимости с минимальными временными затратами. Сочетание суррогатных моделей с эволюционными алгоритмами часто называют суррогатными эволюционными алгоритмами.

**Основная часть.** Для нахождения оптимальной конфигурации волнозащитных сооружений разработан многокритериальный суррогатный эволюционный подход. Одной из основных трудностей данной задачи является изменяющаяся размерность входных данных, что является следствием необходимости рассмотрения переменного числа волнозащитных сооружений и их сегментов. Для учёта данной особенности была рассмотрена параметризация в виде трехмерного тензора, то есть решения представлялись в виде изображений. Такой подход существенно ограничивает класс суррогатных моделей, но, с другой стороны, позволяет применять очень сильный инструмент в виде свёрточных нейронных сетей. В качестве суррогатной модели использовалась глубокая свёрточная нейронная сеть, основанная на архитектуре кодировщик-декодировщик. Основная особенность модели заключается в наличии двух выходов. Первый ответственен за восстановления поля морских волн во всей акватории. Причём поле представляется с помощью интенсивности пикселей. Второй выход модели реализует линейное преобразование интенсивности пикселей в высоты морских волн. Такое преобразование

осуществляется только для значимых для защиты точек. Данная модель имеет возможность обучаться на данных, полученных в процессе оптимизации, что является важным фактором при решении задач генеративного дизайна, в которых нет заранее подготовленных решений. Кроме суррогатной модели был разработан суррогат-помощник. Его задачей являлось предсказание уверенности суррогата. В случае низкой уверенности, решение пересчитывалось с помощью методов численного моделирования. Такой подход позволяет избежать высоких ошибок в аппроксимации целевой функции. Модель суррогат-помощник также реализована с помощью свёрточной нейронной сети и решала задачу бинарной классификации. Предложенные подходы, вместе с эволюционными алгоритмами, образуют общий метод решения задачи генеративного дизайна гидротехнических сооружений. Для верификации метода была рассмотрена синтетическая акватория, в которой необходимо было защитить две значимые области.

**Выводы.** В результате проведенных исследований был разработан и протестирован метод генеративного дизайна гидротехнических сооружений. Данный подход основан на применении многокритериальных эволюционных алгоритмов при поддержке суррогатных моделей. Для проверки эффективности метода рассматривался генеративный дизайн волнозащитных сооружений в синтетической акватории. Результаты экспериментов показали, что предложенный подход позволяет получать более эффективные решения, по сравнению со стандартными подходами. В плане стоимости конфигурации удалось добиться выигрыша в 42 процента, а в плане защитных свойств - в 17 процентов.