



System Lab

Лаборатория системного анализа

**КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО  
ВНЕДРЕНИЮ ТЕХНОЛОГИЙ DATA SCIENCE И  
МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ  
СООРУЖЕНИЕМ АЭС**

Редакция 0  
(предварительно)

Дмитришин Юрий Михайлович  
dmitrishin@system-lab.ru

Январь 2018 г

Санкт-Петербург  
2018

## ОПЫТ ВВЭР-1000

Похожие по смыслу работы уже выполнялись в период с 1980 по 1990 г. на менее развитом техническом уровне. Вот приблизительная хронология работ проводимых под руководством Министерства энергетики и электрификации СССР:

Год	Работы и мероприятия	Наличие данных
1980	Всесоюзная конференция «Совершенствование технологии сооружения и сокращение трудозатрат при сооружении АЭС» перед запуском серийного проекта ВВЭР-1000. Принято решение о мероприятиях по сбору данных о строительстве новых энергоблоков.	Данных об опыте сооружения ВВЭР-1000 практически нет (есть некоторые данные только по 5 блоку НВ АЭС и РБМК).
1981	Данные со строительных площадок по трудозатратам начинает собирать организация «Энергостройтруд». Данные с площадок по технико-экономическим характеристикам производства собирают «Атомэнергострой-проект» и «Оргэнергострой».	Начинает формироваться база фактических трудозатрат при сооружении АЭС ВВЭР-1000.
1986	Данные обобщаются, статистически обрабатываются, классифицируются. Применяются методы описательной статистики. Данные о строительстве публикуются в сборниках норм, фактических затрат, ОТП и специальных отчетах для ИТР по опыту сооружения АЭС (Информэнерго).	Формируется информационная база обработанных данных, которая служит основой для нормирования. Опыт строительства анализируется.
1987–1988	Выполняются экспериментальные математические модели оптимизации по многим критериям. Выполняется построение регрессионных прогностических моделей.	Данные, которые получены на моделях оптимизации. Оптимизированы параметры производства.



## ДАННЫЕ

Даже если предположить, что данные об опыте строительства отсутствуют во все, то с учетом текущих и перспективных проектов, самое время начать их сбор и обработку. Сбор текущих данных о производстве полезен для ГК «Росатом», поскольку позволит получать из прошлого опыта дополнительные знания и на их основе совершенствовать процессы.

«Портфель зарубежных проектов включает 33 блока, 8 блоков сооружается в России». При каждом вводе отдельного энергоблока в эксплуатацию, общее количество наблюдений будет приближаться к «большой выборке». Опыт поточного сооружения ВВЭР-1000 показывает, что с момента принятия решения о сборе данных до построения на их основе оптимизационных моделей прошло 5–7 лет. За это время данные собрали, структурировали и обработали методами статистики. Причем сделано это с учетом технических средств 1980-х годов.

Однако приближение к 30 наблюдениям для сооружения АЭС, достаточно обобщенный показатель. Для ряда характеристик проектов АЭС большие и статистически значимые выборки могут быть взяты в пределах одного энергоблока.

Так монтаж корпуса реактора, выполняется один раз для каждого энергоблока, а монтаж армоблоков строительных конструкций выполняется много раз. Так для одного блока, можно зафиксировать 1500–2500 наблюдений для конструкций разных марок (с разбивкой по маркам, это десятки наблюдений по каждой марке). Соответственно, для 30 блоков эта цифра возрастает до 45 000–75 000 наблюдений.

Отдельные данные могут быть собраны с использованием датчиков в количестве исчисляемом десятками тысяч наблюдений. Таким образом, говоря о приближении к 30 наблюдениям для перспективных проектов, имеются ввиду обобщенные и уникальные наблюдения. По мере детализации наблюдений производственного процесса, обнаружим повторяющиеся и во многом типовые процессы («не уникальные работы»).

## ДАННЫЕ ОБ ОПЫТЕ ВВЭР-1000

Как упоминалось ранее, даже если не учитывать опыт сооружения АЭС в СССР, существует определенная перспектива для сбора данных с текущих и будущих объектов. Однако, мы исходим из предположения о том, что лучше использовать все доступные исторические данные, чем не использовать их вовсе.

Опыт СССР по поточному строительству энергоблоков ВВЭР-1000 считается показательным. Рекорд по скорости сооружения первых энергоблоков Запорожской АЭС принят к сведению при разработке технического задания на проектирование проекта ВВЭР-ТОИ. Именно для Запорожской АЭС имеется релевантный опыт сооружения в сроки 48 месяцев. Существует обоснованная аргументация: наиболее короткие сроки сооружения АЭС ВВЭР-1000 связаны с менее жесткими требованиями к проекту. Даже если это так, то вполне разумно выполнить статистический анализ и выявить соответствующие закономерности и корреляции.

Другое большое направление для использования опыта поточного сооружения ВВЭР-1000, это оптимизационные модели и модели сравнения альтернатив по многим критериям. Например, при сооружении Запорожской и Балаковской АЭС, а также АЭС Козлодуй впервые применялись принципиально различные схемы механизации по использованию ведущей машины комплекта машин. В рамках проекта поточного строительства ВВЭР-1000, на Запорожской АЭС применялся двухбашенный кран Kroll K-10000, на Балаковской АЭС козловой кран K2x100(190), а на АЭС Козлодуй гусеничный кран Demag CC4000RL. Схожие решения в дальнейшем применялись и на других строительных объектах. То есть существует определенная история использования различных решений.

Такие данные могут быть использованы как опорные. Организационно-технологические решения разрабатываются с учетом ведущей машины принятого комплекта машин. Учитывая опыт сооружения АЭС ВВЭР-1000, можно опираться на прошлые показатели, в качестве сравнительных данных при анализе.

Можно также проводить анализ отдельных показателей, сравнивая их с прошлыми. Например, насколько сократились трудозатраты в заданных условиях и.т.д.

Это лишь некоторые примеры, где опыт сооружения ВВЭР-1000 будет актуален.

## PERT МОДЕЛЬ

За основу взята модель PERT (Program Evaluation and Review Technique). Для того, чтобы такая модель начала работать и обладать прогностическими свойствами, достаточно всего 3-х оценок по каждой работе. Минимальной, максимальной и ожидаемой. Если данные оценки подобраны правильно, модель PERT начинает работать как прогнозная модель.

Прогнозный вывод PERT модели формулируется следующим образом:

- Вероятность того, что весь комплекс работ будет выполнен не более чем за  $X$  дней равна  $Y\%$
- Максимальный срок выполнения комплекса работ при заданном уровне вероятности 95% составит  $Y$  дней.

Тем не менее, мы не замыкаемся только на базовой модели PERT но и развиваем предложение. Наполнения данных выполняется так:

- Сначала достаточно 3-х оценок для каждой работы.
- Затем количество данных пополняется до 30 оценок и более для каждой работы в сети по мере сооружения новых энергоблоков. Важно, что это относится к уникальным работам. Если работы не уникальны, то достаточное количество наблюдений может быть собрано ранее.

Модель PERT постоянно эволюционирует по мере накопления нового опыта. Причем эволюция модели прямо связана с реализацией проектов АЭС. Чем больше данных учтено, тем точнее прогнозное моделирование.

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ PERT-МЕТОДА

Метод PERT, взят как проверенная временем и опытом основа вероятностного планирования и прогнозирования больших проектов. Однако мы совмещаем этот метод с современными инструментами Data Science и методами математической оптимизации.

Совместное использование с Data Science позволяет решить основные проблемы PERT метода, а именно:

1. Сложно получить адекватную оценку продолжительностей работ (характеристик атрибутов в графе), не всегда доступны эксперты.

Мы предлагаем дополнение мнений экспертов объективными наблюдениями, которые осуществляются на площадке и анализом данных о прошлом опыте сооружения АЭС.

2. Вероятностные оценки продолжительностей работ (и других атрибутов) по своей природе не всегда могут адекватно отображаться бета-распределением, иногда их более уместно описывать другими видами распределений.

Мы принимаем бета-распределение как альтернативу детерминированным оценкам на первоначальном этапе, но в дальнейшем ориентируемся на то, чтобы каждой работе соответствовало нормальное распределение либо то, которое наиболее точно будет отображать характеристики работы. Как было указано выше, модель будет развиваться эволюционно. То есть все собранные данные, будут использоваться для улучшения модели.

3. Вероятность окончания проекта часто отражается не критическим, а подкритическим (околокритическим) путем, особенно если разброс оценок продолжительностей работ (дисперсии) намного выше, чем аналогичные оценки критических работ.

Предполагается многократное изменение реализаций PERT-модели с использованием методов статистических испытаний «монте-карло» и дополнительным изучением свойств модели с использованием Data Science. В предложении указано, что мы ориентируемся как на критический путь, так и на его наиболее вероятные смещения.

## БАЗОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ

Мы объединяем в единую связку все три известных метода вероятностного сетевого планирования (PERT, GERT и метод статистических испытаний) для крупных инвестиционных проектов, которые дополняются технологиями анализа данных.

Базовая концепция сводится к следующим принципам и положениям:

1. Использовать все доступные данные для наполнения вероятностных моделей планирования и оптимизации процессов. Собирать все доступные данные и использовать их для анализа. В зависимости от специфики реализации проекта по сбору данных, используется либо Data Warehouse либо Data Lake.
2. Выполняется построение PERT-модели сооружения АЭС. PERT-модель является структурой для создания прогнозной модели сооружения АЭС. PERT-модель строится на основе принятой в качестве стандарта ИСУП Oracle Primavera.
3. На основе анализа данных, присваивается множество значений дугам графа сетевой PERT-модели, начиная с 3-х оценок для каждой дуги графа и далее увеличивая количество наблюдений для до 30 и более.
4. Методом статистических испытаний («Монте-Карло») производится определение наиболее вероятных путей смещения критического пути (выявляются наиболее вероятные подкритические пути).
5. Для критического пути и наиболее вероятных его смещений строится GERT-модель, для которой определены критические работы в виде цепи и узлы ветвления (альтернативы) при реализации проекта. Каждое ветвление имеет вероятностный характер для каждой из альтернатив.
6. Каждый отдельный узел ветвления на критическом пути — это модель дерева принятия решений. Соответственно, в наиболее характерных узлах критического пути, возможен переход к локальным моделям оценки альтернатив и принятия решений.
7. Отдельные участки критического пути оптимизируются по заданным критериям. Производится локальная оптимизация в заданном участке критического пути.



8. Оптимизация выполняется путем нахождения оптимального (минимального) решения целевой функции для атрибутов этого участка дуги в цепи (сети). Для этого используются математические методы оптимизации по базовым критериям «оптимизация по стоимости... ресурсам... продолжительности» и/или балансировке нескольких критериев «оптимизация по нескольким критериям». Модели оптимизации строятся исходя из специфики работ, которые окажутся на критическом пути. Специфика этих работ будет определена из статистического анализа данных и анализа процессов.
9. Оптимизируя отдельные участки критического пути, общая продолжительность критического пути сокращается. Он «сжимается», что неизбежно ведет к его смещению на подкритический (происходит изменение состава работ, находящегося на критическом пути). Эта операция производится итерационно, для каждого нового критического пути для всех наиболее вероятных критических путей.
10. Оптимизируя наиболее вероятные критические пути (минимизируя продолжительность работ), получаем общий условно оптимальный план с возможностью прогнозных оценок как для всего плана, так и для отдельных его участков.
11. Такой план не будет абсолютно оптимален, но он будет близок к оптимальному. Другими словами, в данном случае мы получаем такой план, который будет стремиться к оптимальному по заданным критериям.
12. К атрибутам модели могут быть применены индивидуальные прогнозные и описательные статистики с использованием различных методов Data Science.
13. Поскольку в ходе оптимизации, мы получим несколько базовых оптимизационных моделей (алгоритмов оптимизации параметров конкретных работ) для работ находящихся на наиболее вероятных критических путях, то к ним может быть обеспечен доступ монтажным организациям.
14. Поскольку в ходе анализа данных, будут обработаны большие объемы данных, к ним может быть обеспечен доступ участников проекта в через web с возможностью самостоятельного выбора разрезов по данным и формирования описательных статистик по запросу пользователя.

**System Lab**

[system-laboratory.ru](http://system-laboratory.ru)