

## **ОПТИМИЗАЦИОННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В СРЕДЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ GPSS STUDIO**

**Ю.И. Бабий (Москва), В.В. Девятков, Т.В. Девятков, М.В. Федотов (Казань)**

Многие современные системы настолько сложны, что они не могут быть описаны и решены классическими аналитическими методами. Это связано с размерностью (масштабом) системы, большим количеством связей (в том числе и обратных), вероятностным характером большинства параметров и рядом других причин. Имитационное моделирование (далее ИМ) в этом случае является единственным практическим инструментом исследования таких систем, который позволяет аналитику количественно оценить множество вариантов построения системы и найти среди них вариант, который достигает существенно лучших показателей функционирования системы.

Но как понять, является ли найденное решение самым оптимальным решением или просто улучшает систему? До недавнего времени ответ на этот вопрос при использовании большинства инструментов ИМ был не возможен, а качество решения зависело от навыков, знаний и искусства исследователя.

Особенно сложно было исследовать систему, в которой необходимо было улучшить сразу несколько параметров. По сути, необходимо было решить задачу многопараметрической оптимизации. Когда множество анализируемых показателей системы  $Y=\{Y_i\}$  является функцией  $F(X)=\{F_1(X), F_2(X), \dots, F_n(X)\}$ , где  $X$  это множество факторов влияющих на систему и необходимо найти *mini* или *max* функции  $F(X)$  при изменении значений факторов в определенных границах и выполнении ряда ограничений по значению некоторых параметров и показателей системы.

Требовалось включение в инструменты ИМ эффективных модулей многокритериальной оптимизации. Это было понятно очень давно, с момента начала практического использования моделей. Но работающих быстро и эффективно программных средств многопараметрической оптимизации долгое время не появлялось. Это было связано с невозможностью компьютерной реализации новых методов математического моделирования и оптимизации для решения задач большой размерности из-за недостаточной вычислительной мощности и несовершенства информационных технологий.

Поэтому, были только отдельные попытки и не очень удачные решения встроить оптимизацию в процесс имитационного исследования. Но в последние десять лет стали появляться мощные и хорошо работающие оптимизаторы, созданные профессиональными компаниями. Наиболее известной разработкой последнего десятилетия стало создание компанией OptTek Systems Inc. (США) инструмента оптимизации OptQuest [1], предназначенного для использования в языках и системах ИМ. Практически все наиболее известные системы ИМ используют этот продукт, например, AnyLogic, Arena, Dassaultsystems, FlexSim, ProModel, Simio, Simul8.

Разработчики среды моделирования GPSS Studio [2] решили свой выбор оптимизатора остановить на российской разработке - IOSO компании Сигма-Технологии [3].

### **Интеграция технологии оптимизации IOSO с GPSS STUDIO**

Используемая технология оптимизации IOSO представляет собой высокоэффективный инструментальный решатель многопараметрических многокритериальных задач с процедурами самоорганизации, что не требует от пользователей специальных знаний в области теории и методах оптимизации. Технология нелинейной многомерной оптимизации IOSO (Indirect Optimization on the base of Self-Organization) появилась в начале 2000 годов [4]. Стратегия решения задач оптимизации в рамках данной технологии принципиально отличается от известных подходов нелинейного программирования и обладает более высокой эффективностью и обеспечивает существенно более широкие возможности. Алгоритмы IOSO базируются на новой эволюционной технологии построения поверхности отклика.

Другой отличительной особенностью используемой технологии оптимизации IOSO является возможность эффективного решения задач большой размерности (до сотни переменных и ограничений) при небольшом количестве прямых обращений к расчетным моделям. Известно, что

### **Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования**

---

с ростом размерности затраты на решение задачи оптимизации увеличиваются экспоненциально. Применяемый метод имеет практически линейную зависимость затрат от размерности задачи. Это связано с особенностями организации процесса поиска экстремума, направленного на минимизацию вычислительных затрат.

При исследовании реального объекта, как правило, топология оптимизируемой функции неизвестна. Однако, именно тип топологии оптимизируемой функции (овражная, многоэкстремальная, гладкая и т.п.) во многом определяет выбор метода оптимизации. Поэтому для решения практических задач важным обстоятельством является универсальность метода оптимизации к топологии оптимизируемой функции. А затраты на изучение этих свойств могут быть соизмеримы с нахождением экстремума. Это весьма важное свойство, поскольку позволяет пользователю не затрачивать дополнительных усилий по изучению топологии оптимизируемой функции при постановке задачи. Практический опыт и проведенные специальные исследования позволяют с уверенностью утверждать, что технология оптимизации IOSO практически инвариантна к топологии оптимизируемой функции.

В соответствии с логикой работы алгоритмов IOSO на каждой итерации осуществляется построение поверхностей отклика критериев оптимизации и ограничиваемых параметров. При построении поверхности отклика используются такие алгоритмы как: адаптивный алгоритм регрессионного анализа, нейросетевой алгоритм, эволюционный алгоритм самоорганизации со структурно параметрической аппроксимацией. Далее осуществляется оптимизация с использованием полученных поверхностей отклика и в полученной точке проводится прямое обращение к математической (имитационной) модели исследуемой системы. В процессе оптимизации осуществляется накопление информации об исследуемой системе в окрестности оптимального решения, что приводит к повышению качества поверхностей отклика.

Программный комплекс IOSO имеет специальные инструменты, позволяющие автоматизировать процесс интеграции со сторонним программным обеспечением, реализующим математическую (имитационную) модель. Взаимодействие программных средств при поиске оптимального решения осуществляется итеративно. Модель дает первоначальные исходные данные (результат прогона модели) для начала поиска оптимального решения. И затем после работы процедур оптимизации модели предлагается выполнить новый прогон и т.д. до получения оптимального решения. Обмен данным в этом случае осуществляется на основе XML файлов. Именно в таком режиме и была осуществлена интеграция среды моделирования GPSS Studio и программного комплекса оптимизации IOSO.

На рис. 1 показан алгоритм обмена данными между средой GPSSSTUDIO и комплексом IOSO.

Также была проведена программная доработка подсистемы планирования экспериментов в GPSS Studio. В целом идеология планирования и проведения экспериментов, реализованная в среде моделирования была хорошо проработана, так как в модели уже задаются факторы и показатели. Поэтому, интеграция с комплексом оптимизации прошла органично и не потребовала коренных изменений.

### Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования

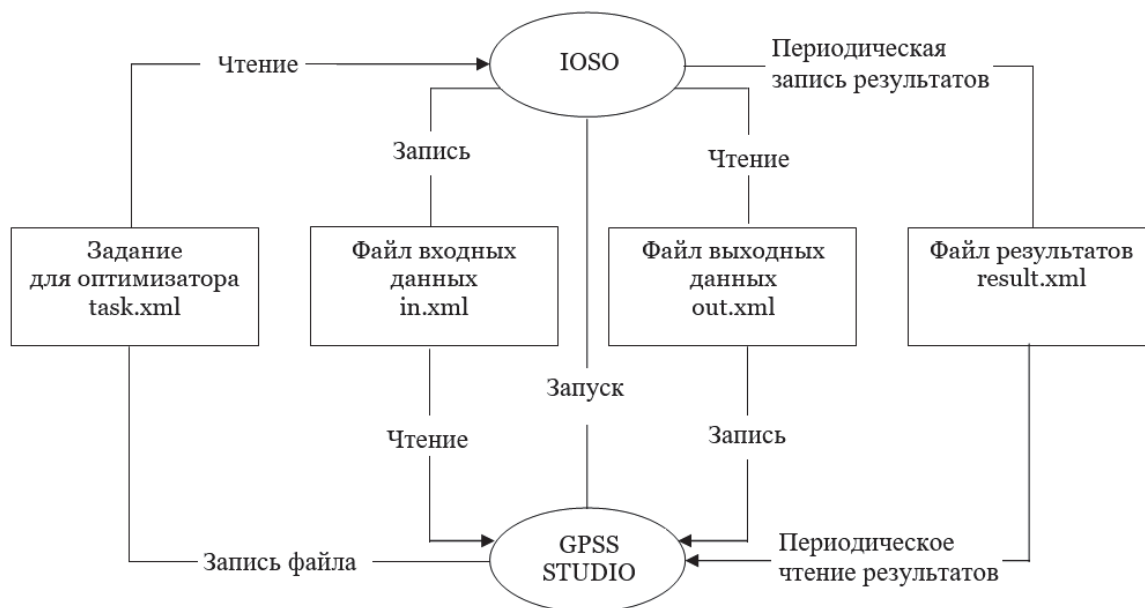


Рис.1 – Алгоритм обмена данными между GPSS STUDIO и IOSO

До сих пор в инструментарии формы планирования экспериментов была возможность выбора пользователем только двух методов проведения экспериментов: одиночный эксперимент и построение плана серии экспериментов (с автоматическим шагом изменения нескольких факторов). Также была возможность выбора необходимых целевых показателей модели (одного или нескольких) и построение таблицы с результатами серии в табличном и графическом виде.

В результате доработки, на форме планирования экспериментов при выборе в меню метода планирования появилась новая опция – оптимизация. Также изменился функционал некоторых вкладок окна планирования эксперимента. Во вкладке «Факторы» при работе в режиме оптимизации был убран шаг изменения, система оптимизации сама автоматически его подбирает. Во вкладке «Целевые показатели» среди выбранных пользователем показателей введено специальное меню для указания – является ли данный показатель критерием для оптимизатора («Минимизировать» либо «Максимизировать») или будет рассматриваться как ограничение («Не оптимизировать»). Также для всех критериев и ограничений необходимо задать границы минимальных и максимальных их изменений, а также их приоритет. Впрочем, в случае отсутствия такой информации некоторые ограничения могут быть опущены. Вкладка «План эксперимента» в этом режиме не используется, так как последовательность и количество проводимых экспериментов в оптимизационной серии складывается из алгоритма работы самого оптимизатора. Именно он определяет исходные данные для каждого эксперимента и определяет момент останова серии. Кроме этого в окне «Планирования экспериментов» появилась новая вкладка – «Параметры метода», которая позволяет задать необходимую точность метода, условия останова оптимизационной серии, количество визуализированных оптимальных значений из множества Парето и др.

При работе с приложением в окне «Моделирование» в режиме оптимизации также появилась новая кнопка – «Провести оптимизацию». После запуска оптимизационного эксперимента в окне «Моделирование» (в нижней части) появляется визуализация хода оптимизационной серии в графическом и табличном виде.

Подготовка и проведение оптимизационного эксперимента

Для проведения оптимизационного эксперимента в среде GPSS STUDIO необходимо перейти в раздел «Планирование эксперимента» редактора форм, выбрать метод планирования эксперимента – оптимизация. Далее необходимо, исходя из смысла системы, задать факторы и целевые показатели. Пример такого задания показан на рис. 2,3.

### Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования

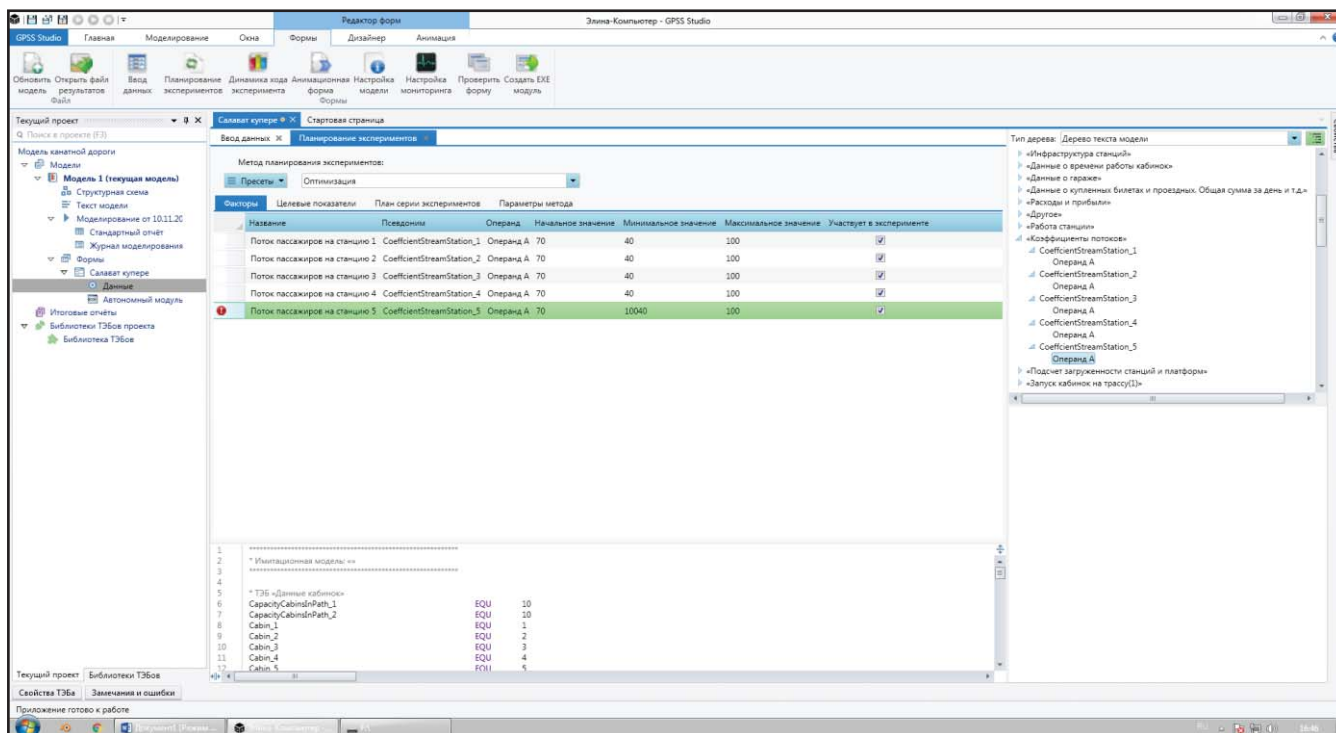


Рис. 2 – Задание факторов в форме планирования экспериментов.

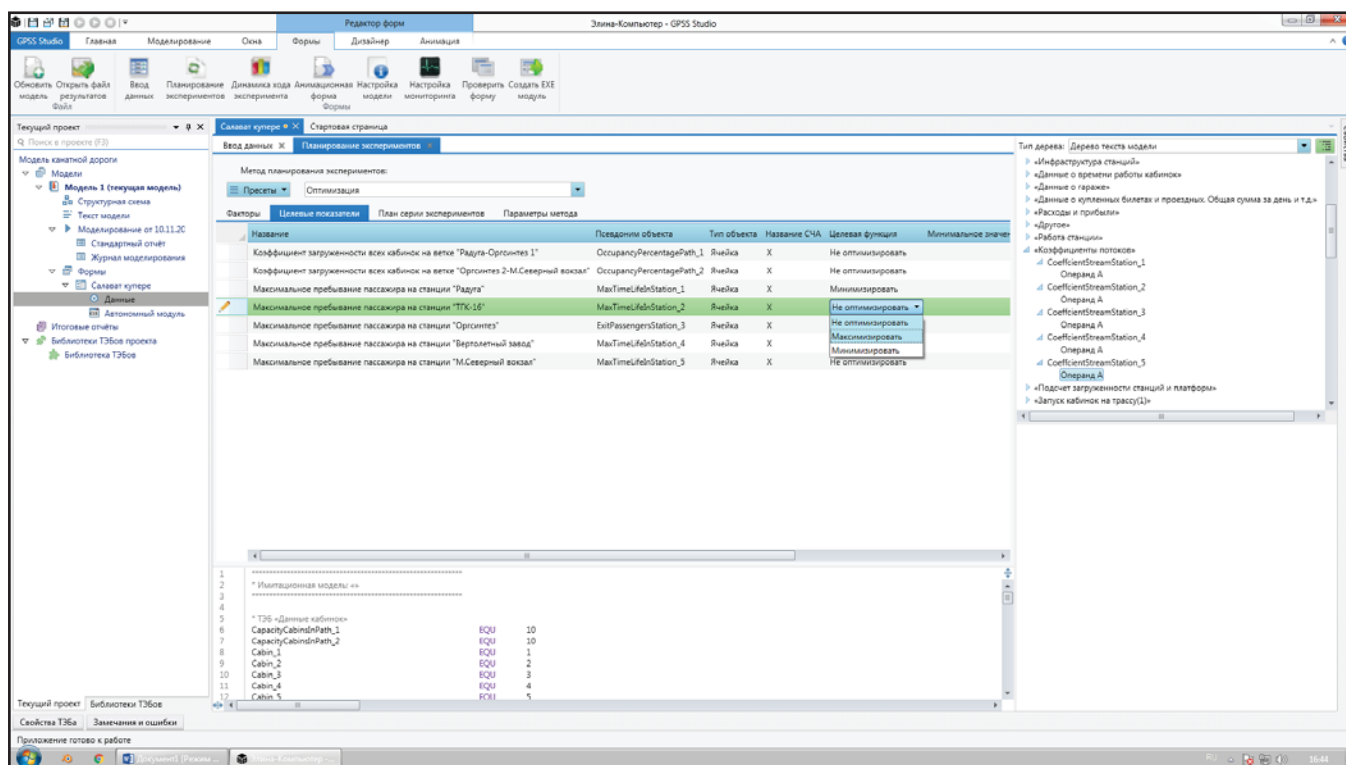


Рис. 3 – Задание целевых показателей в форме планирования экспериментов.

В процессе задания факторов и показателей необходимо также ввести границы их возможных изменений. Эта информация нужна для оптимизатора при планировании последовательности экспериментов. Кроме того среди целевых показателей необходимо указать, что является критерием, а что ограничением. После этого можно считать исходные данные для оптимизации подготовленными и запустить имитационное приложение. После запуска

### Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования

приложения нужно будет осуществить настройку оптимизатора для данной серии экспериментов. Пример настройки показан на рис. 4.

После настройки необходимо выбрать вкладку «Моделирование» и нажать на кнопку «Провести оптимизацию». В результате в окне запуска приложения будут выводиться результаты всех проводимых (по рекомендации оптимизатора) экспериментов в левой части окна в графической форме. А в правой части окна будет выводиться таблица со значениями критериев и ограничений (рис. 5).

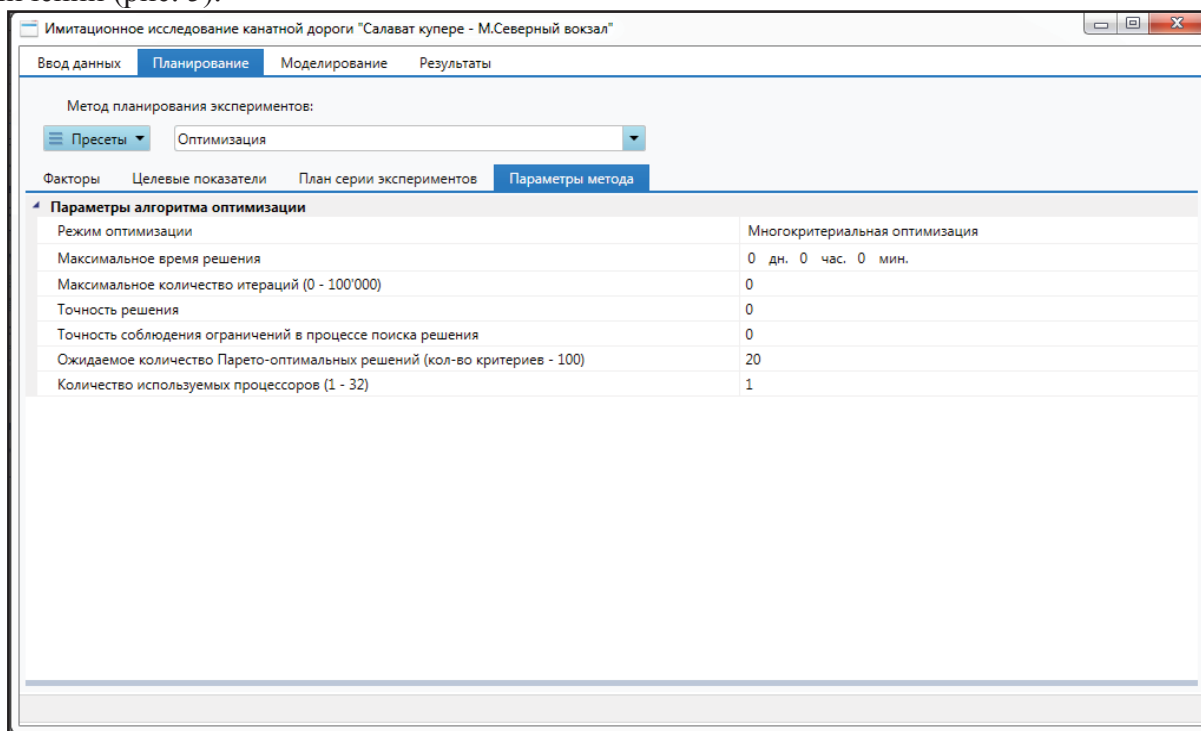


Рис. 4 – Окно настройки параметров оптимизации.

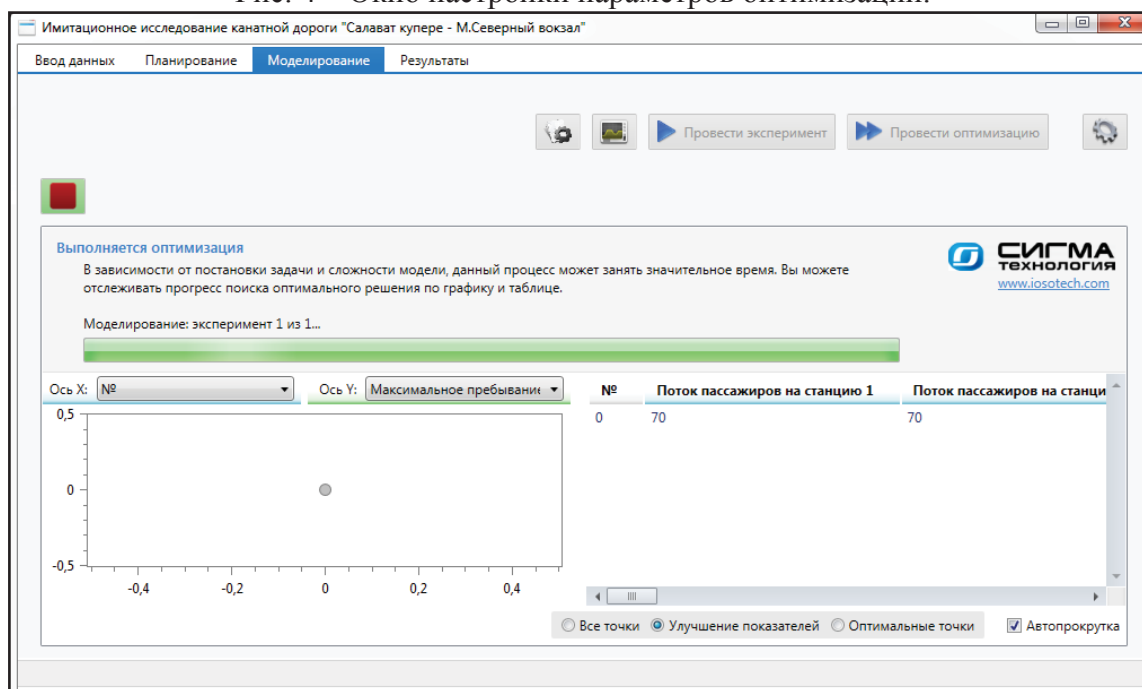


Рис. 5 – Визуализация хода процесса оптимизации.

И после очередного эксперимента, если все ограничения будут выполнены, результат его будет помечен зеленым кружком. Так как может быть установлено несколько критериев, то и оптимальных точек может быть несколько. И данное множество точек (оно называется парето)

### Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования

будет визуализироваться зелеными точками. Причем будет визуализировано только столько лучших точек из этого множества, которое вы указали в настройках.

Необходимо отметить, что оптимальное решение может достигаться очень долго, а в некоторых случаях и вообще не будет найдено. Нужно очень аккуратно и точно задавать все числовые ограничения, понимать всю суть моделируемых процессов и не задавать системе невыполнимых условий. В принципе нужно постепенно подходить к многопараметрической оптимизации. Сначала попробовать на одном критерии и меньшем числе ограничений. Понять, как поведет система и как она будет приближаться к оптимуму. И только затем можно добавлять дополнительные ограничения и критерии. Так постепенно, вникая в суть протекающих процессов и понимая природу моделируемой системы вы обязательно найдете оптимальное решение.

На рис. 6 приведен пример оптимального решения по минимизации операционных затрат для модели НПЗ.

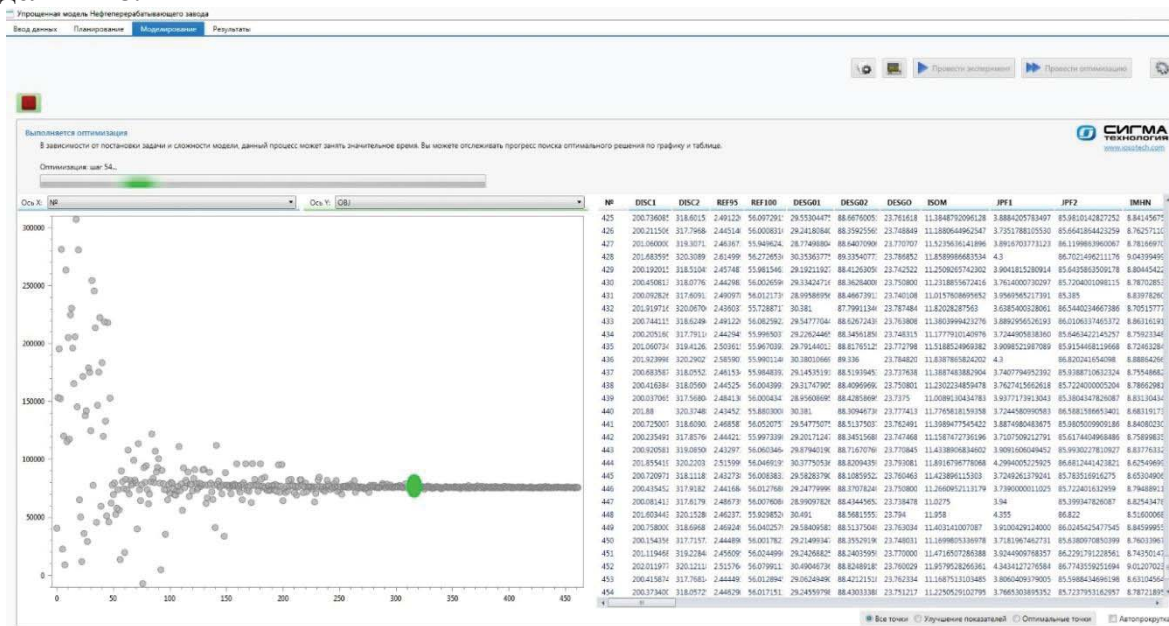


Рис. 6 – Пример оптимального решения.

#### Заключение

Появление подсистемы оптимизации значительно расширило границы применения среды моделирования GPSS Studio. Всегда Заказчик отдаст предпочтение среде, которая имеет такой функционал. В статье описан лишь первый этап развития системы оптимизации в GPSSStudio. Далее планируется широкое использование всех имеющихся возможностей подсистемы оптимизации IOSO (например, по анализу оптимального результата). Также будет проведена работа по использованию функции распараллеливания вычислений, имеющейся в комплексе IOSO. Но уже сейчас можно однозначно констатировать, что подсистема оптимизации работает и ее можно успешно использовать в имитационных исследованиях.

#### Литература

1. Официальный сайт компании OptTek [электронный ресурс] <https://www.opttek.com/products/optquest/> (дата обращения 09.09.2019 г.).
2. GPSS Studio
3. Официальный сайт компании Сигма-Технологии [электронный ресурс] <http://www.iosotech.com/ru/> (дата обращения 09.09.2019 г.).
4. 7. Egorov, I.N. Robust design optimization strategy of IOSO technology / I.N. Egorov, G.V. Kretinin, I.A. Leshchenko // Proc. FifthWorldCongressonComputationalMechanics. Vienna. Austria. 2002. - P. 1–8.