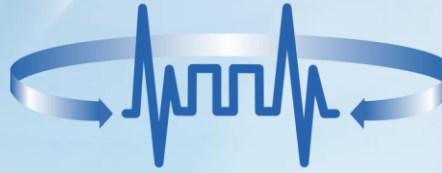


РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК



ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ
имени А.А. Харкевича

DATADVANCE

Автоматизация многодисциплинарных инженерных расчетов с помощью потока работ

Александр А. Прохоров (докладчик)
Алексей М. Назаренко

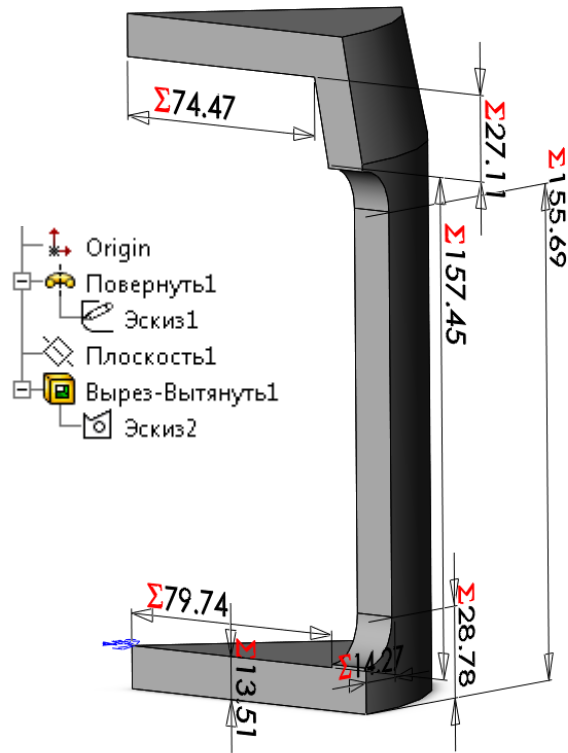
- Процесс разработки инженерных изделий
- Многодисциплинарный анализ и оптимизация
- Модель потока работ для автоматизации инженерных расчетов

Процесс разработки инженерных изделий

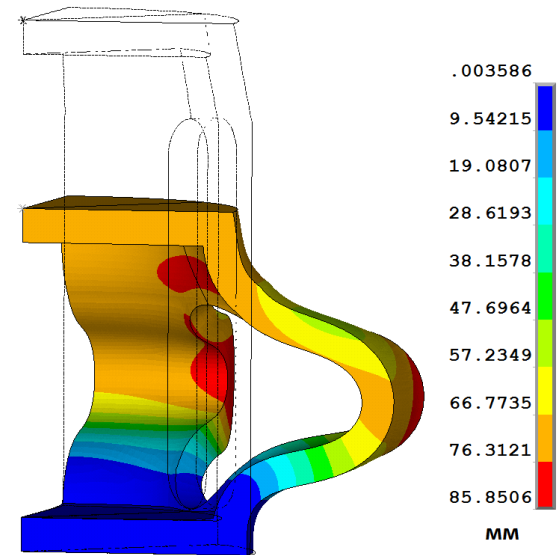
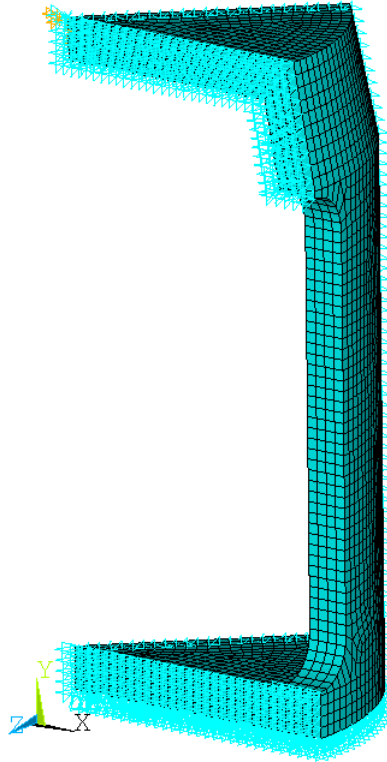


Пример: демпфер

САПР
CAD



CAE-системы



Изменение
геометрии



Изменение сетки



Расчет



Характеристики

Пример: используемое ПО

подготовка
твердотельной
модели

разбиение на
КЭ сетку

решение

обработка
результатов



САПР

Построитель
сетки

Расчет

Постпроцессор

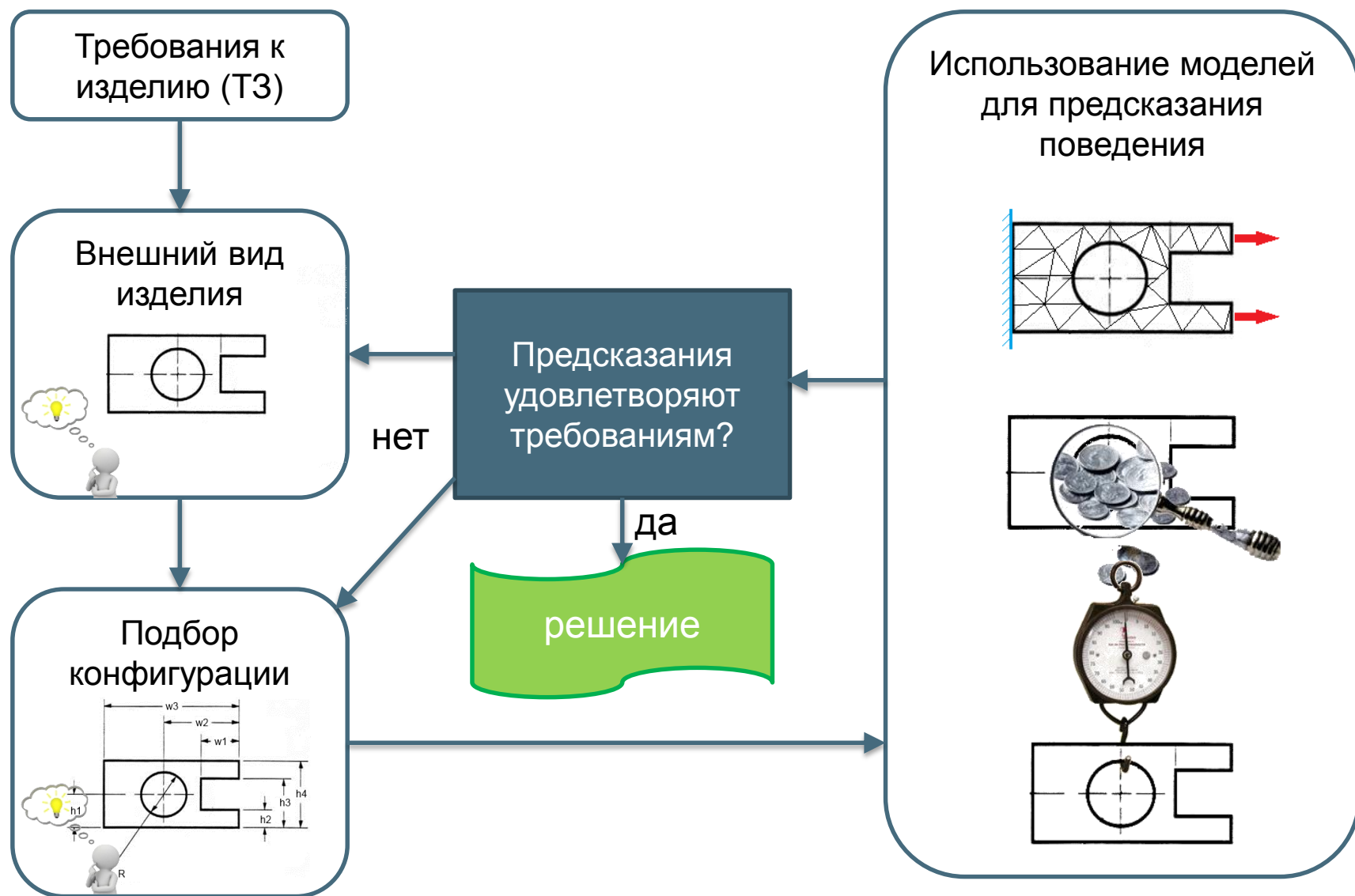

NX
CATIA
creo™

Gambit
ICEM
AutoMesh

Fluent
CFX
Nastran
HFSS
LS_DYNA

CFD-Post
CFView
Mechanical

Схема процесса ручного подбора параметров изделия



Недостатки процесса ручного подбора параметров изделия

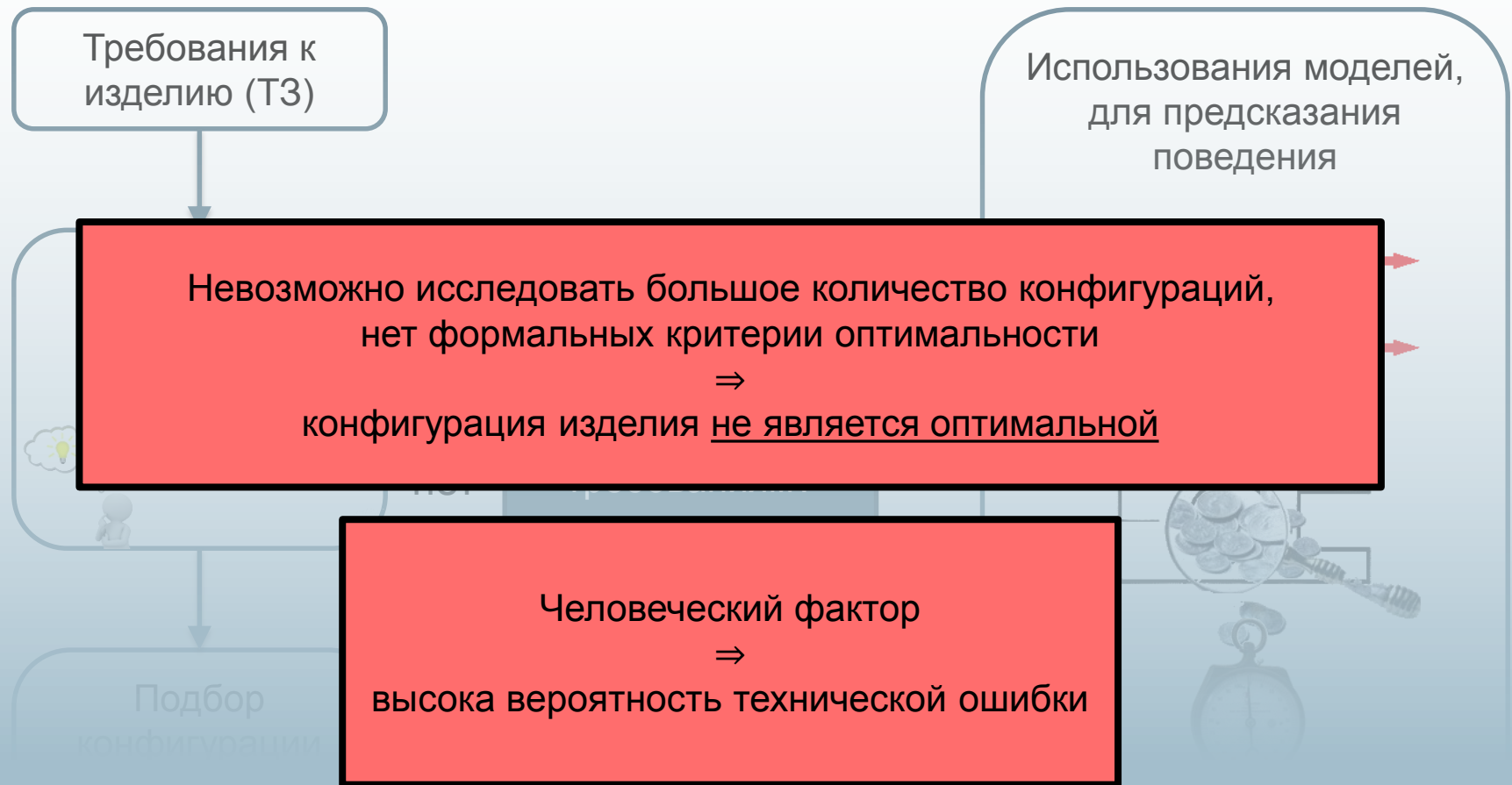
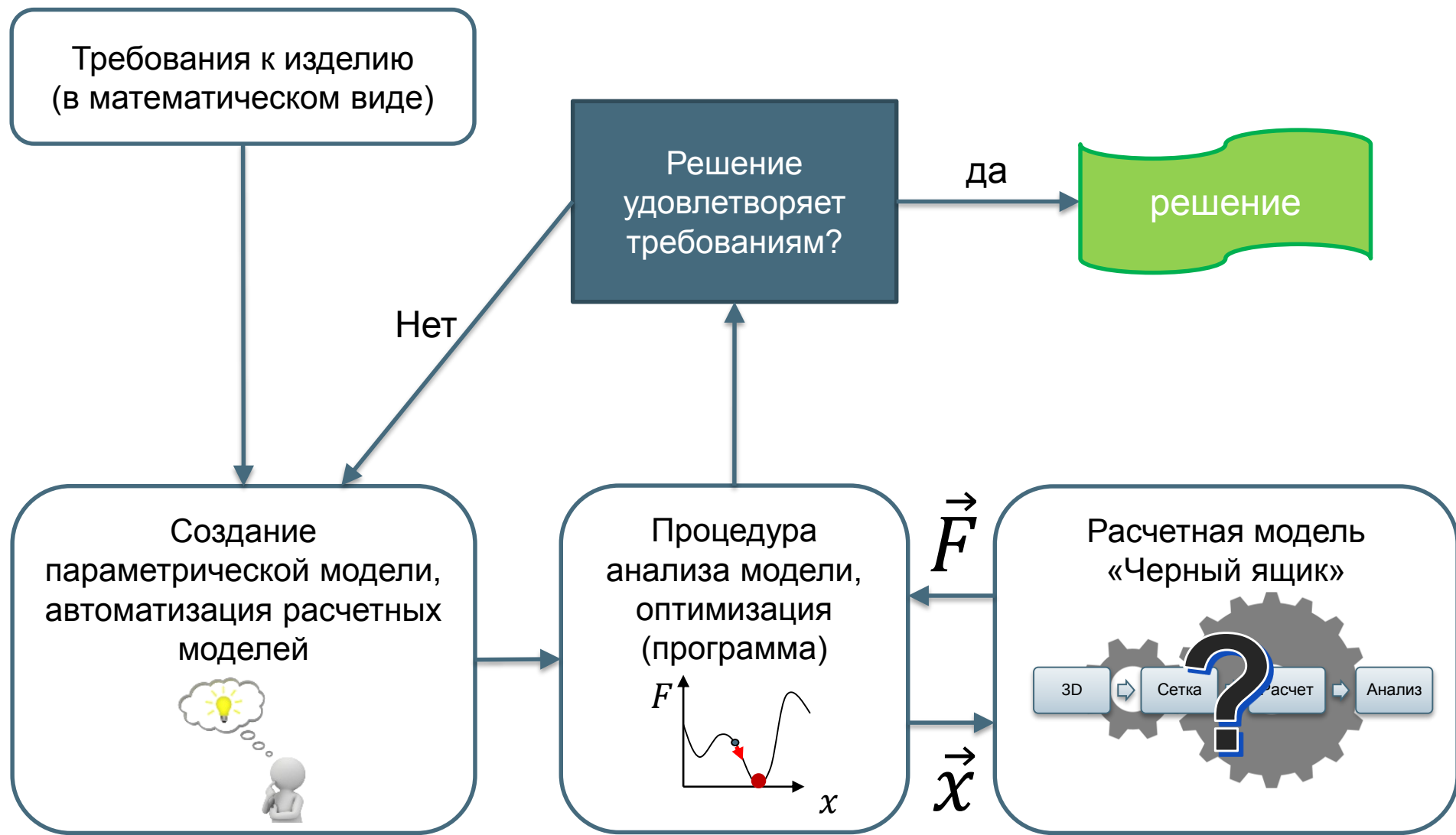


Схема автоматизированной оптимизации изделия



Способы автоматизации расчетов

- Составление программы (Fortran, MATLAB, Python...)
 - Требуются навыки программирования
 - Составление и отладка программ – процесс длительный
 - Трудности эффективного использования вычислительных ресурсов
 - Затруднено повторное использование наработок
 - Гибкость, потенциально высокая эффективность, ...
- Визуальное составление блок-схемы, описывающей поток работ
 - Не требуются специальные навыки (низкий порог вхождения)
 - Быстрое прототипирование процессов
 - Легкость повторного использования схем
 - Потенциально высокие накладные расходы

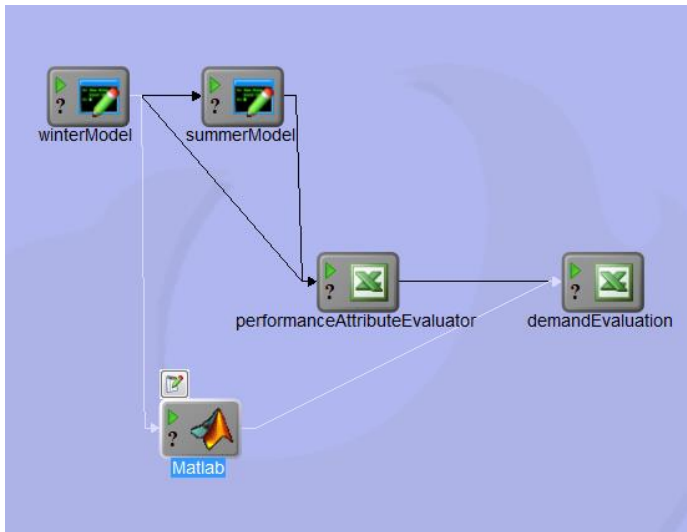
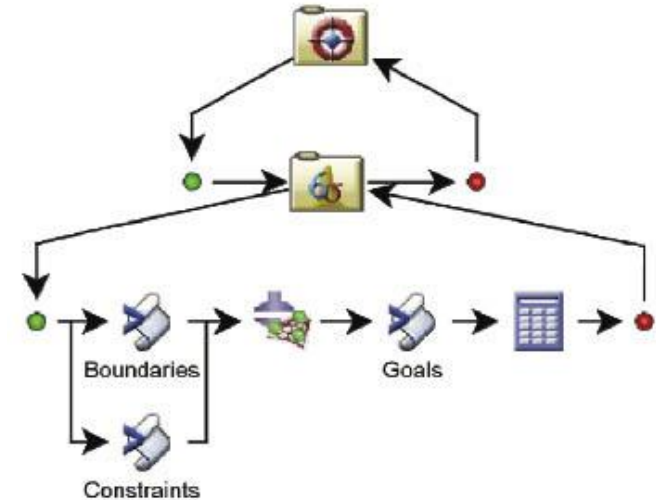
Модели потока работ в автоматизации инженерных расчетов

- Схема потока работ – направленный граф
 - вершины – вычислительные модули
 - ребра
 - обозначают последовательность выполнения вычислительных модулей – модели потока управления (control flow);
 - обозначают каналы передачи данных – модели потока данных (data flow).
- Поток управления (control flow)
 - Нет трудностей интерпретации циклов, схема – направленный граф (в общем случае с циклами)
 - Общая память ⇒ трудности распараллеливания расчетов
- Поток данных (data-flow)
 - Нет общей памяти + заданы явные зависимости по данным ⇒ легкость распараллеливания расчетов
 - Не допускает циклов, схема – ациклический направленный граф

Примеры реализации моделей потока работ

Isight – Dassault Systèmes (Франция)

- Модель потока управления (control flow)
- Нет проблем с циклами
- Общая память
- Ручное распараллеливание
- Модуль оптимизации является частью расчетной цепочки



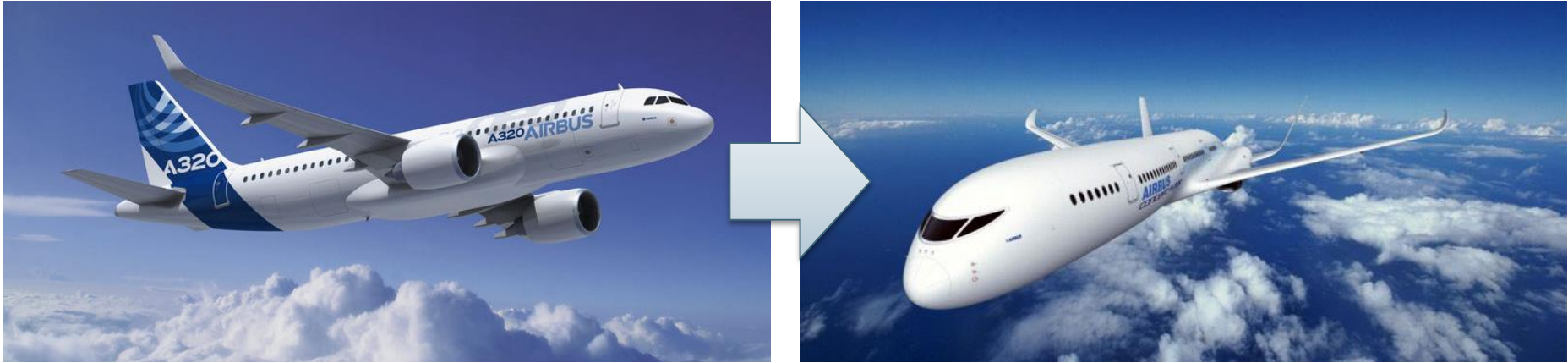
ModelCenter – Phoenix Integration (США)

- Модель потока данных (data flow)
- Отсутствует общая память
- Автоматическое распараллеливание
- Отсутствуют циклы
- Модуль оптимизации не является частью расчетной цепочки

Многодисциплинарный анализ и оптимизация



Многодисциплинарный анализ и оптимизация: зачем?



- Современные инженерные изделия очень сложно улучшить путем проведения оптимизации в рамках отдельных дисциплин
- Требования рынка – снизить стоимость и сроки проектирования
- Многодисциплинарный подход позволяет находить совершенно новые конфигурации изделия

Многодисциплинарный анализ и оптимизация: как?

- Задача многодисциплинарной оптимизации для двух дисциплин

$$a_1 = A_1(x, a_2)$$

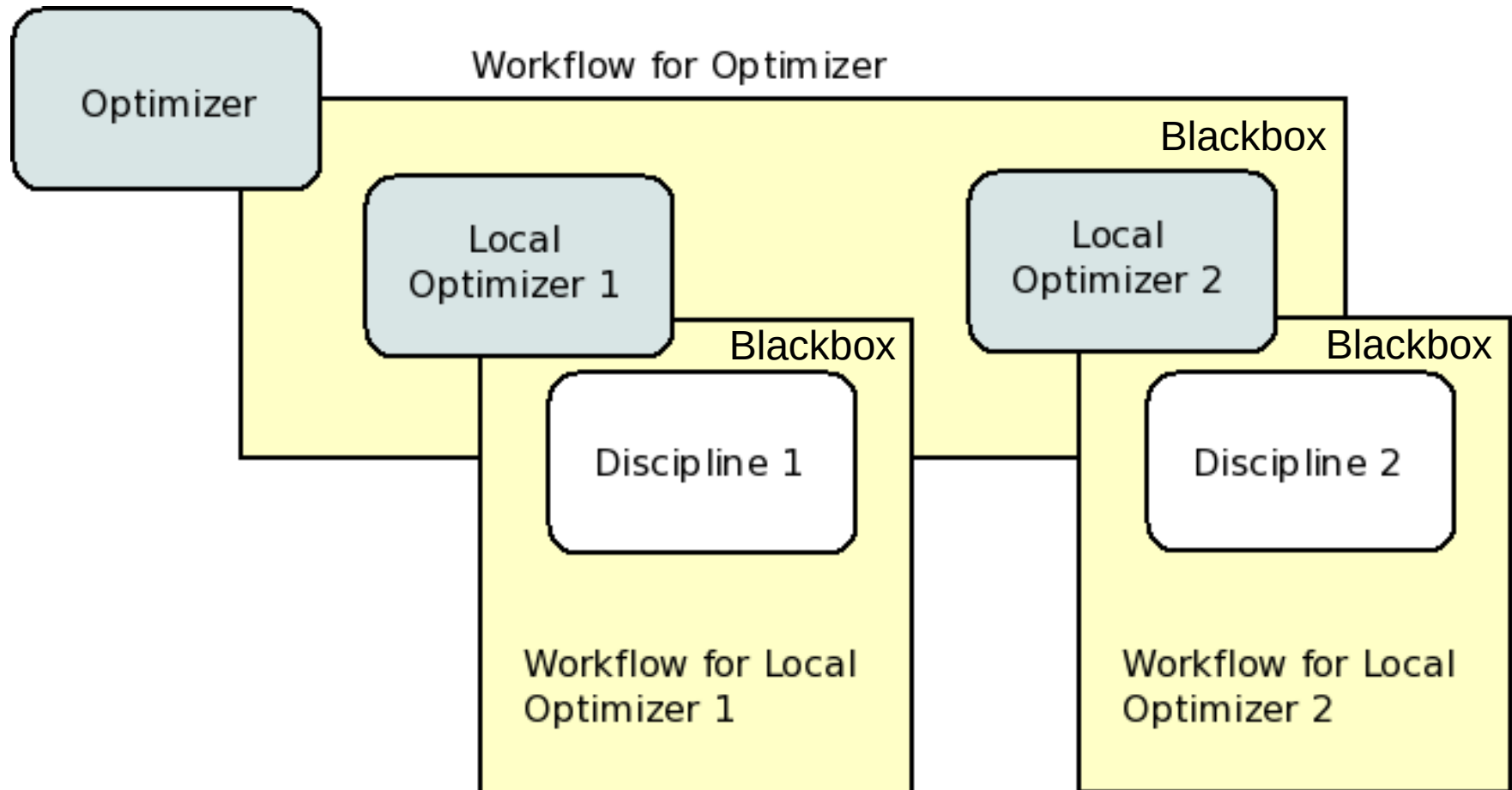
$$a_2 = A_2(x, a_1)$$

$$\min_x f(x, a_1(x), a_2(x))$$

$$g(x, a_1(x), a_2(x)) \leq 0$$

- Методы многодисциплинарной оптимизации
 - Multi-Disciplinary Feasible (MDF) approach
 - Individual Discipline Feasible (IDF) method
 - All-At-Once (AAO) method
 - Bi-Level Integrated System Synthesis (BLISS)
 - Disciplinary Analysis Optimization (DAO) method
 - Collaborative Optimization (CO) method
 - Collaborative Sub-Space Optimization (CSSO) method
 - Disciplinary Interaction Variable Elimination (DIVE) method

Совместная оптимизация (Collaborative Optimization)



Модель потока работ для автоматизации инженерных расчетов



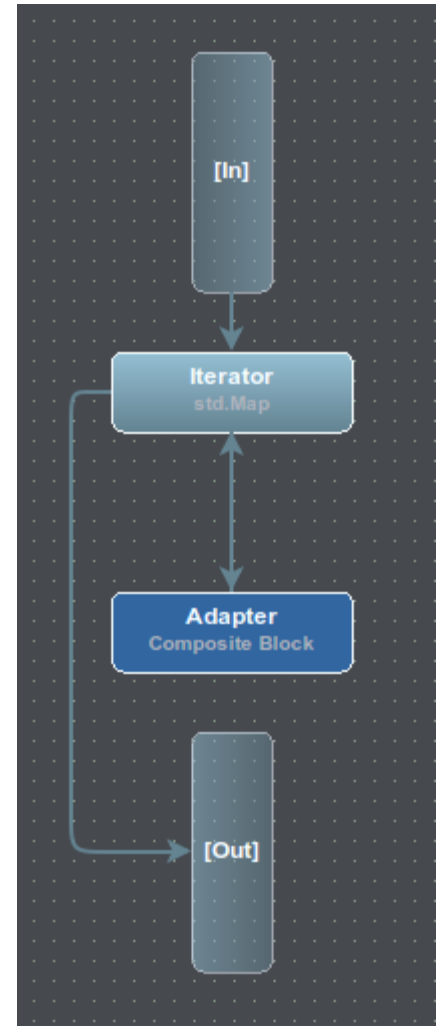
Разработать модель потока работы, с помощью которой можно в максимально простом и интуитивно понятном виде описать процесс многодисциплинарного инженерного анализа и оптимизации

- Интуитивно понятное представление схемы потока работ
- Параллельное выполнения потока работ
- Поддержка вложенных циклов
- Модуль оптимизации должен быть частью расчетной цепочки

- Модель потока данных (data flow)
 - Задавать зависимости по данным для человека – естественно
 - Явно заданные зависимости по данным позволяют выполнять независимые части расчетной схемы параллельно
- Проблемы
 - Алгоритм выполнения схемы потока данных
 1. Найти и запустить вычислительные модули на входе которых есть данные
 2. При завершении работы любого вычислительного модуля вернуться к п.1
 - Как организовать конечный цикл?
 - Проблема «цикл в цикле».

Схема потока работ

- Схема – визуальное представление процесса, она состоит из блоков и связей
- Блоки – независимые функциональные вычислительные модули
- Блок имеет произвольное количество входных и выходных портов
- В процессе работы блоки получают данные через входные порты и выдают данные через выходные порты
- Связи – каналы данных, соединяющие входные и выходные порты блоков.
- Связи *неявно* определяют последовательность выполнения блоков



Особенность предлагаемой модели

- Условие первого запуска блока – набор портов, на которые необходимо подать данные
- Условие следующего запуска устанавливается блоком по завершению текущего
- Проблема организации конечного цикла решена

Пример цикла в потоке данных: функция «MAP»

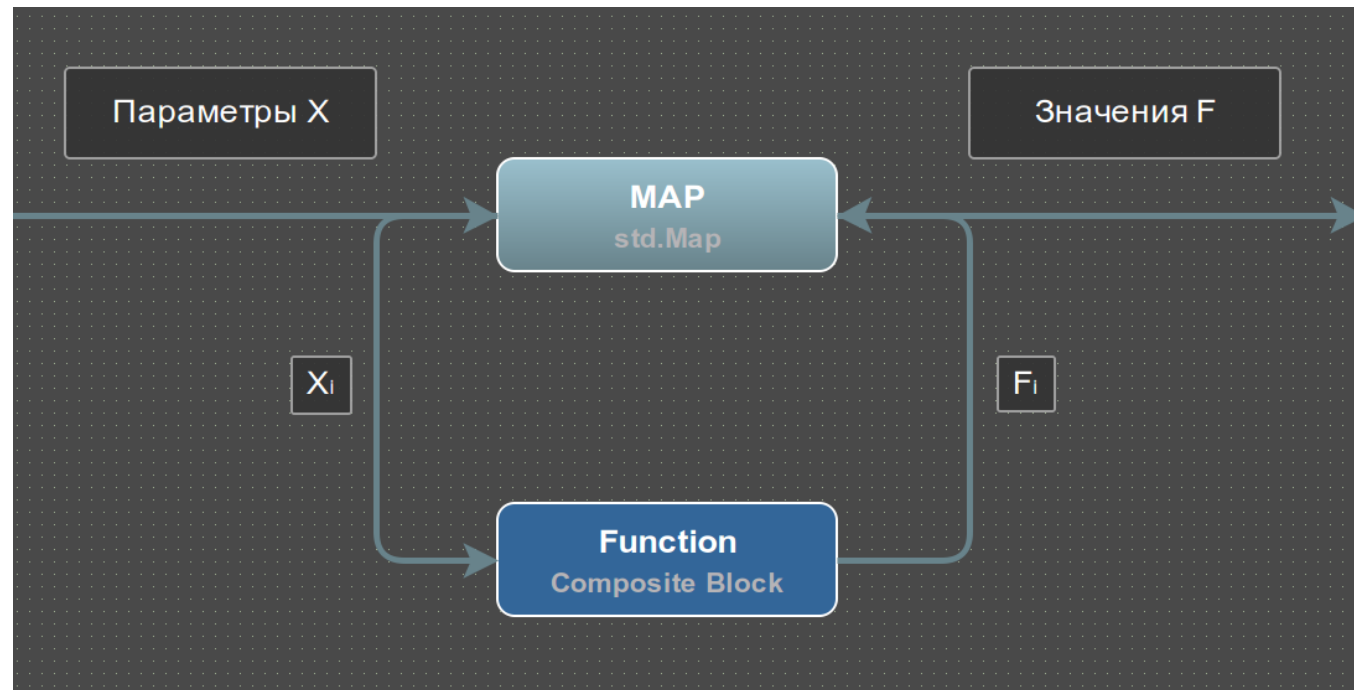
Блок MAP

Входные порты

- X
- F_i

Выходные порты

- F
- X_i



1. Условие первого запуска: «порт X »
2. Блок запоминает полученный список параметров, выдает первый его элемент в выходной порт X_i и устанавливает новое условие запуска – «порт F_i ».
3. Блок запоминает значение полученное в порт F_i и либо выдает накопленный список значений в порт F и устанавливает условие запуска «порт X », либо выдает очередной элемент входного списка в порт X_i и устанавливает условие запуска «порт F_i ».

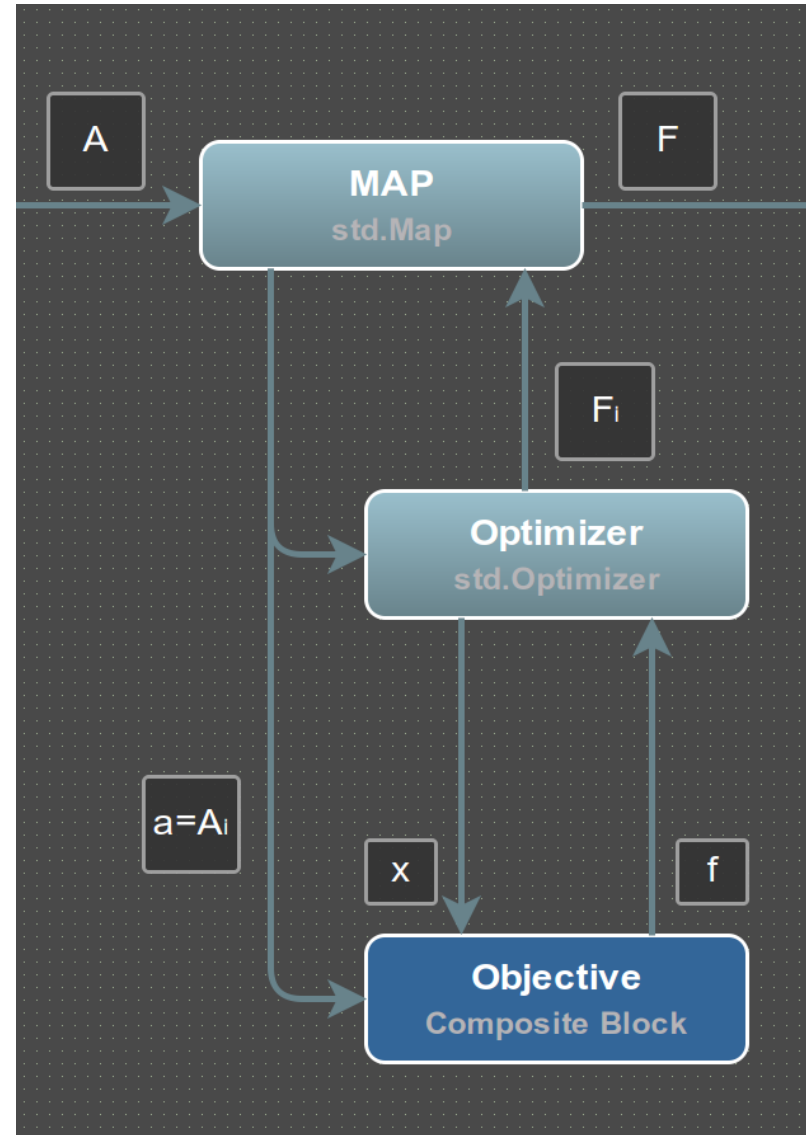
Проблема «цикл в цикле»: пример

Пример задачи

- «Objective» - функция с параметром: $f = \text{Objective}(a, x)$
- Для каждого из параметров $\{A_i\}$ требуется найти минимальное значение функции «Objective».

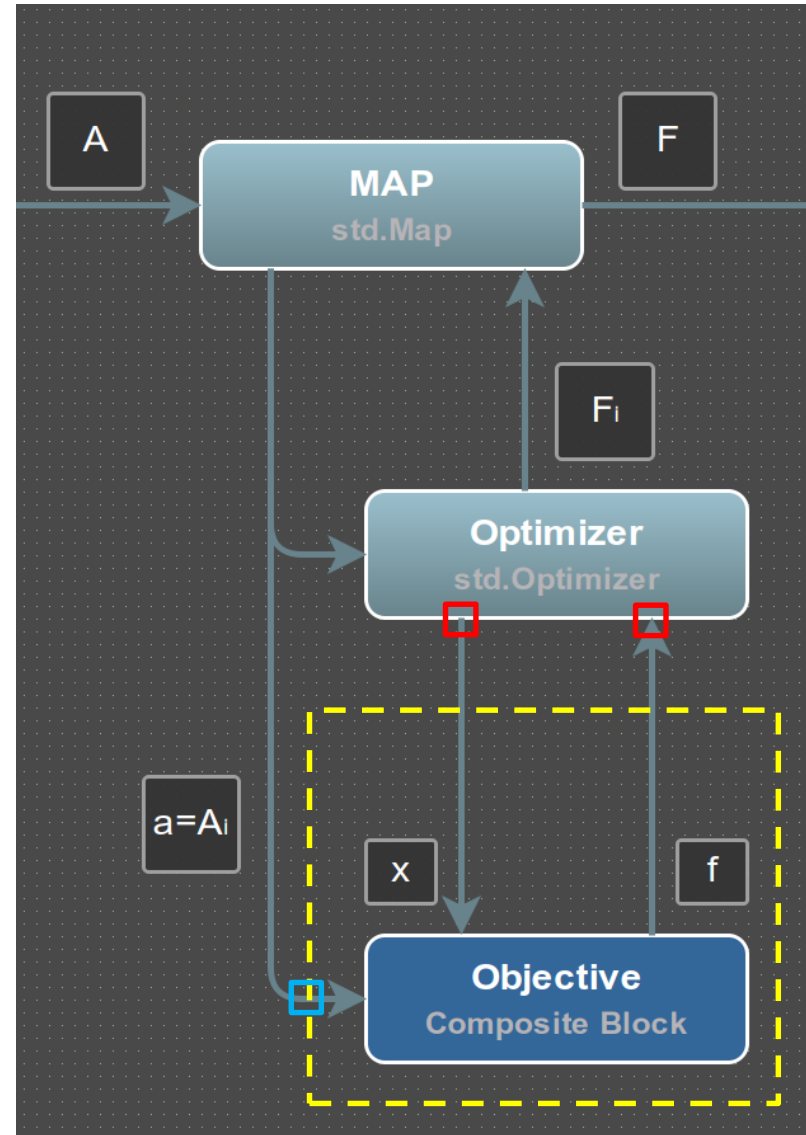
Проблема

- Процесс остановится на второй итерации блока «Optimizer» – условие запуска блока «Objective» не выполнено, нет данных на входе «a».



Проблема «цикл в цикле»: решение

- Блок, управляющий циклом, помечает порты начала и конца цикла.
- Связи, выходящие за пределы цикла, обрабатываются специальным образом.
- Входные связи дублируют своё значение каждый раз, когда блок выписывает данные в порт начала цикла.
- Выходные связи накапливают данные, пока блок управления циклом не выпишет данных в порт, не являющийся портом начала цикла.



Проблема «цикл в цикле»: решение

- Блок, управляющий циклом, помечает порты начала и конца цикла.
- Связи выходящие за пределы цикла обрабатываются специальным образом.
- Входные связи дублируют своё значение каждый раз, когда блок выписывает данные в порт начала цикла.
- Выходные связи накапливают данные, пока блок управления циклом не выпишет данных в порт, не являющийся портом начала цикла.
- **Любая глубина вложенности.**

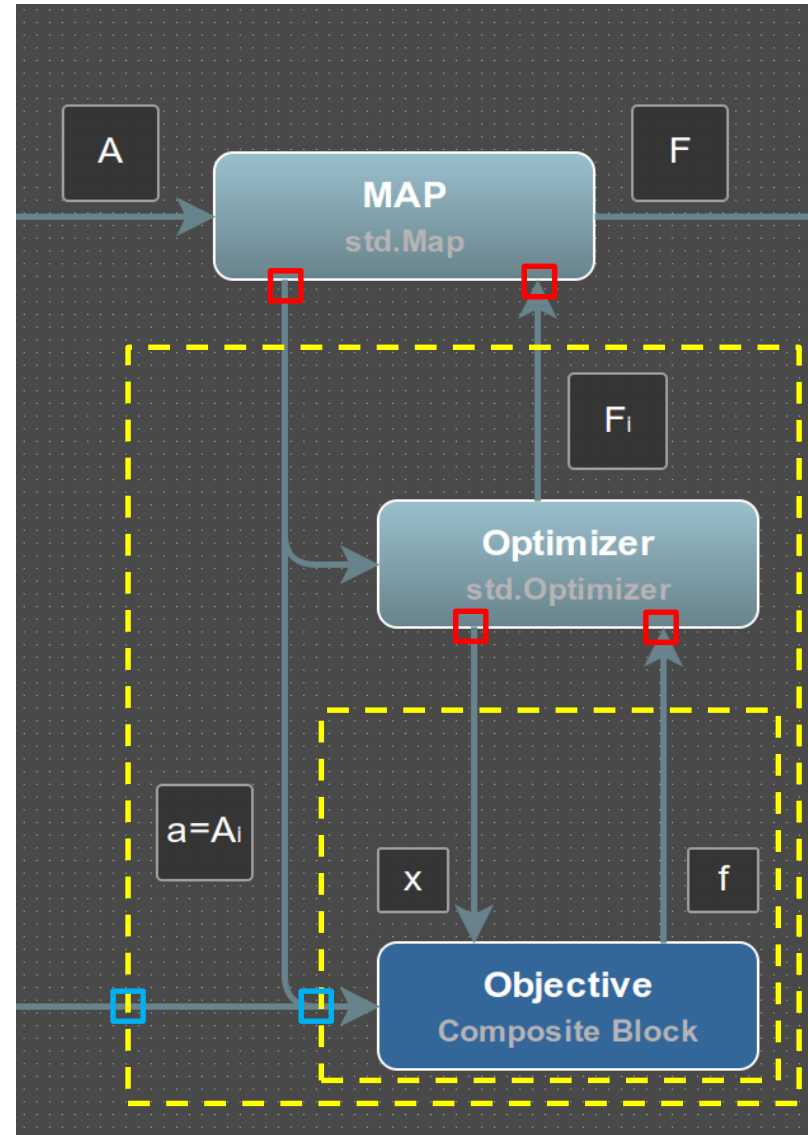
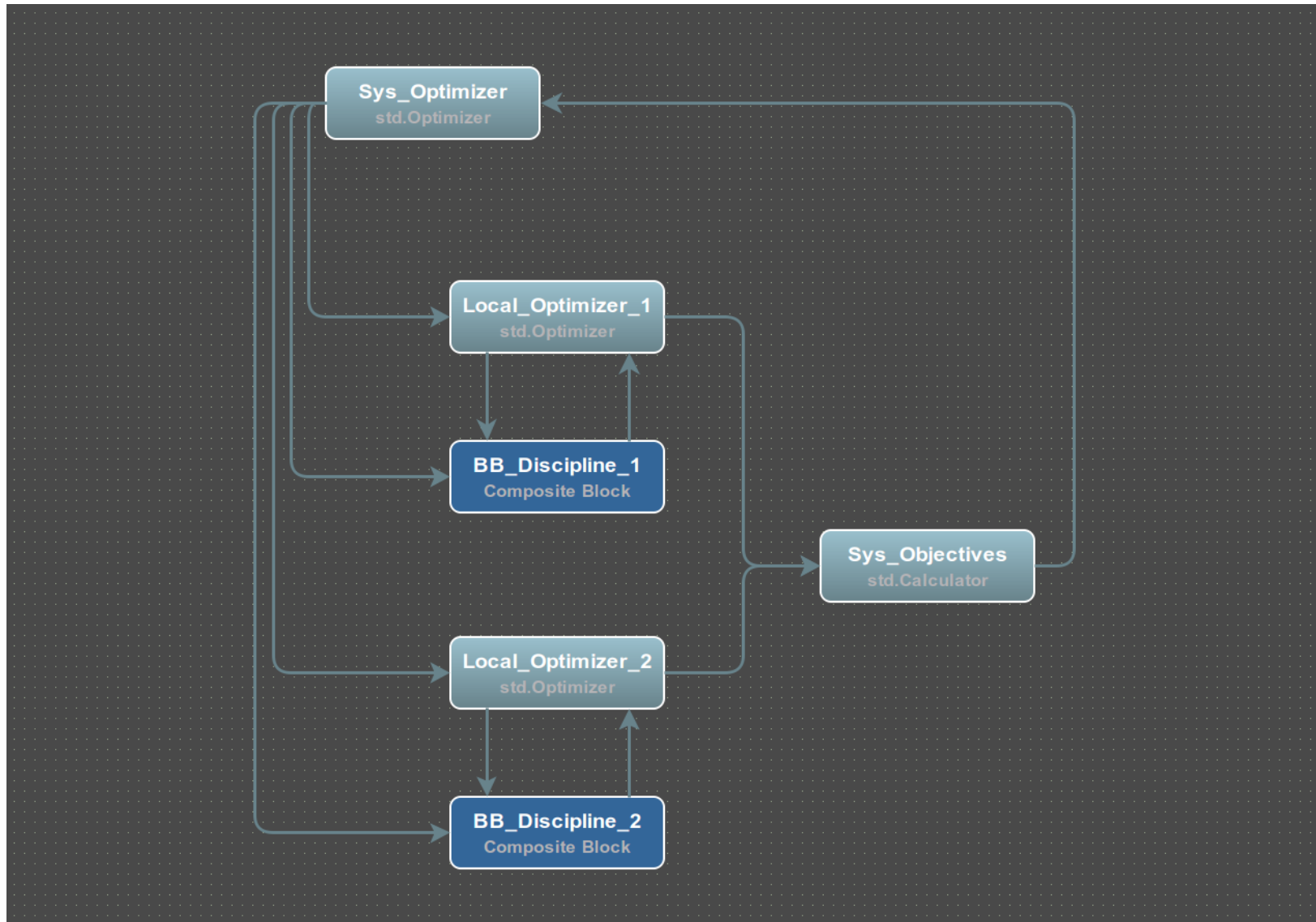


Схема потока работ совместной оптимизации



Результаты

- Поставленная задача решена – разработана модель потока работ, которая позволяет в простом, интуитивно понятном виде описать процесс междисциплинарного инженерного анализа и оптимизации.
- Предложенная модель потока работ была реализована авторами в программном комплексе pSeven предназначенном для автоматизации инженерных расчетов и оптимального проектирования.



Александр Прохоров

prokher@gmail.com

ИППИ РАН

www.iitp.ru

DATADVANCE

www.datadvance.net