

Пояснительная записка

Вычислительные техники решения задач линейного программирования в частично-целочисленной постановке и приемы работы с решателем SCIP

Подвойский А.О., Глазунова Е.В.

Содержание

| | | |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| 1 | Ключевые термины и определения | 2 |
| 2 | Выявленные баги SCIP и тонкости процедуры поиска решения | 2 |
| 2.1 | Недопустимое решение для релаксированной постановки задачи | 2 |
| 2.2 | Неединственность релаксированного решения | 2 |
| 3 | Общие сведения | 2 |
| 3.1 | Замечание о стабильности работы решателя SCIP на различных операционных системах | 2 |
| 4 | Приемы поиска решения | 3 |
| 4.1 | Прием фиксации бинарно-целочисленных переменных в релаксированном решении | 3 |
| 4.2 | Прием подавления подгруппы первичных эвристик низкой эффективности | 4 |
| 4.3 | Прием подбора порога бинаризации для бинарных переменных в релаксированном решении | 5 |
| 5 | Описание вычислительных экспериментов на сценариях группы ИКП | 7 |
| 5.1 | Общие замечания по процедуре поиска решения на сценариях <i>без</i> бинарных переменных | 7 |
| 5.1.1 | Сценарий F398266B без бинарных переменных | 7 |
| 5.1.2 | Сценарий 50197DF7 без бинарных переменных | 8 |
| 5.1.3 | Сценарий 7FAC4231 без бинарных переменных | 9 |
| 5.1.4 | Сценарий CA485A55 без бинарных переменных | 9 |
| 5.1.5 | Сценарий 276 без бинарных переменных | 10 |
| 5.1.6 | Сценарий 337 без бинарных переменных | 11 |
| 5.1.7 | Сценарий 13D686AB без бинарных переменных | 12 |
| 5.1.8 | Сценарий A78CBEAD без бинарных переменных | 14 |
| 5.2 | Общие замечания по процедуре поиска решения на сценариях <i>с</i> бинарными переменными | 14 |
| 5.2.1 | Сценарий A78CBEAD с бинарными переменными | 16 |
| 5.2.2 | Сценарий 7FAC4231 с бинарными переменными | 17 |
| 5.2.3 | Сценарий 50197DF7 с бинарными переменными | 18 |
| 5.2.4 | Сценарий F398266B с бинарными переменными | 19 |

| | | |
|---|----------------------------------------------------------------|----|
| 6 | Описание вычислительных экспериментов на сценариях группы MBO | 26 |
| 7 | Описание вычислительных экспериментов на сценариях MIPLIB 2017 | 26 |
| | Список иллюстраций | 27 |
| | Список таблиц | 27 |
| | Список литературы | 28 |

1. Ключевые термины и определения

Задача линейного программирования (LP-задача) – это ...

Задача линейного программирования в частично-целочисленной постановке (MILP-задача) – это ...

2. Выявленные баги SCIP и тонкости процедуры поиска решения

2.1. Недопустимое решение для релаксированной постановки задачи

По состоянию на 18.06.2022 г. решатель SCIP версии 8.0.0 с оберткой PySCIPOpt версий 4.0.0 и 4.2.0 для операционной системы Windows 10 *релаксированную постановку задачи* (т.е. при снятых ограничениях на целочисленность переменных) оценивает как неспособную привести к допустимому решению.

SCIP версии 7.0.3 (PySCIPOpt 3.4.0) как на операционной системе Windows 10, так и на Unix-подобных операционных системах (в частности, MacOS Monterey 12.1 и Linux Centos 7) решает задачу в релаксированной постановке корректно.

2.2. Неединственность релаксированного решения

Если эвристические приемы строятся на базе релаксированного решения задачи, важно помнить, что релаксированные решения, полученные с помощью различных решателей с точки зрения распределения значений переменных могут существенно различаться¹, не смотря на то, что во всех случаях зазор будет нулевым и целевая функция будет иметь одно и тоже значение (с оговоркой на допуск точности решателя).

3. Общие сведения

3.1. Замечание о стабильности работы решателя SCIP на различных операционных системах

- Вычислительные эксперименты проводились на трех версиях решателя SCIP (7.0.0, 7.0.3, 8.0.0) и трех платформах: Windows 10, MacOS (Monterey 12), Linux (Centos 7). Разброс времени поиска решения для каждой конфигурации решателя оценивается минимум по 3 запускам сценария

¹Потому как гиперплоскость целевой функции может касаться политопа не в вершине, а по грани

- На текущий момент наиболее стабильные и наиболее адекватные результаты получаются
 - для ОС Linux (Centos 7) и ОС MacOS (Monterey12) на решателе SCIP версии 7.0.3 (обертка PySCIPOpt 3.4.0) и платформе Ecolib версии 0.7.3 , собранных для однопоточной реализации
 - для ОС Windows 10 на решателе SCIP версии 8.0.0 (обертка PySCIPOpt 4.0.0), собранном для однопоточной реализации
- Последняя доступная версия решателя SCIP 8.0.0 (PySCIPOpt 4.1.0) на MacOS (Monterey 12.1) и Linux (Centos 7) при тех же настройках, что и для SCIP версии 7.0.3, как правило, работает значительно медленнее (2.5-2.85 раза) и в большинстве случаев либо не успевает найти решение за отведенное время, либо «просаживает» целевую функцию

4. Приемы поиска решения

4.1. Прием фиксации бинарно-целочисленных переменных в релаксированном решении

Часто фиксация целочисленных переменных² в релаксированном решении приводит к приемлемому допустимому целочисленному решению, которое потом можно использовать как «теплый старат» или как базовое решение для других схем фиксации.

```
ZERO = 0.0
...
relax_sol: pd.Series = read_relax_sol(path_to_relax_sol)

model = pyscipopt.Model()
model.readProblem(path_to_lp_file)
model.readParams(path_to_set_file)

all_vars: t.List[pyscipopt.scip.Variable] = model.getVars()
bin_vars: t.List[pyscipopt.scip.Variable] = extract_vars_set_type(all_vars, BINARY)
int_vars: t.List[pyscipopt.scip.Variable] = extract_vars_set_type(all_vars, INTEGER)

all_zero_bin_vars: t.List[
    pyscipopt.scip.Variable
] = extract_from_relax_sol_zero_vars(
    relax_sol,
    sub_group_vars=bin_vars,
)
all_zero_int_vars: t.List[
    pyscipopt.scip.Variable
] = extract_from_relax_sol_zero_vars(
    relax_sol,
    sub_group_vars=int_vars,
)

for var in all_zero_bin_vars + all_zero_int_vars:
    model.fixVar(var, ZERO)

model.optimize()
...
```

²Вообще говоря, фиксировать можно не только бинарные и целочисленные переменные

4.2. Прием подавления подгруппы первичных эвристик низкой эффективности

В некоторых случаях отдельные первичные эвристики могут оказаться не способными справиться со своей задачей, не оказывая никакого влияния на процедуру поиска решения, и все же потреблять предоставленные ресурсы.

Такие эвристики – условимся их называть первичными эвристиками низкой эффективности (ПЭНЭ) – можно выявить путем анализа статистической сводки `stat`-файла в разделе `Primal Heuristics`

Фрагмент файла статистической сводки `337_bin_default.stat`

```
...
Primal Heuristics :   ExecTime  SetupTime      Calls      Found      Best
LP solutions      :         0.00         -         -         0         0
relax solutions   :         0.00         -         -         0         0
pseudo solutions  :         0.00         -         -         0         0
...
conflictdiving    :         0.00         0.00         0         0         0
crossover         :         0.00         0.00         0         0         0
dins              :         0.00         0.00         0         0         0
distributiondivin :         0.00         0.00         0         0         0
dualval           :         0.00         0.00         0         0         0
farkasdiving      :       2032.89         0.00         1         0         0 # <- NB
feaspump          :         882.12         0.00         1         0         0 # <- NB
fixandinfer       :         0.00         0.00         0         0         0
...
intdiving         :         0.00         0.00         0         0         0
intshifting       :         52.99         0.00         1         1         1
...
```

В данном случае ПЭНЭ являются `farkasdiving` и `feaspump`. Чтобы подавить эти эвристики при следующем запуске `SCIP`, достаточно включить следующие строки в конфигурационный файл `scip.set`³

`scip.set`

```
...
heuristics/farkasdiving/freq = -1
heuristics/feaspump/freq = -1
...
```

Доступ к статистической сводке можно получить либо в сессии `SCIP`, либо через одну из оберток над решателем (например, с помощью `PySCIPOpt`)

Фрагмент сессии `scip`. Получение статистической сводки

```
...
SCIP> read file.lp
SCIP> opt
SCIP> display stat
```

Получение статистической сводки через обертку `PySCIPOpt`

```
import pyscipopt
```

³При запуске интерактивной сессии через утилиту командной строки `scip`, решатель ищет этот файл в текущей директории и, если находит, автоматически вычитывает. При работе через `PySCIPOpt` требуется явно передавать путь до файла методу модели `readParams()`

```

model = pycscipopt.Model()
model.readProblem("...")
model.readParams("...")
model.optimize()

model.printStatistics()

```

4.3. Прием подбора порога бинаризации для бинарных переменных в релаксированном решении

Условимся *фиксацией* называть стратегию инициализации подгруппы переменных x_k (вещественных, бинарных или целочисленных), значения которых задаются на основе каких-либо эвристических соображений, например, касающихся специальных свойств матрицы ограничений, и способных в результате привести к такой постановке задачи, которую, используя механизмы первичных эвристик, сепараторов, пропагаторов и пр. можно развить в *допустимое целочисленное решение*.

Базовая идея построения *фиксации на бинарных переменных* заключается в том, чтобы значения бинарных переменных в релаксированном решении⁴ $\{x_k^{(b)}\}_{k=1,\dots}$ интерпретировать как *степень уверенности* решателя в том, что рассматриваемую бинарную переменную можно выставить в единицу.

Если значение k -ой бинарной переменной $x_k^{(b)}$ превосходит некоторый *порог* θ , то переменная выставляется в единицу, в противном случае – в ноль. Порог подбирается итерационно, начиная с некоторого нижнего значения θ_l (по умолчанию $\theta_l = 0$), увеличивая текущее значение порога на величину шага $\Delta\theta$ и заканчивая верхним значением порога θ_u (по умолчанию $\theta_u = 1$).

Для практических целей достаточно остановиться на наименьшем значении порога θ , который отвечает такой фиксации, которую решатель SCIP не отклоняет как неспособную привести к допустимому целочисленному решению.

Фрагмент лога решателя SCIP для случая фиксации, которую невозможно развить в допустимое целочисленное решение

```

...
SCIP Status      : problem is solved [infeasible]
Solving Time (sec) : 3.00
Solving Nodes    : 0
Primal Bound     : +1.0000000000000000e+20 (0 solutions)
Dual Bound      : +1.0000000000000000e+20
Gap              : 0.00 %
original problem has 740251 variables (2666 bin, 147789 int, 0 impl, 589796 cont) and 545350
constraints
...

```

После того как порог θ подобран, бинарные переменные разбиваются на две подгруппы: подгруппу бинарных переменных, выставленных в ноль $\{x_k^{(b_0)}\}$, и подгруппу бинарных переменных, выставленных в единицу $\{x_k^{(b_1)}\}$. Долю бинарных переменных, выставленных в ноль обозначим через δ_{b_0} , долю бинарных переменных, выставленных в единицу – через δ_{b_1} , а целевую функцию, найденную при заданных долях – через $f_\theta(\delta_{b_0}, \delta_{b_1})$.

⁴Верхний левый индекс « r » указывает на релаксированное значение, а верхний правый « (b) » – на то, что речь идет о бинарной переменной

В результате получаем исследовательский инструмент, который дает возможность управлять решением через подбор долей δ_{b_0} и δ_{b_1} при найденном пороге θ . Часто оказывается эффективным прием управления решением через подбор доли нулевых бинарных переменных δ_{b_0} .

Целевая функция, вычисленная при единичной доле нулевых бинарных переменных $f_\theta(\delta_{b_0} = 1)$, как правило, значительно уступает целевой функции релаксированного решения f_r . Но тем не менее это решение может быть улучшено, сокращением доли δ_{b_0} (см. рис. 1 и рис. 2).

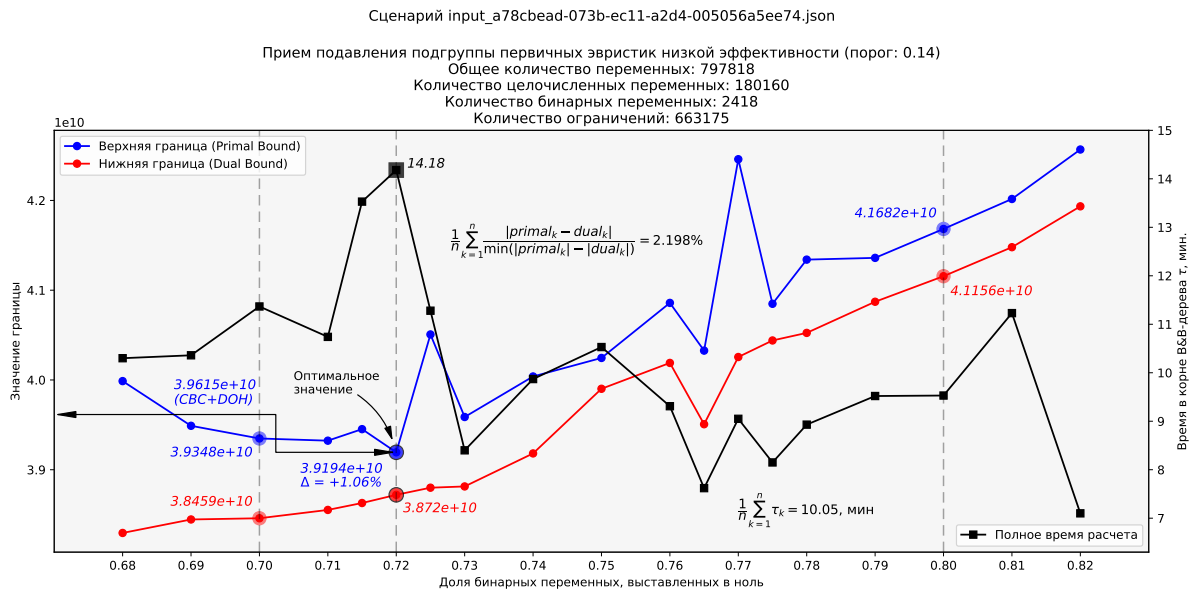


Рис. 1. Зависимость верхней границы решения от доли бинарных переменных, выставленных в ноль. Сценарий a78cbead

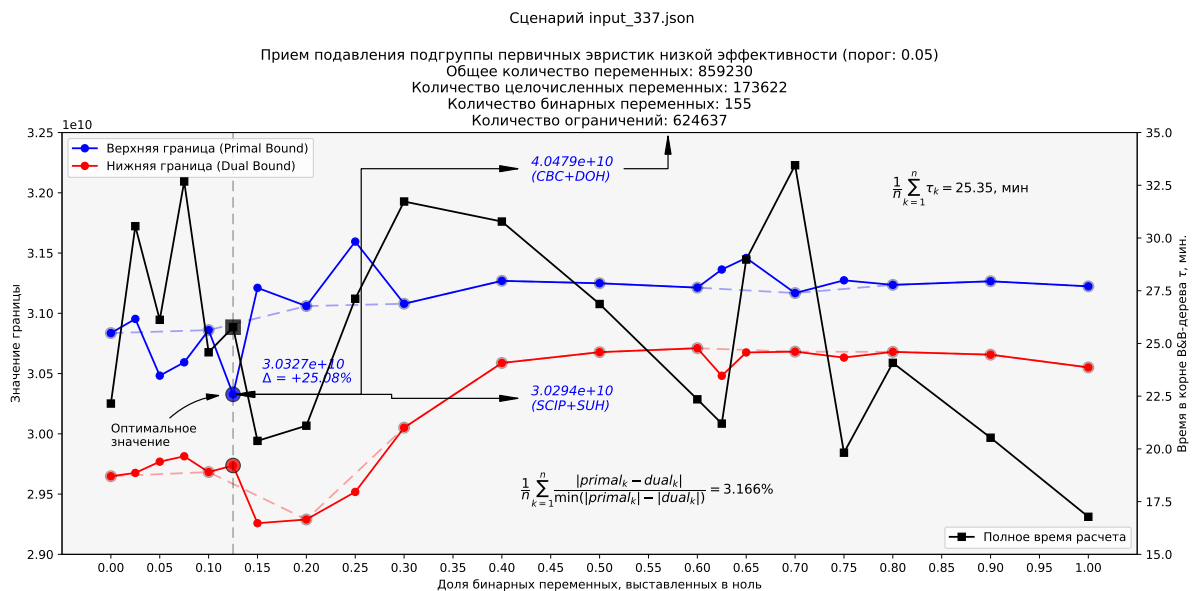


Рис. 2. Зависимость верхней границы решения от доли бинарных переменных, выставленных в ноль. Сценарий 337

Как видно из графиков, на кривой изменения верхней границы решения существует точка с наименьшим значением целевой функции $f_\theta(\delta_{b_0})$ допустимого целочисленного решения. Эта точка и будет «оптимальной» для рассматриваемого сценария.

5. Описание вычислительных экспериментов на сценариях группы ИКП

5.1. Общие замечания по процедуре поиска решения на сценариях без бинарных переменных

Метаконфигурация⁵ SUH (Suppress Useless Heuristics) процедуры поиска решения сводится к приему подавления подгруппы первичных эвристик низкой эффективности.

Замечание

Решение получено без доменно-ориентированных эвристик, «теплого» старта и подбора параметров решателя

Конфигурация решателя SCIP для всех сценариев группы ИКП (без бинарных переменных) имеет вид

scip.set. Сценарии группы ИКП без бинарных переменных

```
# критерии останова и перезапуска
limits/time = 7200
limits/gap = 0.02 # решение останавливается при зазоре <= 2%

# подавление подгруппы первичных эвристик низкой эффективности
heuristics/farkasdiving/freq = -1
heuristics/feaspump/freq = -1
heuristics/randrounding/freq = -1
heuristics/shiftandpropagate/freq = -1
heuristics/shifting/freq = -1
```

Сводка результатов вычислительных экспериментов доступна по ссылке <https://docs.google.com/document/d/1V9fZLT9cXkbVQ5BvMCwzKrAiASZ2v4-01Z68jVBZUBU/edit?usp=sharing>.

5.1.1. Сценарий F398266B без бинарных переменных

Статистика

Общее количество переменных: 774901

Количество целочисленных переменных: 172449

Количество бинарных переменных: 0

Количество ограничений: 650263

lp-файл: https://disk.yandex.ru/d/o_eAb9475u5ueg

Анализ решения

Пул решений задачи был найден с помощью следующих первичных эвристик:

- INTSHIFING,
- RENS.

Файл решения задачи доступен по ссылке <https://disk.yandex.ru/d/URRnZ8soTaJEgQ>

Файл статистической сводки доступен по ссылке <https://disk.yandex.ru/d/N2tfhj1N6Rczza>

Вывод по сценарию: описанная выше метаконфигурация SUH приводит к решению задачи, которое оказывается по отношению к результату на доменно-ориентированных эвристиках

⁵Под метаконфигурацией понимается совокупность конфигурации решателя и набора эвристических приемов

(USE_RECALCULATION_ON_FLOW=true) для последнего решения из пула допустимых целочисленных решений (ОС Linux Centos 7) на 1.063% лучше в смысле целевой функции и на 10.20% – в смысле временных издержек (рис. 3).

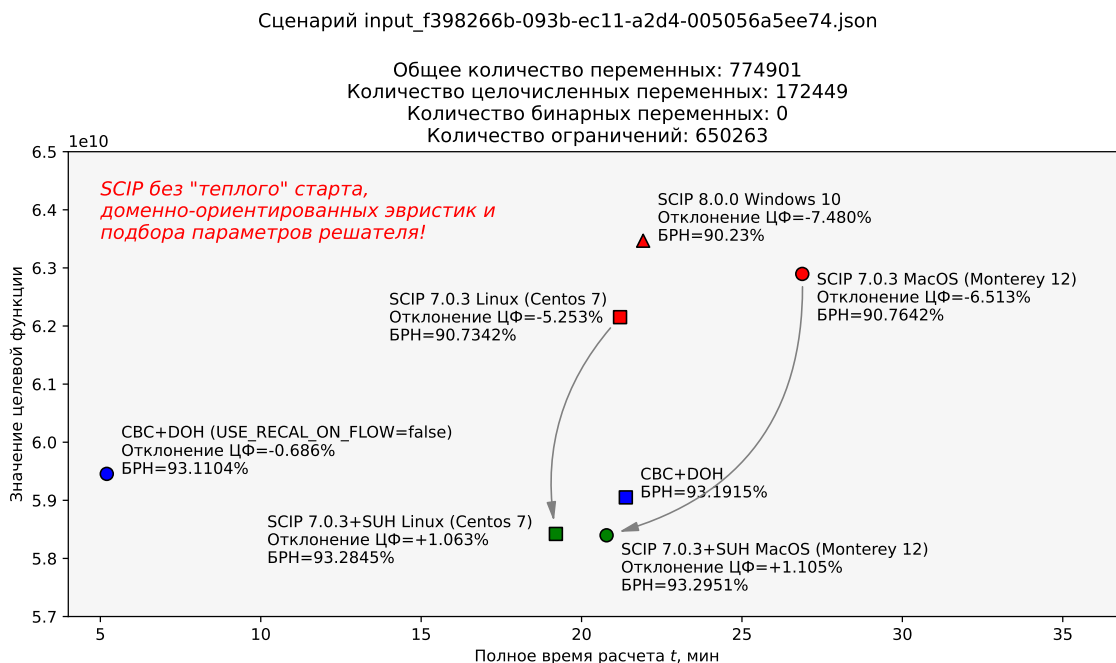


Рис. 3. Сводка результатов анализа эффективности метаконфигурации SUH.
 Сценарий f398266b без бинарных переменных

5.1.2. Сценарий 50197DF7 без бинарных переменных

Статистика

Общее количество переменных: 718464

Количество целочисленных переменных: 159332

Количество бинарных переменных: 0

Количество ограничений: 595797

lp-файл: https://disk.yandex.ru/d/K0_xj9dkgUdcog

Анализ решения

Пул решений задачи был найден с помощью следующих первичных эвристик:

- INTSHIFING,
- RENS.

Файл решения задачи доступен по ссылке <https://disk.yandex.ru/d/R4B1fkTx-nE3tg>

Файл статистической сводки доступен по ссылке <https://disk.yandex.ru/d/BLvUmZ43vtMFKg>

Вывод по сценарию: описанная выше метаконфигурация SUH приводит к решению задачи, которое оказывается по отношению к результату на доменно-ориентированных эвристиках (USE_RECALCULATION_ON_FLOW=true) для последнего решения из пула допустимых целочисленных решений (ОС Linux Centos 7) на 1.25% лучше в смысле целевой функции и на 46.43% – в смысле временных издержек (рис. 4).

Сценарий input_50197df7-ff50-ec11-a2d7-005056a5ee74.json

Общее количество переменных: 718464
Количество целочисленных переменных: 159332
Количество бинарных переменных: 0
Количество ограничений: 595797

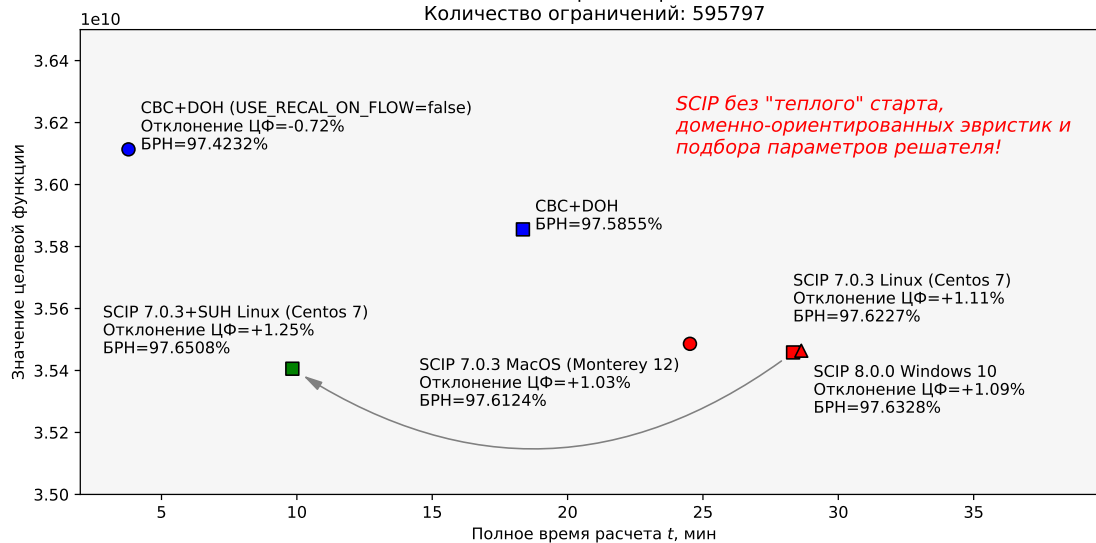


Рис. 4. Сводка результатов анализа эффективности метаконфигурации SUN.
Сценарий 50197df7 без бинарных переменных

5.1.3. Сценарий 7FAC4231 без бинарных переменных

Статистика

Общее количество переменных: 737585
Количество целочисленных переменных: 147789
Количество бинарных переменных: 0
Количество ограничений: 540018
lp-файл: <https://disk.yandex.ru/d/qiZAmraUNK1Peg>

Анализ решения

Пул решений задачи был найден с помощью следующих первичных эвристик:

- o INTSHIFING,
- o RENS.

Файл решения задачи доступен по ссылке https://disk.yandex.ru/d/20NeMuQ7NF_ccA

Файл статистической сводки доступен по ссылке <https://disk.yandex.ru/d/QxE0HoREHzgHQQ>

Вывод по сценарию: описанная выше метаконфигурация SUN приводит к решению задачи, которое оказывается по отношению к результату на доменно-ориентированных эвристиках (USE_RECALCULATION_ON_FLOW=true) для последнего решения из пула допустимых целочисленных решений (ОС Linux Centos 7) на 5.22% лучше в смысле целевой функции и на 27.10% – в смысле временных издержек (рис. 5).

5.1.4. Сценарий CA485A55 без бинарных переменных

Статистика

Общее количество переменных: 718601

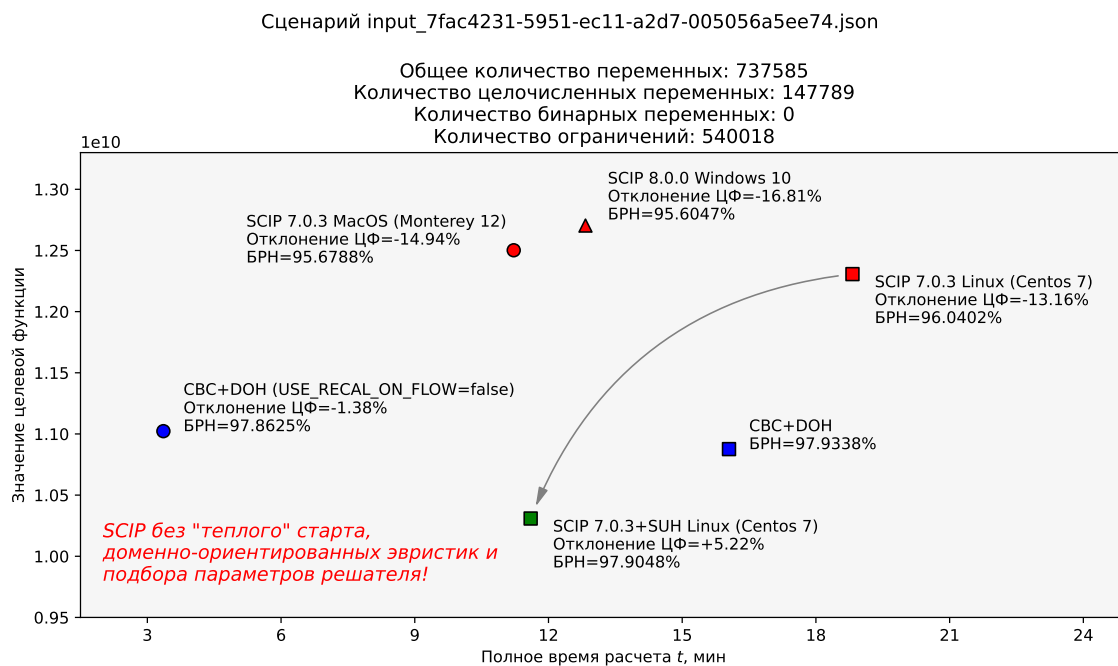


Рис. 5. Сводка результатов анализа эффективности метаконфигурации SUH.
Сценарий 7fac4231 без бинарных переменных

Количество целочисленных переменных: 140858

Количество бинарных переменных: 0

Количество ограничений: 514229

lp-файл: https://disk.yandex.ru/d/iSP6xrh4K_wHEQ

Анализ решения

Пул решений задачи был найден с помощью следующих первичных эвристик:

- INTSHIFING,
- RENS.

Файл решения задачи доступен по ссылке https://disk.yandex.ru/d/_WzkmgoueNb2Bg

Файл статистической сводки доступен по ссылке

Вывод по сценарию: описанная выше метаконфигурация SUH приводит к решению задачи, которое оказывается по отношению к результату на доменно-ориентированных эвристиках (USE_RECALCULATION_ON_FLOW=true) для последнего решения из пула допустимых целочисленных решений (ОС Linux Centos 7) на 0.683% лучше в смысле целевой функции и на 46.48% – в смысле временных издержек (рис. 6).

5.1.5. Сценарий 276 без бинарных переменных

Статистика

Общее количество переменных: 809224

Количество целочисленных переменных: 162562

Количество бинарных переменных: 0

Количество ограничений: 602190

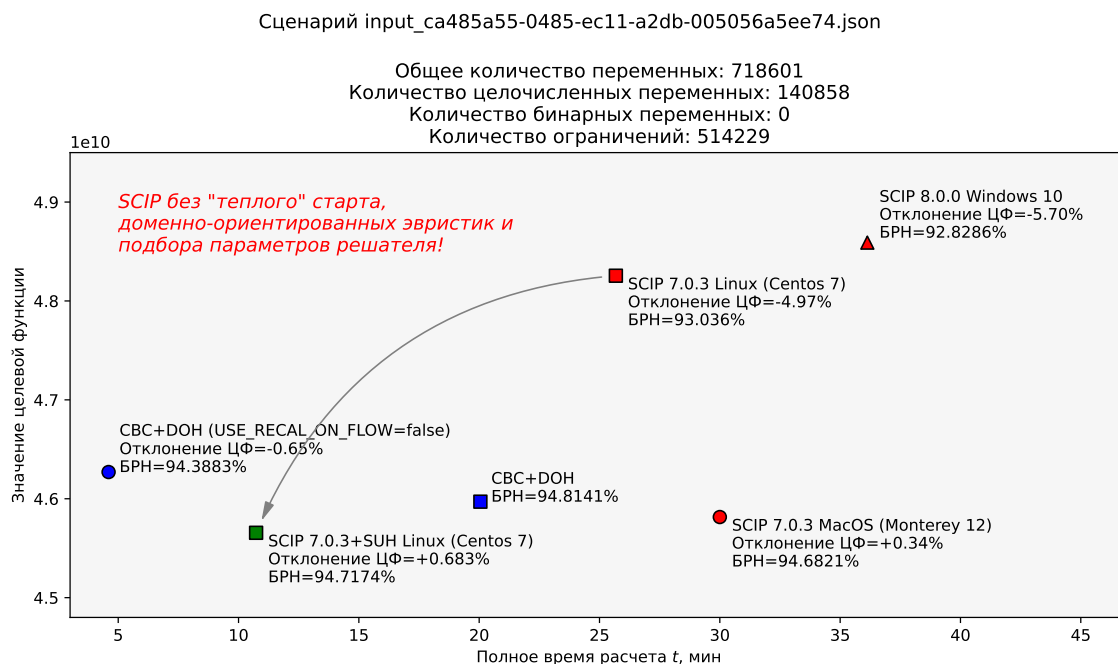


Рис. 6. Сводка результатов анализа эффективности метаконфигурации SUH.
Сценарий ca485a55 без бинарных переменных

lp-файл: <https://disk.yandex.ru/d/QaS5kd7VRZQ66A>

Анализ решения

Пул решений задачи был найден с помощью следующих первичных эвристик:

- o INTSHIFING,
- o RENS.

Файл решения задачи доступен по ссылке <https://disk.yandex.ru/d/M2V88djiiGM5PA>

Файл статистической сводки доступен по ссылке

Вывод по сценарию: описанная выше метаконфигурация SUH приводит к решению задачи, которое оказывается по отношению к результату на доменно-ориентированных эвристиках (USE_RECALCULATION_ON_FLOW=true) для последнего решения из пула допустимых целочисленных решений (ОС Linux Centos 7) на 3.67% лучше в смысле целевой функции и на 51.56% – в смысле временных издержек (рис. 7).

5.1.6. Сценарий 337 без бинарных переменных

Статистика

Общее количество переменных: 859075

Количество целочисленных переменных: 173622

Количество бинарных переменных: 0

Количество ограничений: 624327

lp-файл: <https://disk.yandex.ru/d/keyQLAagsD7Sbw>

Анализ решения

Пул решений задачи был найден с помощью следующих первичных эвристик:

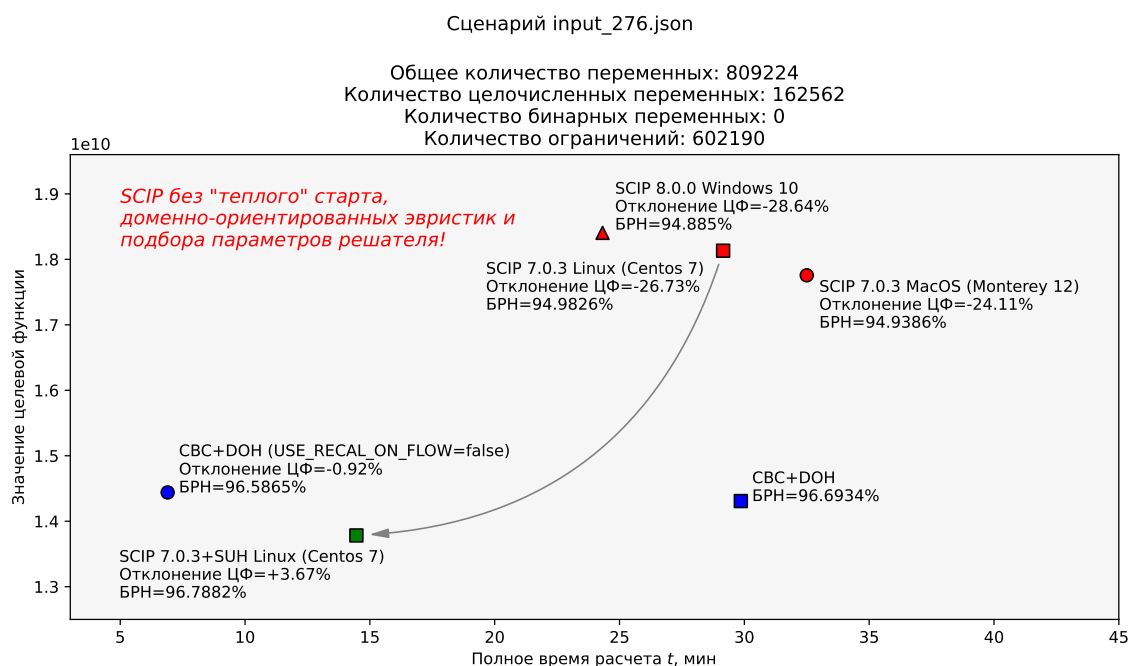


Рис. 7. Сводка результатов анализа эффективности метаконфигурации SUH.
Сценарий 276 без бинарных переменных

- INTSHIFING,
- RENS.

Файл решения задачи доступен по ссылке <https://disk.yandex.ru/d/ZUIEo3dDq77FjA>

Файл статистической сводки доступен по ссылке

Вывод по сценарию: описанная выше метаконфигурация SUH приводит к решению задачи, которое оказывается по отношению к результату на доменно-ориентированных эвристиках (`USE_RECALCULATION_ON_FLOW=true`) для последнего решения из пула допустимых целочисленных решений (ОС Linux Centos 7) на 22.12% лучше в смысле целевой функции и на 18.32% – в смысле временных издержек (рис. 8).

5.1.7. Сценарий 13D686AB без бинарных переменных

Статистика

Общее количество переменных: 786020

Количество целочисленных переменных: 168857

Количество бинарных переменных: 0

Количество ограничений: 598414

lp-файл: <https://disk.yandex.ru/d/3KkYKzNl3PjGdg>

Пул решений задачи был найден с помощью следующих первичных эвристик:

- INTSHIFING,
- RENS.

Файл решения задачи доступен по ссылке <https://disk.yandex.ru/d/EXylMeX6Ytz4tg>

Файл статистической сводки доступен по ссылке

Вывод по сценарию: описанная выше метаконфигурация SUH приводит к решению задачи, которое оказывается по отношению к результату на доменно-ориентированных эвристиках

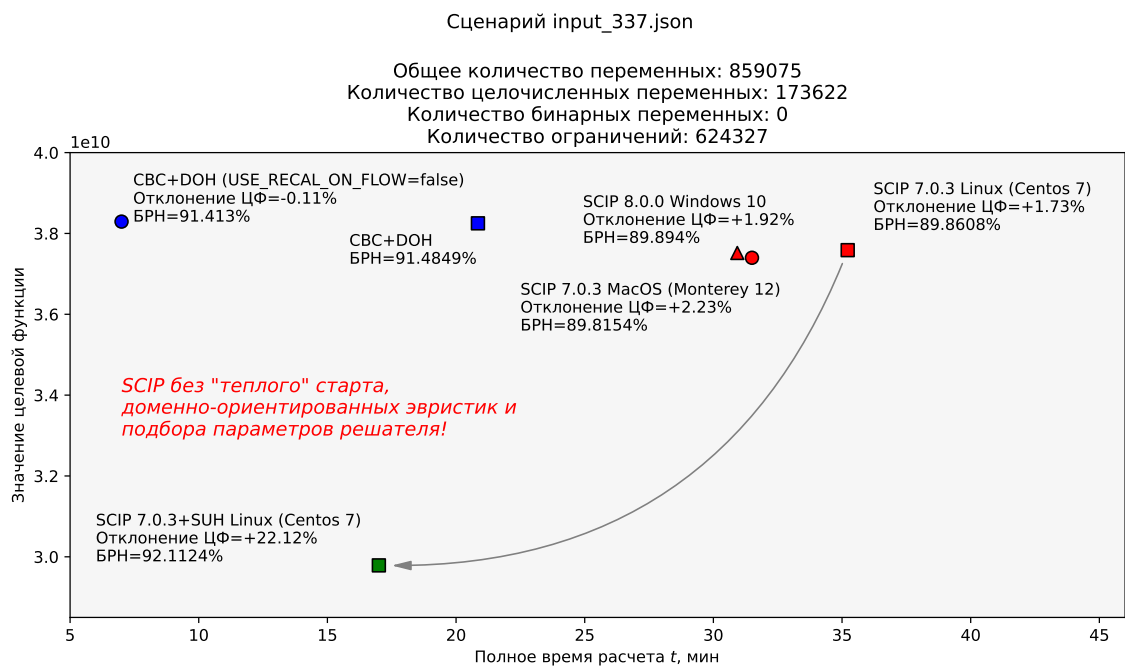


Рис. 8. Сводка результатов анализа эффективности метаконфигурации SUH.
Сценарий 337 без бинарных переменных

(USE_RECALCULATION_ON_FLOW=true) для последнего решения из пула допустимых целочисленных решений (ОС Linux Centos 7) на 9.40% лучше в смысле целевой функции и на 33.03% – в смысле временных издержек (рис. 9).

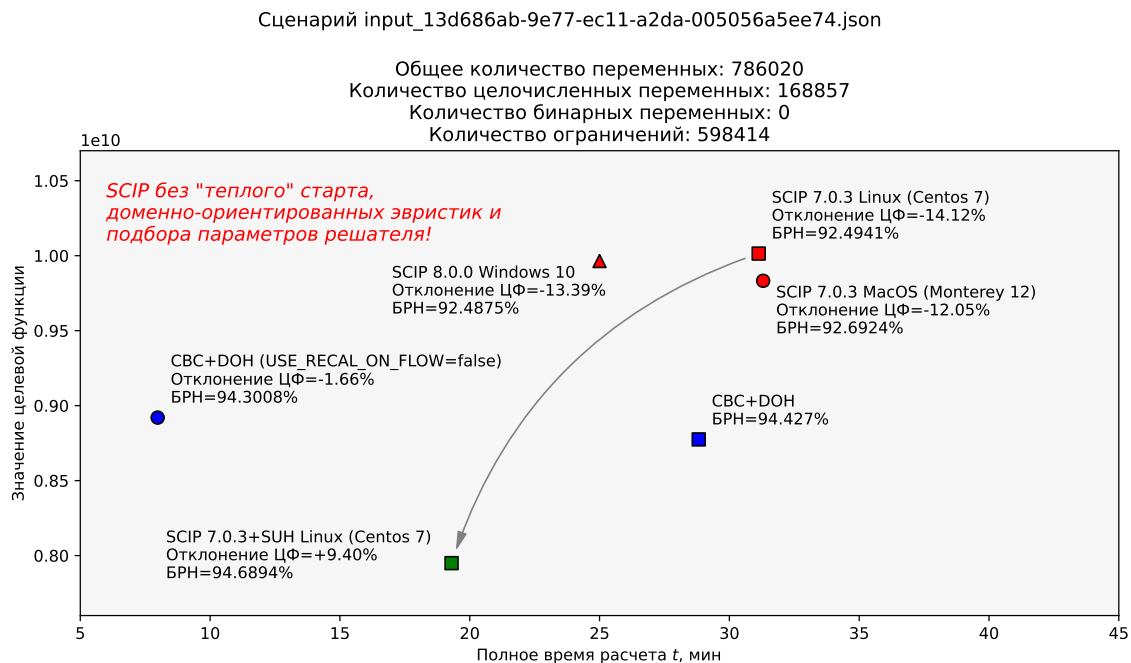


Рис. 9. Сводка результатов анализа эффективности метаконфигурации SUH.
Сценарий 13d686ab без бинарных переменных

5.1.8. Сценарий A78CBEAD без бинарных переменных

Статистика

Общее количество переменных: 795400

Количество целочисленных переменных: 180160

Количество бинарных переменных: 0

Количество ограничений: 658339

lp-файл: <https://disk.yandex.ru/d/vTPPa1H3VFD7tA>

Пул решений задачи был найден с помощью следующих первичных эвристик:

- INTSHIFING,
- RENS.

Файл решения задачи доступен по ссылке <https://disk.yandex.ru/d/fARVcHb66ToHxQ>

Файл статистической сводки доступен по ссылке

Вывод по сценарию: описанная выше метаконфигурация SUN приводит к решению задачи, которое оказывается по отношению к результату на доменно-ориентированных эвристиках (USE_RECALCULATION_ON_FLOW=true) для последнего решения из пула допустимых целочисленных решений (ОС Linux Centos 7) на 1.57% лучше в смысле целевой функции и на 23.30% – в смысле временных издержек (рис. 10).

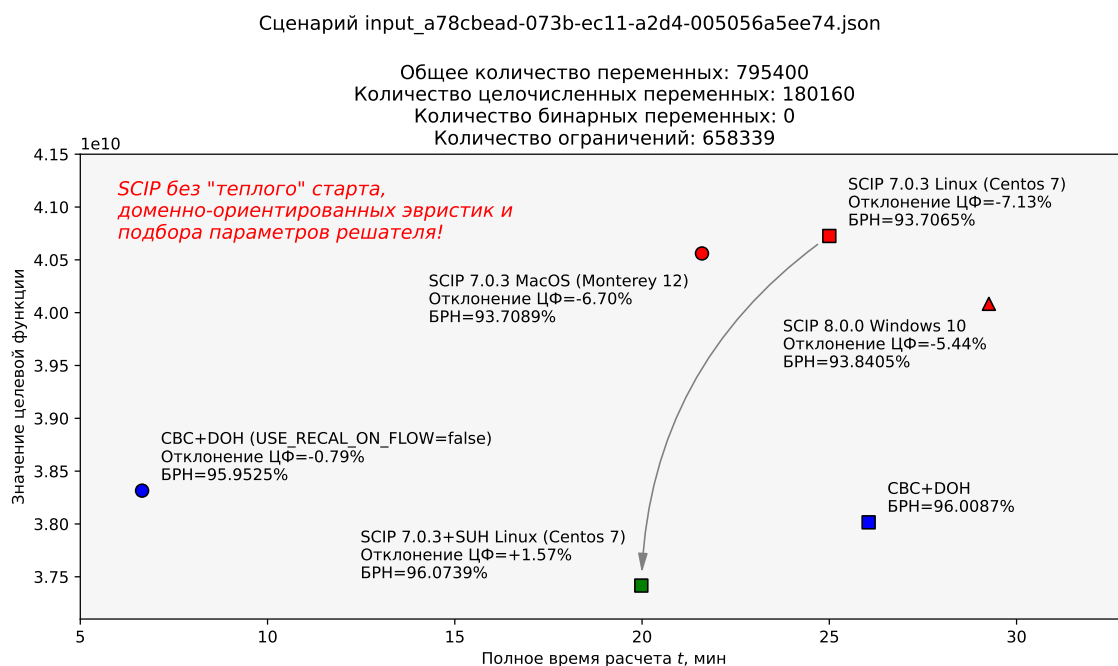


Рис. 10. Сводка результатов анализа эффективности метаконфигурации SUN.
Сценарий a78cbead без бинарных переменных

5.2. Общие замечания по процедуре поиска решения на сценариях с бинарными переменными

На ранних стадиях изучения проблемы высокоразмерных сценариев с бинарными переменными, поиск решения осуществлялся в семь шагов:

1. Подавить подгруппу первичных эвристик низкой эффективности (см. раздел 4.2),

2. При разрешении конфликтов и ветвлении⁶ отдавать предпочтение бинарным переменным,
3. Найти релаксированное решение задачи,
4. Подобрать порог бинаризации на релаксированном решении для бинарных переменных (см. раздел 4.3),
5. Зафиксировать *нулевые 0-bin и единичные 1-bin бинарные переменные*; подать фиксацию решателю,
6. В решении, найденном на предыдущей итерации, зафиксировать *нулевые целочисленные 0-int и единичные бинарные 1-bin переменные*; полученную фиксацию подать на вход решателя,
7. В решении, полученном на предыдущей итерации, зафиксировать *нулевые бинарные 0-bin и целочисленные 0-int переменные*; фиксацию подать на вход решателя.

Процедура поиска оказалась чувствительной к параметру `autorestartnodes`. Графическая интерпретация результатов вычислительных экспериментов с разверткой процедуры поиска верхней границы решения во времени приведена на рис. 11, 12, 13 и 14.

Позже описанную процедуру удалось упростить и свести к следующей *метаконфигурации* FZBIVSUNPB (Fixed Zero Binary and Integer Variables, Suppress Useless Heuristics, Prefer Binary):

1. Подавить подгруппу первичных эвристик низкой эффективности,
2. При разрешении конфликтов и ветвлении отдавать предпочтение *бинарным* переменным,
3. Зафиксировать *нулевые бинарные 0-bin и нулевые целочисленные 0-int переменные* в релаксированном решении (см. раздел 4.1).

Конфигурация решателя SCIP для всех сценариев группы ИКП (с бинарными переменными) имеет вид

scip.set. Сценарии группы ИКП с бинарными переменными

```
# критерии останова и перезапуска
limits/time = 7200
limits/autorestartnodes = -1
limits/gap = 0.02 # решение останавливается при зазоре <= 2%

# управление стратегиями анализа конфликтов и ветвления
conflict/preferbinary = True
branching/preferbinary = True

# подавление подгруппы первичных эвристик низкой эффективности
heuristics/farkasdiving/freq = -1
heuristics/feaspump/freq = -1
heuristics/randrounding/freq = -1
heuristics/shiftandpropagate/freq = -1
heuristics/shifting/freq = -1
```

Все эксперименты проводились на виртуальной машине Linux (Centos 7) Intel Core™ i7 (8 CPUs), 3.6GHz, RAM 16Gb.

Сводка результатов вычислительных экспериментов доступна по ссылке <https://docs.google.com/document/d/1V9fZLT9cXkbVQ5BvMCwzKrAiASZ2v4-01Z68jVBZUBU/edit?usp=sharing>.

Кодовая база решения доступна по ссылке https://gitdp.zyfra.com/ds_and_math_users/ml-dl-in-operations-reaseearches.git

⁶К сожалению, на сценариях группы ИКП с бинарными переменными решателю SCIP не удастся найти решение в корне дерева

5.2.1. Сценарий A78CBEAD с бинарными переменными

Статистика

Общее количество переменных: 797818

Количество целочисленных переменных: 180160

Количество бинарных переменных: 2418

Количество ограничений: 663175

lp-файл: <https://disk.yandex.ru/d/JbT3KR5Yi1ZomQ>

Анализ решения

Пул решений задачи был найден с помощью следующих первичных эвристик:

- DISTRIBUTIOINDIVING,
- ONEOPT,
- GINS.

Фрагмент лога сессии SCIP

```
...
time | node | left | LP iter|LP it/n|mem/heur|mdpt |vars |cons |rows |cuts |sepa|confs|strbr|
      |      |      | primalbound | gap | compl.
d1790s| 1881 | 1668 | 1010k| 296.9 |distrib| 93 | 50k| 43k| 43k| 0 | 1 | 385 |3585 |
      |      |      | 3.757279e+10 | 3.894342e+10 | 3.65%| 7.70%
d1790s| 1881 | 1668 | 1010k| 296.9 |distrib| 93 | 50k| 43k| 43k| 0 | 1 | 385 |3585 |
      |      |      | 3.757279e+10 | 3.894341e+10 | 3.65%| 7.70%
i1792s| 1882 | 1667 | 1011k| 297.0 | oneopt| 93 | 50k| 43k| 43k|8612 | 0 | 385 |3585 |
      |      |      | 3.757279e+10 | 3.893993e+10 | 3.64%| 7.70%
1796s| 1900 | 1687 | 1016k| 297.0 | 3669M | 93 | 50k| 43k| 43k|8644 | 1 | 387 |3585 |
      |      |      | 3.757279e+10 | 3.893993e+10 | 3.64%| 2.82%
L1902s| 1982 | 1769 | 1090k| 313.4 | gins| 93 | 50k| 43k| 43k|8935 | 1 | 398 |3590 |
      |      |      | 3.757279e+10 | 3.875897e+10 | 3.16%| 2.83%
L1912s| 1982 | 1769 | 1090k| 313.4 | gins| 93 | 50k| 43k| 43k|8935 | 1 | 398 |3590 |
      |      |      | 3.757279e+10 | 3.864257e+10 | 2.85%| 2.83%
i1920s| 1982 | 1769 | 1099k| 316.2 | oneopt| 93 | 50k| 43k| 43k|8935 | 1 | 398 |3590 |
      |      |      | 3.757279e+10 | 3.864241e+10 | 2.85%| 2.83%
1954s| 2000 | 1787 | 1133k| 325.5 | 3731M | 93 | 50k| 43k| 43k|9004 | 1 | 398 |3591 |
      |      |      | 3.757279e+10 | 3.864241e+10 | 2.85%| 2.83%
```

Файл решения задачи доступен по ссылке <https://disk.yandex.ru/d/6FPE-S5VupA6iw>

Файл статистической сводки доступен по ссылке <https://disk.yandex.ru/d/9G-v54ywEK1TJA>

Вывод по сценарию: описанная выше метаконфигурация приводит к решению задачи, которое оказывается по отношению к результату на доменно-ориентированных эвристиках для последнего решения из пула допустимых целочисленных решений на 2.46% лучше в смысле целевой функции и на 19.64% – в смысле временных издержек (табл. 1).

В табл. 1 через SCIP+MC (a) обозначается решение, построенное на метаконфигурации SCIP, отвечающее *первому* допустимому целочисленному решению, верхняя граница которого не превышает верхнюю границу решения на доменно-ориентированных эвристиках, а через SCIP+MC (b) – решение, отвечающее *последнему* допустимому целочисленному решению в наборе полученных.

Синим цветом обозначен выигрыш в процентах.

Таблица 1. Сводка результатов анализа эффективности метаконфигурации FZBIVSUNPB. Сценарий a78cbead с бинарными переменными

| Способ | Полное время рас- чета, мин | Верхняя граница решения, $\times 10^{10}$ |
|-------------|--------------------------------|----------------------------------------------|
| CBC+DOH | 39.82 | 3.961502 |
| SCIP+MC (a) | 29.83 +25.09% | 3.894342 +1.70% |
| SCIP+MC (b) | 32.00 +19.64% | 3.864241 +2.46% |

5.2.2. Сценарий 7FAC4231 с бинарными переменными

Статистика

Общее количество переменных: 740251

Количество целочисленных переменных: 147789

Количество бинарных переменных: 2666

Количество ограничений: 545350

Ир-файл: <https://disk.yandex.ru/d/3NbbjfLW5zhejQ>

Анализ решения

Пул решений задачи был найден с помощью следующих первичных эвристик:

- INTSHIFTING,
- ONEOPT,
- GINS,
- CROSSOVER,
- ALNS.

Фрагмент лога сессии SCIP

| time | node | left | LP iter | LP it/n | mem/heur | mdpt | vars | cons | rows | cuts | sepa | confs | strbr |
|-----------|--------------|--------------|---------|---------|----------|--------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| dualbound | | primalbound | | gap | | compl. | | | | | | | |
| r 454s | 372 | 341 | 91171 | 102.3 | intshift | 309 | 41k | 33k | 34k | 2788 | 5 | 57 | 3711 |
| | 1.053077e+10 | 1.309195e+10 | 24.32% | 0.78% | | | | | | | | | |
| i 454s | 373 | 340 | 91171 | 102.0 | oneopt | 309 | 41k | 33k | 34k | 2788 | 0 | 57 | 3711 |
| | 1.053077e+10 | 1.308634e+10 | 24.27% | 0.78% | | | | | | | | | |
| 463s | 400 | 369 | 93623 | 101.3 | 2493M | 309 | 41k | 33k | 34k | 2950 | 1 | 57 | 3761 |
| | 1.053077e+10 | 1.308634e+10 | 24.27% | 0.29% | | | | | | | | | |
| L 507s | 473 | 442 | 106991 | 113.9 | gins | 309 | 41k | 33k | 34k | 3084 | 1 | 57 | 3813 |
| | 1.053077e+10 | 1.297515e+10 | 23.21% | 0.29% | | | | | | | | | |
| L 512s | 473 | 442 | 106991 | 113.9 | gins | 309 | 41k | 33k | 34k | 3084 | 1 | 57 | 3813 |
| | 1.053077e+10 | 1.292548e+10 | 22.74% | 0.29% | | | | | | | | | |
| L 522s | 473 | 442 | 106991 | 113.9 | gins | 309 | 41k | 33k | 34k | 3084 | 1 | 57 | 3813 |
| | 1.053077e+10 | 1.289283e+10 | 22.43% | 0.29% | | | | | | | | | |
| L 525s | 473 | 442 | 106991 | 113.9 | gins | 309 | 41k | 33k | 34k | 3084 | 1 | 57 | 3813 |
| | 1.053077e+10 | 1.286340e+10 | 22.15% | 0.29% | | | | | | | | | |
| i 529s | 473 | 442 | 112279 | 125.1 | oneopt | 309 | 41k | 33k | 34k | 3084 | 1 | 57 | 3813 |
| | 1.053077e+10 | 1.285668e+10 | 22.09% | 0.29% | | | | | | | | | |
| r 531s | 474 | 443 | 120630 | 142.5 | intshift | 309 | 41k | 33k | 34k | 3084 | 1 | 58 | 3813 |
| | 1.053077e+10 | 1.197786e+10 | 13.74% | 0.29% | | | | | | | | | |
| i 532s | 474 | 373 | 124926 | 151.6 | oneopt | 309 | 41k | 33k | 34k | 3084 | 1 | 58 | 3813 |
| | 1.053077e+10 | 1.197230e+10 | 13.69% | 0.29% | | | | | | | | | |
| 536s | 500 | 399 | 126496 | 146.9 | 2579M | 309 | 41k | 33k | 34k | 3181 | 1 | 58 | 3822 |
| | 1.053077e+10 | 1.197230e+10 | 13.69% | 0.29% | | | | | | | | | |
| 567s | 600 | 499 | 158520 | 175.8 | 2613M | 309 | 41k | 33k | 34k | 3641 | 1 | 60 | 3933 |
| | 1.053095e+10 | 1.197230e+10 | 13.69% | 0.29% | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------------|--------------|--------|----------|-----|-----|-----|----------|---|----------|
| L 739s | 659 | 554 189783 | 207.6 | gins | 309 | 41k | 33k | 34k 4060 | 1 | 62 3978 |
| | 1.053095e+10 | 1.191898e+10 | 13.18% | 0.29% | | | | | | |
| i 741s | 660 | 555 198453 | 220.4 | oneopt | 309 | 41k | 33k | 34k 4060 | 1 | 62 3981 |
| | 1.053095e+10 | 1.191889e+10 | 13.18% | 0.30% | | | | | | |
| 794s | 700 | 595 236166 | 261.7 | 2689M | 309 | 41k | 33k | 34k 4418 | 1 | 62 4010 |
| | 1.053095e+10 | 1.191889e+10 | 13.18% | 0.32% | | | | | | |
| 836s | 800 | 695 277232 | 280.4 | 2728M | 309 | 41k | 33k | 34k 4757 | 1 | 64 4027 |
| | 1.053219e+10 | 1.191889e+10 | 13.17% | 0.32% | | | | | | |
| L 967s | 860 | 693 295017 | 281.5 | crossove | 309 | 41k | 33k | 34k 5000 | 1 | 64 4059 |
| | 1.053219e+10 | 1.154287e+10 | 9.60% | 0.32% | | | | | | |
| i 968s | 860 | 693 300734 | 288.1 | oneopt | 309 | 41k | 33k | 34k 5000 | 1 | 64 4059 |
| | 1.053219e+10 | 1.154284e+10 | 9.60% | 0.32% | | | | | | |
| 990s | 900 | 733 312921 | 288.9 | 2793M | 309 | 41k | 33k | 34k 5288 | 1 | 64 4139 |
| | 1.053219e+10 | 1.154284e+10 | 9.60% | 0.33% | | | | | | |
| 1042s | 1000 | 823 346085 | 293.2 | 2816M | 309 | 41k | 33k | 34k 5725 | 1 | 65 4281 |
| | 1.053219e+10 | 1.154284e+10 | 9.60% | 0.33% | | | | | | |
| L1083s | 1003 | 826 347173 | 293.4 | alns | 309 | 41k | 33k | 34k 5747 | 2 | 65 4284 |
| | 1.053219e+10 | 1.153273e+10 | 9.50% | 0.33% | | | | | | |
| i1084s | 1004 | 827 352908 | 298.8 | oneopt | 309 | 41k | 33k | 34k 5747 | 1 | 65 4284 |
| | 1.053219e+10 | 1.118743e+10 | 6.22% | 0.33% | | | | | | |
| 1113s | 1100 | 699 373504 | 291.4 | 2860M | 309 | 41k | 33k | 34k 6055 | 3 | 65 4323 |
| | 1.053219e+10 | 1.118743e+10 | 6.22% | 0.44% | | | | | | |
| 1140s | 1 | 0 419115 | - | 3039M | 0 | 41k | 34k | 34k 0 | 0 | 65 4323 |
| | 1.053219e+10 | 1.118743e+10 | 6.22% | unknown | | | | | | |

Файл решения задачи доступен по ссылке <https://disk.yandex.ru/d/TmA6hqFV87eGTg>

Файл статистической сводки доступен по ссылке https://disk.yandex.ru/d/CsGV_oal40Tx0Q

Вывод по сценарию: описанная выше метаконфигурация приводит к решению задачи, которое оказывается по отношению к результату на доменно-ориентированных эвристиках для последнего решения из пула допустимых целочисленных решений на 3.38% лучше в смысле целевой функции и на 33.07% – в смысле временных издержек (табл. 2).

В табл. 2 через SCIP+MC (a) обозначается решение, построенное на метаконфигурации SCIP, отвечающее *первому* допустимому целочисленному решению, верхняя граница которого не превышает верхнюю границу решения на доменно-ориентированных эвристиках, а через SCIP+MC (b) – решение, отвечающее *последнему* допустимому целочисленному решению в наборе полученных.

Синим цветом обозначен выигрыш в процентах.

Таблица 2. Сводка результатов анализа эффективности метаконфигурации FZBIVSUNPB. Сценарий 7fac4231 с бинарными переменными

| Способ | Полное время рас- чета, мин | Верхняя граница решения, $\times 10^{10}$ |
|-------------|--------------------------------|----------------------------------------------|
| CBC+DON | 27.00 | 1.157865 |
| SCIP+MC (a) | 18.05 +33.15% | 1.153273 +0.40% |
| SCIP+MC (b) | 18.07 +33.07% | 1.118743 +3.38% |

5.2.3. Сценарий 50197DF7 с бинарными переменными

Статистика

Общее количество переменных: 720954

Количество целочисленных переменных: 159332

Количество бинарных переменных: 2490

Количество ограничений: 600777

lp-файл: <https://disk.yandex.ru/d/qWeSKb2WEs6kQA>

Анализ решения

Пул решений задачи был найден с помощью следующих первичных эвристик:

- INTSHIFTING,
- ONEOPT,
- GINS.

Фрагмент лога сессии SCIP

```
...
time | node | left | LP iter|LP it/n|mem/heur|mdpt |vars |cons |rows |cuts |sepa|confs|strbr|
      dualbound | primalbound | gap | compl.
r 836s| 963 | 948 |155676 | 53.5 |intshift| 409 | 41k| 34k| 35k|4367 | 1 | 69 |7354 |
      3.554610e+10 | 3.676991e+10 | 3.44%| unknown
i 836s| 964 | 947 |155676 | 53.5 | oneopt| 409 | 41k| 34k| 35k|4367 | 0 | 69 |7354 |
      3.554610e+10 | 3.676497e+10 | 3.43%| unknown
846s| 1000 | 985 |157559 | 53.4 | 2577M | 409 | 41k| 34k| 35k|4396 | 1 | 69 |7444 |
      3.554610e+10 | 3.676497e+10 | 3.43%| unknown
L 885s| 1064 | 1049 |157869 | 50.5 | gins| 409 | 41k| 34k| 35k|4397 | 1 | 69 |7484 |
      3.554610e+10 | 3.659894e+10 | 2.96%| unknown
L 931s| 1064 | 1049 |157869 | 50.5 | gins| 409 | 41k| 34k| 35k|4397 | 1 | 69 |7484 |
      3.554610e+10 | 3.656967e+10 | 2.88%| unknown
i 962s| 1064 | 1049 |161589 | 54.0 | oneopt| 409 | 41k| 34k| 35k|4397 | 1 | 69 |7484 |
      3.554610e+10 | 3.656967e+10 | 2.88%| unknown
969s| 1100 | 1085 |161769 | 52.4 | 2620M | 409 | 41k| 34k| 35k|4397 | 1 | 69 |7532 |
      3.554610e+10 | 3.656967e+10 | 2.88%| unknown
L 988s| 1164 | 1149 |161992 | 49.7 | gins| 409 | 41k| 34k| 35k|4397 | 1 | 69 |7557 |
      3.554610e+10 | 3.630031e+10 | 2.12%| unknown
L 993s| 1164 | 1149 |161992 | 49.7 | gins| 409 | 41k| 34k| 35k|4397 | 1 | 69 |7557 |
      3.554610e+10 | 3.625804e+10 | 2.00%| unknown
L1000s| 1164 | 1149 |161992 | 49.7 | gins| 409 | 41k| 34k| 35k|4397 | 1 | 69 |7557 |
      3.554610e+10 | 3.623675e+10 | 1.94%| unknown
```

Файл решения задачи доступен по ссылке https://disk.yandex.ru/d/2_FDqS70q0UBqA

Файл статистической сводки доступен по ссылке <https://disk.yandex.ru/d/SkRLoRYzQDI-Aw>

Вывод по сценарию: описанная выше метаконфигурация приводит к решению задачи, которое оказывается по отношению к результату на доменно-ориентированных эвристиках для последнего решения из пула допустимых целочисленных решений на 2.87% лучше в смысле целевой функции и на 36.08% – в смысле временных издержек (табл. 3).

В табл. 3 через SCIP+MC (a) обозначается решение, построенное на метаконфигурации SCIP, отвечающее *первому* допустимому целочисленному решению, верхняя граница которого не превышает верхнюю границу решения на доменно-ориентированных эвристиках, а через SCIP+MC (b) – решение, отвечающее *последнему* допустимому целочисленному решению в наборе полученных.

Синим цветом обозначен выигрыш в процентах.

5.2.4. Сценарий F398266B с бинарными переменными

Статистика

Общее количество переменных: 777271

Количество целочисленных переменных: 172449

Таблица 3. Сводка результатов анализа эффективности метаконфигурации FZBIVSUHPB. Сценарий 50197df7 с бинарными переменными

| Способ | Полное время рас- чета, мин | | Верхняя граница решения, $\times 10^{10}$ | |
|-------------|--------------------------------|---------|----------------------------------------------|--------|
| CBC+DOH | 28.27 | | 3.730552 | |
| SCIP+MC (a) | 13.93 | +50.73% | 3.676991 | +1.44% |
| SCIP+MC (b) | 18.07 | +36.08% | 3.623675 | +2.87% |

Количество бинарных переменных: 2370

Количество ограничений: 655003

lp-файл: <https://disk.yandex.ru/d/4YFYJSB1I1wsmQ>

Анализ решения

Пул решений задачи был найден с помощью следующих первичных эвристик:

- DISTRIBUTIONDIVING,
- ONEOPT,
- Crossover.

Фрагмент лога сессии SCIP

```
...
time | node | left | LP iter|LP it/n|mem/heur|mdpt |vars |cons |rows |cuts |sepa|confs|strbr|
      |       |      | primalbound | gap | compl.
d1163s| 433 | 434 | 462507 | 790.8 |distrib| 51 | 59k| 48k| 49k| 0 | 1 | 17 |1387 |
5.857793e+10 | 6.054807e+10 | 3.36%| unknown
d1164s| 433 | 434 | 462644 | 791.1 |distrib| 51 | 59k| 48k| 49k| 0 | 1 | 17 |1387 |
5.857793e+10 | 6.054779e+10 | 3.36%| unknown
d1164s| 433 | 434 | 462746 | 791.3 |distrib| 51 | 59k| 48k| 49k| 0 | 1 | 17 |1387 |
5.857793e+10 | 6.054778e+10 | 3.36%| unknown
d1164s| 433 | 434 | 462780 | 791.4 |distrib| 51 | 59k| 48k| 49k| 0 | 1 | 17 |1387 |
5.857793e+10 | 6.054776e+10 | 3.36%| unknown
d1164s| 433 | 434 | 462801 | 791.4 |distrib| 51 | 59k| 48k| 49k| 0 | 1 | 17 |1387 |
5.857793e+10 | 6.054776e+10 | 3.36%| unknown
d1165s| 433 | 434 | 462836 | 791.5 |distrib| 51 | 59k| 48k| 49k| 0 | 1 | 17 |1387 |
5.857793e+10 | 6.054776e+10 | 3.36%| unknown
d1165s| 433 | 434 | 462856 | 791.6 |distrib| 51 | 59k| 48k| 49k| 0 | 1 | 17 |1387 |
5.857793e+10 | 6.054774e+10 | 3.36%| unknown
i1167s| 434 | 433 | 463020 | 790.1 | oneopt| 51 | 59k| 48k| 49k|4333 | 0 | 17 |1387 |
5.857793e+10 | 6.053918e+10 | 3.35%| unknown
1250s| 500 | 501 | 531180 | 822.2 | 3321M | 51 | 59k| 48k| 49k|4529 | 1 | 26 |1402 |
5.857793e+10 | 6.053918e+10 | 3.35%| unknown
1579s| 600 | 601 | 663342 | 905.6 | 3398M | 51 | 59k| 48k| 49k|5175 | 1 | 36 |1426 |
5.857932e+10 | 6.053918e+10 | 3.35%| unknown
L1892s| 634 | 635 | 704819 | 922.5 |crossove| 55 | 59k| 48k| 49k|5448 | 2 | 41 |1433 |
5.858028e+10 | 6.021605e+10 | 2.79%| unknown
i1895s| 634 | 635 | 715376 | 939.1 | oneopt| 55 | 59k| 48k| 49k|5448 | 2 | 41 |1433 |
5.858028e+10 | 6.021603e+10 | 2.79%| unknown
1952s| 700 | 701 | 770566 | 929.4 | 3457M | 63 | 59k| 48k| 49k|5644 | 1 | 50 |1442 |
5.858050e+10 | 6.021603e+10 | 2.79%| unknown
2095s| 800 | 801 | 879949 | 950.0 | 3489M | 65 | 59k| 48k| 49k|5964 | 1 | 62 |1476 |
5.858065e+10 | 6.021603e+10 | 2.79%| unknown
```

Файл решения задачи доступен по ссылке <https://disk.yandex.ru/d/KXzdrUx6TZbXEw>

Файл статистической сводки доступен по ссылке <https://disk.yandex.ru/d/FEroaFsr5zbkjA>

Вывод по сценарию: описанная выше метаконфигурация приводит к решению задачи, которое оказывается по отношению к результату на доменно-ориентированных эвристиках для последнего решения из пула допустимых целочисленных решений на 0.97% лучше в смысле целевой функции и на 56.24% – в смысле временных издержек (табл. 4).

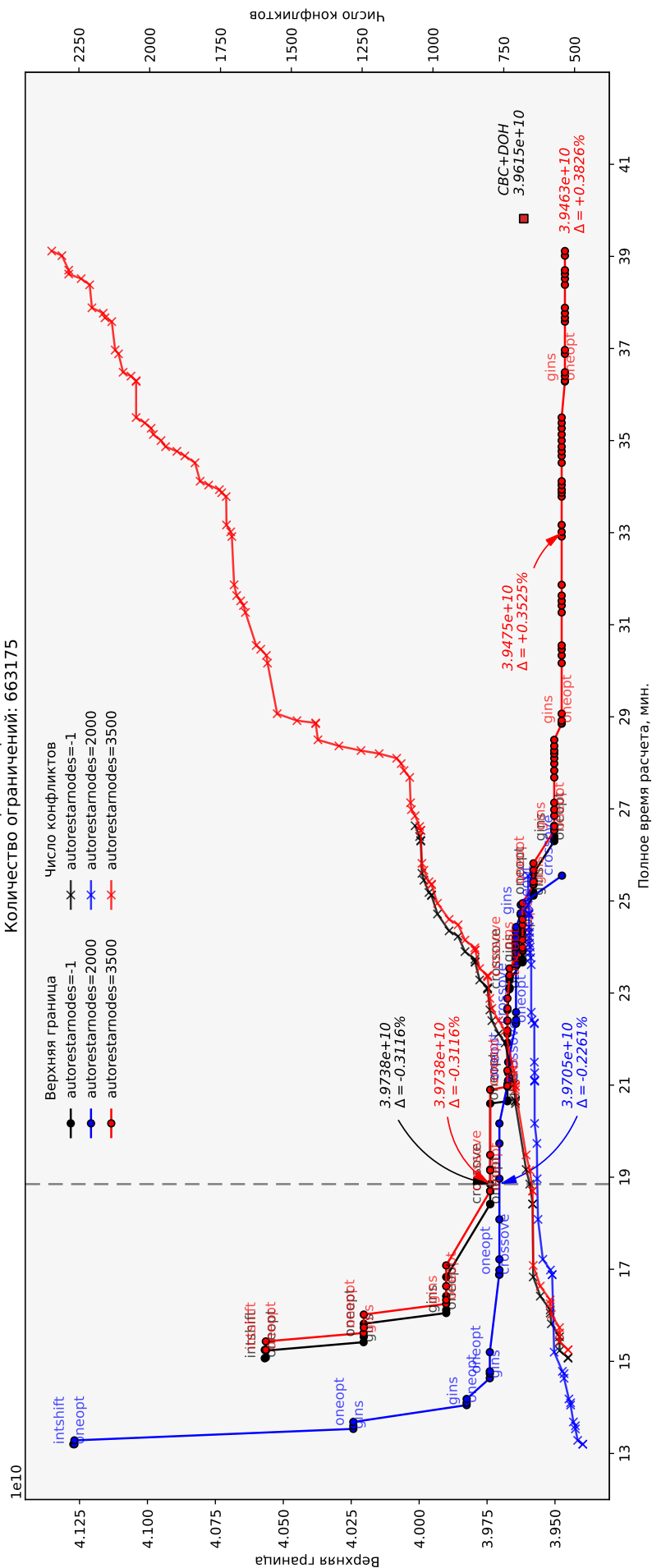
В табл. 4 через SCIP+MC (a) обозначается решение, построенное на метаконфигурации SCIP, отвечающее *первому* допустимому целочисленному решению, верхняя граница которого не превышает верхнюю границу решения на доменно-ориентированных эвристиках, а через SCIP+MC (b) – решение, отвечающее *последнему* допустимому целочисленному решению в наборе полученных.

Синим цветом обозначен выигрыш в процентах.

Таблица 4. Сводка результатов анализа эффективности метаконфигурации FZBIVSUHPB. Сценарий f398266b с бинарными переменными

| Способ | Полное время рас- чета, мин | | Верхняя граница решения, $\times 10^{10}$ | |
|-------------|--------------------------------|---------|----------------------------------------------|--------|
| CBC+DOH | 72.17 | | 6.080841 | |
| SCIP+MC (a) | 19.38 | +73.15% | 6.054807 | +0.43% |
| SCIP+MC (b) | 31.58 | +56.24% | 6.021603 | +0.97% |

Рис. 11. Динамика изменения верхней границы решения и числа конфликтов во времени в зависимости от значения параметра `autorestartnodes`. Сценарий `input_a78bead`. Первая и вторая фазы поиска решения



Верхняя граница

- CBC+DOH
- autorestartnodes=-1
- autorestartnodes=500
- autorestartnodes=600
- autorestartnodes=1000

Число конфликтов

- autorestartnodes=-1
- autorestartnodes=500
- autorestartnodes=600
- autorestartnodes=1000

Полное время расчета, мин.

Количество ограничений: 663175

Annotations:

- $3.9615e+10$
- $3.8282e+10 \Delta = +3.366\%$
- $3.8321e+10 \Delta = +3.267\%$
- $3.8279e+10 \Delta = +3.371\%$
- $3.8205e+10 \Delta = +3.558\%$

Рис. 12. Динамика изменения верхней границы решения и числа конфликтов во времени в зависимости от значения параметра `autorestartnodes`. Сценарий `a78cbead`. Третья фаза поиска решения

Количество ограничений: 600777

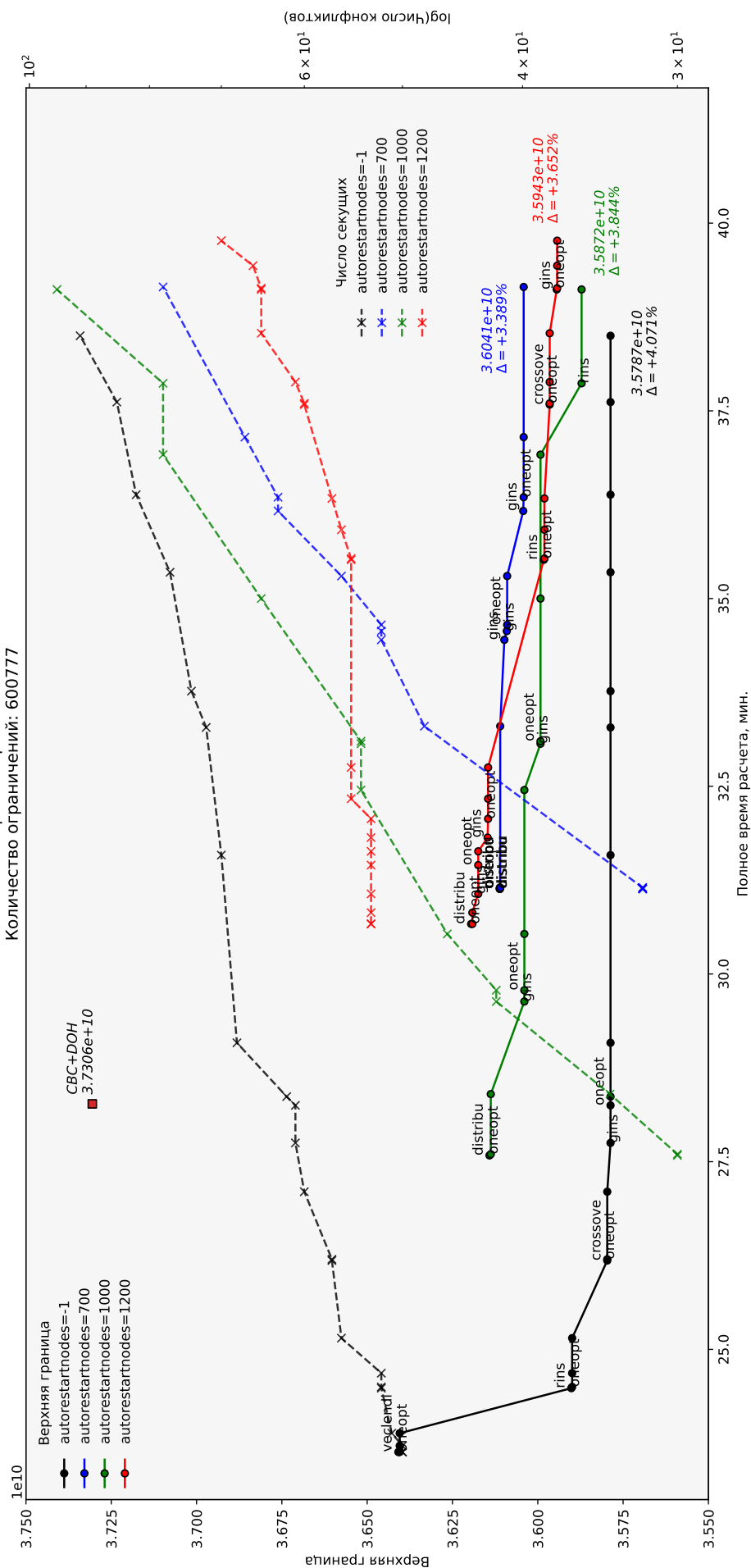


Рис. 13. Динамика изменения верхней границы решения и числа конфликтов во времени в зависимости от значения параметра `autorestartnodes`. Сценарий 50197df7. Третья фаза поиска решения

Количество ограничений: 545350



6. Описание вычислительных экспериментов на сценариях группы МВО
7. Описание вычислительных экспериментов на сценариях MIPLIB 2017

Список иллюстраций

| | | |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | Зависимость верхней границы решения от доли бинарных переменных, выставленных в ноль. Сценарий <code>a78cbead</code> | 6 |
| 2 | Зависимость верхней границы решения от доли бинарных переменных, выставленных в ноль. Сценарий <code>337</code> | 6 |
| 3 | Сводка результатов анализа эффективности метаконфигурации <code>SUN</code> . Сценарий <code>f398266b</code> без бинарных переменных | 8 |
| 4 | Сводка результатов анализа эффективности метаконфигурации <code>SUN</code> . Сценарий <code>50197df7</code> без бинарных переменных | 9 |
| 5 | Сводка результатов анализа эффективности метаконфигурации <code>SUN</code> . Сценарий <code>7fac4231</code> без бинарных переменных | 10 |
| 6 | Сводка результатов анализа эффективности метаконфигурации <code>SUN</code> . Сценарий <code>ca485a55</code> без бинарных переменных | 11 |
| 7 | Сводка результатов анализа эффективности метаконфигурации <code>SUN</code> . Сценарий <code>276</code> без бинарных переменных | 12 |
| 8 | Сводка результатов анализа эффективности метаконфигурации <code>SUN</code> . Сценарий <code>337</code> без бинарных переменных | 13 |
| 9 | Сводка результатов анализа эффективности метаконфигурации <code>SUN</code> . Сценарий <code>13d686ab</code> без бинарных переменных | 13 |
| 10 | Сводка результатов анализа эффективности метаконфигурации <code>SUN</code> . Сценарий <code>a78cbead</code> без бинарных переменных | 14 |
| 11 | Динамика изменения верхней границы решения и числа конфликтов во времени в зависимости от значения параметра <code>autorestartnodes</code> . Сценарий <code>input_a78cbead</code> . Первая и вторая фазы поиска решения | 22 |
| 12 | Динамика изменения верхней границы решения и числа конфликтов во времени в зависимости от значения параметра <code>autorestartnodes</code> . Сценарий <code>a78cbead</code> . Третья фаза поиска решения | 23 |
| 13 | Динамика изменения верхней границы решения и числа конфликтов во времени в зависимости от значения параметра <code>autorestartnodes</code> . Сценарий <code>50197df7</code> . Третья фаза поиска решения | 24 |
| 14 | Динамика изменения верхней границы решения и числа конфликтов во времени в зависимости от значения параметра <code>autorestartnodes</code> . Сценарий <code>7fac4231</code> . Третья фаза поиска решения | 25 |

Список таблиц

| | | |
|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | Сводка результатов анализа эффективности метаконфигурации <code>FZBIVSUNPB</code> . Сценарий <code>a78cbead</code> с бинарными переменными | 17 |
| 2 | Сводка результатов анализа эффективности метаконфигурации <code>FZBIVSUNPB</code> . Сценарий <code>7fac4231</code> с бинарными переменными | 18 |
| 3 | Сводка результатов анализа эффективности метаконфигурации <code>FZBIVSUNPB</code> . Сценарий <code>50197df7</code> с бинарными переменными | 20 |
| 4 | Сводка результатов анализа эффективности метаконфигурации <code>FZBIVSUNPB</code> . Сценарий <code>f398266b</code> с бинарными переменными | 21 |

Список литературы

1. *Иванов* Конспект по обучению с подкреплением, 2022