

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	3
4.3	Прием подбора порога бинаризации для бинарных переменных в релаксированном решении	4
5	Описание вычислительных экспериментов на сценариях группы ИКП	6
5.1	Общие замечания по процедуре поиска решения на сценариях без бинарных переменных	6
5.2	Общие замечания по процедуре поиска решения на сценариях с бинарными переменными	6
5.2.1	Сценарий A78CBEAD с бинарными переменными	8
5.2.2	Сценарий 7FAC4231 с бинарными переменными	9
5.2.3	Сценарий 50197DF7 с бинарными переменными	10
5.2.4	Сценарий F398266B с бинарными переменными	11
6	Описание вычислительных экспериментов на сценариях группы MBO	18
7	Описание вычислительных экспериментов на сценариях MIPLIB 2017	18
	Список иллюстраций	19
	Список таблиц	19
	Список литературы	19

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
- 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 Ecole 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

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

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

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

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

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

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

```

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 pysciptopt

model = pysciptopt.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

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()`

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 $\{r x_k^{(b)}\}_{k=1,\dots}$ интерпретировать как *степень уверенности* решателя в том, что рассматриваемую бинарную переменную можно выставить в единицу.

Если значение k -ой бинарной переменной $r x_k^{(b)}$ 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 остановится 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 $f_\theta(\delta_{b_0}, \delta_{b_1})$.

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).

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.

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

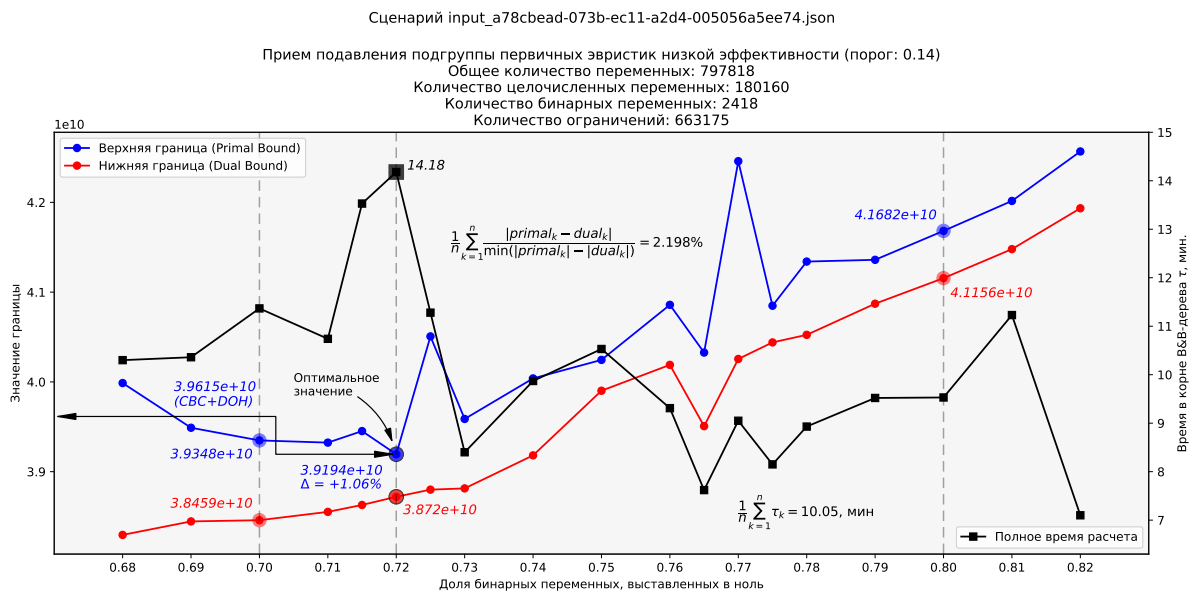


Рис. 1. Зависимость верхней границы решения от доли бинарных переменных, выставленных в ноль. Сценарий a78cbead

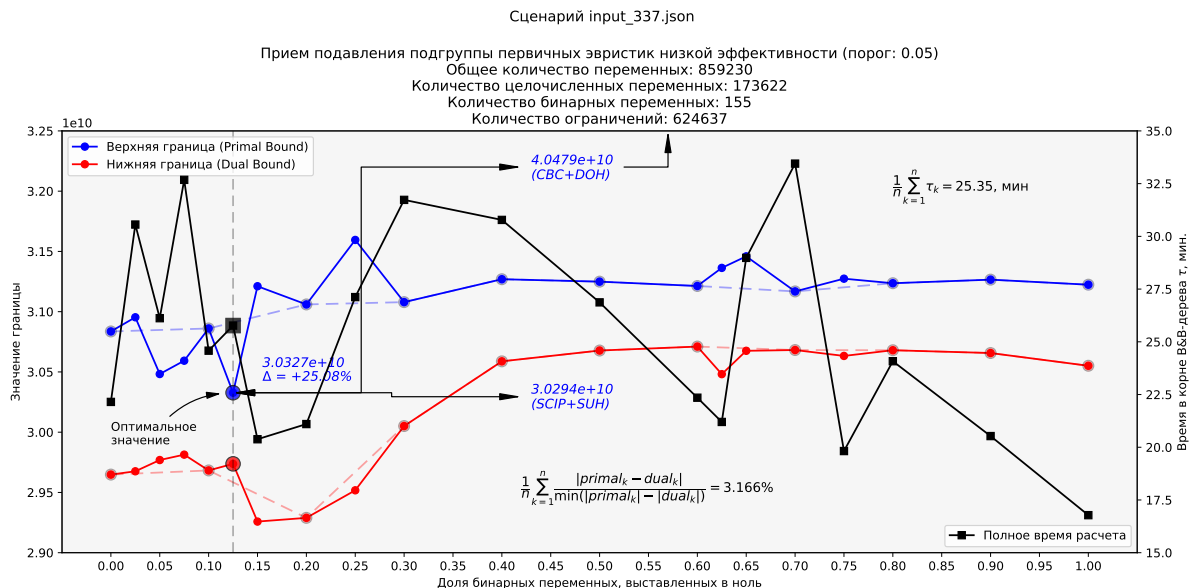


Рис. 2. Зависимость верхней границы решения от доли бинарных переменных, выставленных в ноль. Сценарий 337

5. Описание вычислительных экспериментов на сценариях группы ИКП

5.1. Общие замечания по процедуре поиска решения на сценариях 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 ветвлении⁵ 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.

Описанная процедура поиска оказалась чувствительной к параметру `autorestartnodes`. Графическая интерпретация результатов вычислительных экспериментов с разверткой процедуры поиска верхней границы решения во времени приведена на рис. 3, 4, 5 и 6.

Позже описанную процедуру удалось упростить и свести к следующей *метаконфигурации*⁶ 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 имеет вид

scip.set

```
# 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://github.com/LeorFinkelberg/research_tool_wrapper SCIP.git

⁵К сожалению, на сценариях группы ИКП с бинарными переменными решателю SCIP не удастся найти решение в корне дерева

⁶Под метаконфигурацией понимается конфигурация решателя и набор эвристических приемов

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|
      dualbound | 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 FZBIVSUHPB. 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|
dualbound | 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).

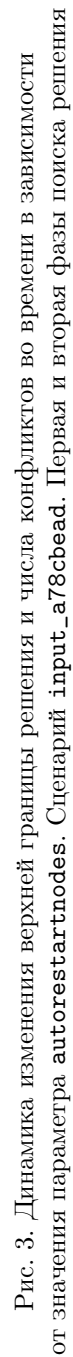
В табл. 4 через SCIP+MC (a) обозначается решение, построенное на метаконфигурации SCIP, отвечающее *первому* допустимому целочисленному решению, верхняя граница которого не превышает верхнюю границу решения на доменно-ориентированных эвристиках, а через SCIP+MC (b) – решение, отвечающее *последнему*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

Количество ограничений: 663175



Сценарий input_a78cbead-073b-ec11-a2d4-005056a5ee74.json (3-ья фаза поиска решения)

Порог бинаризации: 0.14, релаксированное решение: SORT

Общее количество переменных: 797818

Количество целочисленных переменных: 180160

Количество бинарных переменных: 2418

Количество ограничений: 663175

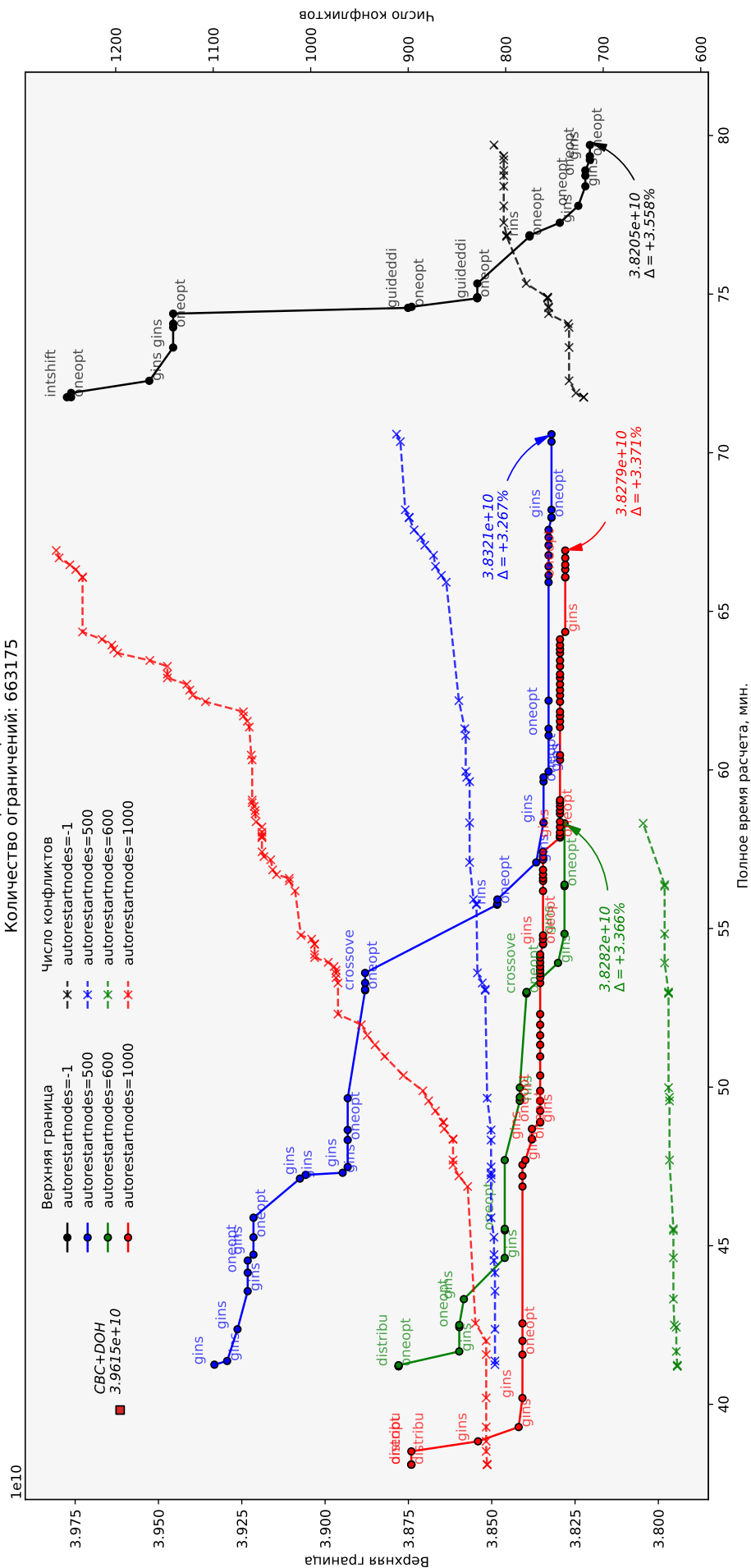
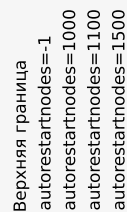


Рис. 4. Динамика изменения верхней границы решения и числа конфликтов во времени в зависимости от значения параметра autorestartnodes. Сценарий a78cbead. Третья фаза поиска решения

[illegible]

Количество ограничений: 545350



Стр. 17 из 19

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	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	14
4	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	15
5	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	16
6	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	17

Список таблиц

1	Сводка результатов анализа эффективности метаконфигурации FZBIVSUNPB. Сценарий <code>a78cbead</code> с бинарными переменными	9
2	Сводка результатов анализа эффективности метаконфигурации FZBIVSUNPB. Сценарий <code>7fac4231</code> с бинарными переменными	10
3	Сводка результатов анализа эффективности метаконфигурации FZBIVSUNPB. Сценарий <code>50197df7</code> с бинарными переменными	12
4	Сводка результатов анализа эффективности метаконфигурации FZBIVSUNPB. Сценарий <code>f398266b</code> с бинарными переменными	13

Список литературы

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