НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

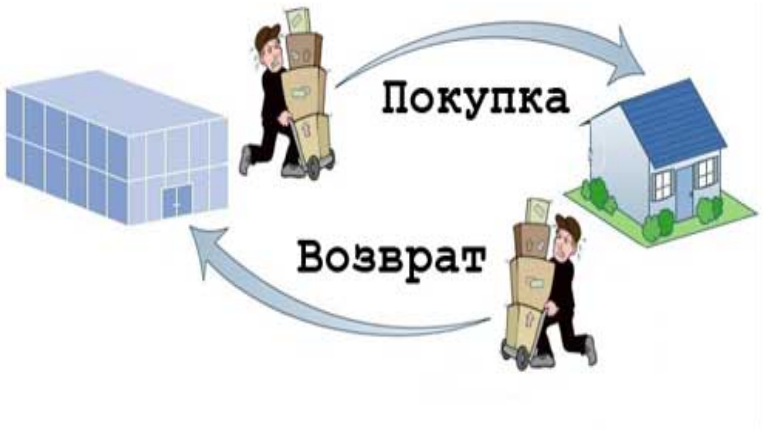
Задача поиска оптимального плана доставки продукции торгового предприятия (на примере ООО «Фабрика еды»)

Научный руководитель: Чадов Алексей Леонидович

Выполнил: Кашин Дмитрий Викторович, Э-12-2

Исследовательский вопрос

Возможно ли найти оптимальный план доставки продукции, минимизирующий транспортные расходы торговой фирмы?



Структура презентации

1. Экономико-математическая модель
2. Обзор литературы
3. Данные и методология
4. Результаты и рекомендации

Характеристика предприятия

15 минут до центра г. Пермь;

Заявка принимается за день до отгрузки;

Два водителя работают с 11:00 до 20:00;

Минимальный временной интервал доставки – 30 минут;

Обслуживаются 40-60 контрагентов (рестораны и кафе г. Пермь) в день;

Водители в среднем не успевают к одному покупателю в неделю.

Задача коммивояжера vs Задача маршрутизации транспорта

$$\begin{cases} \sum_{i=0}^{n}\sum_{j=0}^{n} c_{ij}x_{ij} \to min; \\ \sum_{j=0}^{n} x_{ij} = 1, \forall i \in \{0,1,2,\dots,n\}; \\ \sum_{i=0}^{n} x_{ij} = 1, \forall j \in \{0,1,2,\dots,n\}; \\ u_i - u_j + n * x_{ij} \le n-1, \forall i,j \in \{1,2,3,\dots,n\}; \\ x_{ij} \ge 0, x_{ij} \in \{0,1\}, \forall (i,j) \in \{0,1,2,\dots,n\}; \\ u_i \in R^1, \forall i \in \{1,2,3,\dots,n\}. \end{cases}$$

$$\begin{cases} \sum_{k\in K}\sum_{(i,j)\in N} t_{ij}x_{ij}^{k} \to min; \\ \sum_{j=0}^{n} x_{ij}^{k} = 1, \forall i \in \{0,1,2,\dots,n\}, \forall k \in K; \\ \sum_{i=0}^{n} x_{ij}^{k} = 1, \forall j \in \{0,1,2,\dots,n\}, \forall k \in K; \\ u_i - u_j + n * x_{ij}^{k} \le n-1, \forall i,j \in \{1,2,3,\dots,n\}, \forall k \in K; \\ x_{ij}^{k} \ge 0, x_{ij}^{k} \in \{0,1\}, \forall (i,j) \in \{0,1,2,\dots,n\}, \forall k \in K; \\ u_i \in R^1, \forall i \in \{1,2,3,\dots,n\}. \end{cases}$$

Обзор литературы

Задача коммивояжера - TSP	Задача маршрутизации транспорта - VRP
1) Beardwood J., Halton J., (1955). The shortest path through many points, Proc. Cambridge Philos. Soc. 55, 299-327.	1) Solomon, M. M. (1987). Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints. *Operations Research, 35*, 254-265.
2) Kan, A.R., & Lenstra, J.K. (1975). Some simple applications of the travelling salesman problem, *Operations Research, 26*, 717-734.	2) Clarke, G., & Wright, J.W. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations Research, 12*, 568-581.
3) Lin, S. (1965). Computer solutions of the traveling salesman problem. *Bell System Technical Journal, 44*, 2245-2269.	3) Croes, G.A. (1958). A method for vehicle routing problems. *Computers & Operations Research, 6*, 791-812.
4) Fischetti, M. (1992). An additive bounding procedure for the asymmetric travelling salesman problem. *Mathematical Programming, 53*, 173-197.	4) Aarts, E., & Korst, J. (1988). A quantitative analysis of the simulated annealing algorithm: A case study for the traveling salesman problem, *Statistical Physics Journal, 50*, 189-206.

Данные

Дневные отгрузки продукции с момента когда в фирме появился 2 водитель – июль 2015 г.;

Асимметричная матрица расстояний и времени с учетом городской специфики (52*52 = 2704 ячейки);

Были обнародованы реальные маршруты водителей с помощью видеорегистратора и личного интервью.

Модифицированная ЗМТ (CVRPTW)

$$\begin{cases} \sum_{k\in K}\sum_{(i,j)\in N} t_{ij}x_{ij}^{k} \to min; & (13) \\ \sum_{i\in N} q_i \sum_{j\in N} x_{ij}^{k} \le q_{max}, \forall k \in K & (14) \\ \sum_{j=0}^{n} x_{ij}^{k} = 1, \forall i \in \{0,1,2,\dots,n\}, \forall k \in K; & (15) \\ \sum_{i=0}^{n} x_{ij}^{k} = 1, \forall j \in \{0,1,2,\dots,n\}, \forall k \in K; & (16) \\ u_i - u_j + n * x_{ij}^{k} \le n-1, \forall i,j \in \{1,2,3,\dots,n\}, \forall k \in K; & (17) \\ x_{ij}^{k} \ge 0, x_{ij}^{k} \in \{0,1\}, \forall (i,j) \in \{0,1,2,\dots,n\}, \forall k \in K; & (18) \\ u_i \in R^1, \forall i \in \{1,2,3,\dots,n\}; & (19) \\ a_i \le T_i \le b_i, \forall i \in \{1,2,3,\dots,n\}; & (20) \\ \left(T_j - T_i - t_{ij} - s_i\right) * x_{ij}^{k} \ge 0, \forall i \in \{1,2,3,\dots,n\}, \forall k \in K. & (21) \end{cases}$$

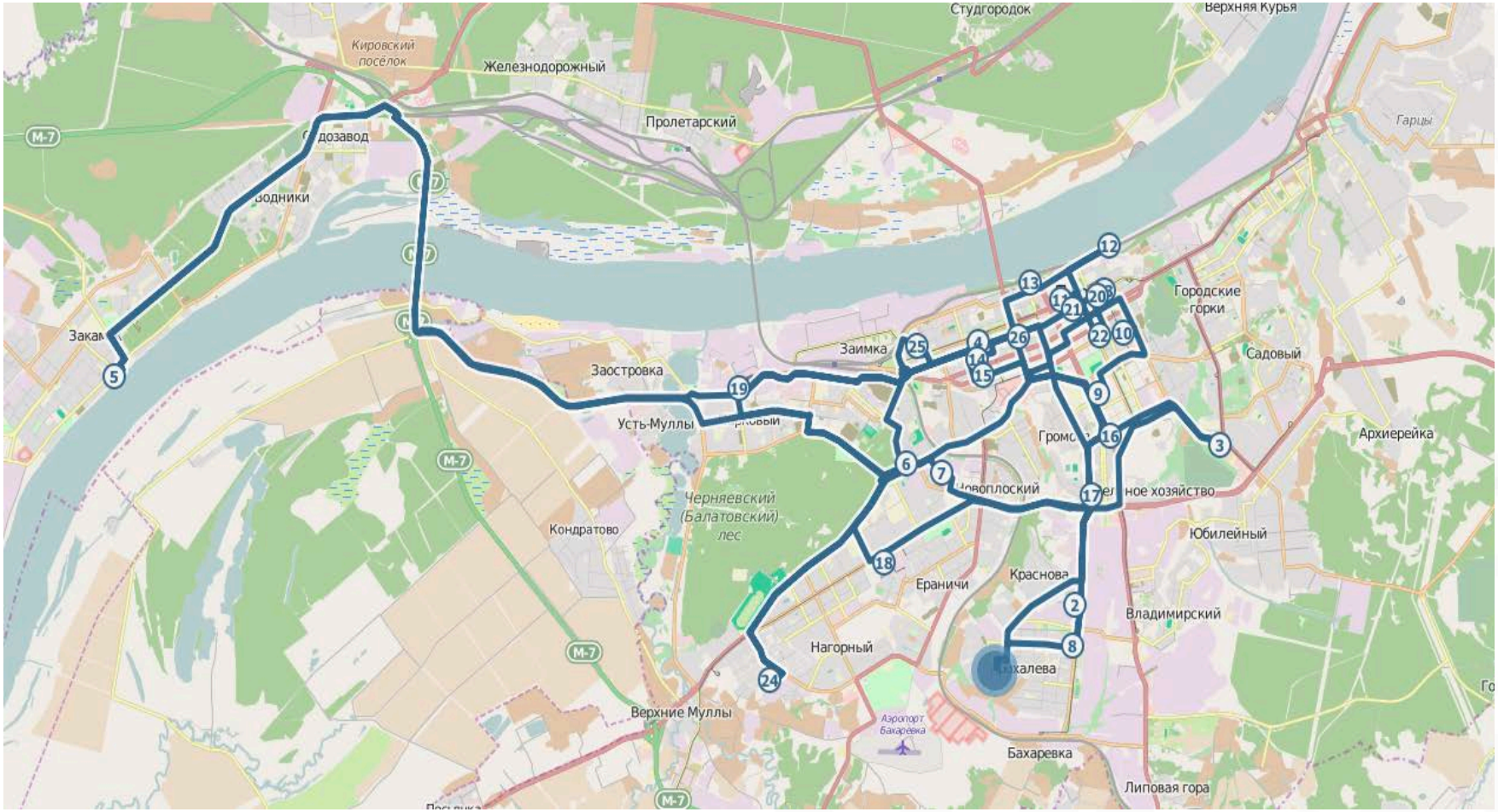
Фактический маршрут водителя № 1

№	Контрагент	Начало	Конец	Прибытие	Отбытие	Разгрузка	Простой	Опоздание
1	ООО «Фабрика еды»	-	-	11:00	11:00	-	-	-
2	Ресторан Нефертити	11:00	19:00	11:09	11:16	00:07	-	-
3	Кафе "Корица"	11:00	19:00	11:19	11:27	00:08	-	-
4	Ресторан "Горький"	11:30	12:00	11:32	11:36	00:04	-	-
5	ИП Ахметова Н.П.	11:00	12:00	11:56	12:04	00:08	-	-
6	Ресторан «Кама-Фиш»	12:00	12:30	12:23	12:29	00:06	-	-
7	ООО "ТД"	12:00	13:00	12:46	12:54	00:08	-	-
8	ООО "Веселый пекарь"	11:00	14:00	13:09	13:15	00:06	-	-
9	Ресторан "Пармезан"	12:30	15:30	13:23	13:31	00:08	-	-
10	ООО "Море рыбы"	12:00	16:00	13:38	13:44	00:06	-	-
11	Продуктовый магазин	12:00	16:00	13:54	14:03	00:09	-	-
12	Ресторан "Тсуру"	11:00	19:00	14:06	14:11	00:05	-	-
13	Ресторан «Casa Mia»	13:00	17:00	14:13	14:21	00:08	-	-
14	Кафе "Сковородка"	14:00	16:00	14:24	14:28	00:04	-	-
15	Бар "Лаундж"	11:00	19:00	14:30	14:35	00:05	-	-
16	Ресторан "Casa Mia"	11:00	20:00	14:40	14:43	00:03	-	-
17	Кафе "Кредо"	14:00	18:00	14:49	14:56	00:07	-	-
18	ООО "Гарант плюс"	15:00	16:30	14:59	15:02	00:03	-	-
19	ИП Кусакин А.В.	15:00	16:30	16:45	16:52	00:07	-	00:15
20	ТЦ "Евразия"	15:30	19:30	18:20	18:26	00:06	-	-
21	Продуктовый магазин	16:00	19:00	18:35	18:44	00:09	-	-
22	Столовая "Забава"	15:00	19:00	18:54	18:59	00:05	-	-
23	Пиццерия "Pizzaman"	17:00	19:30	19:02	19:05	00:03	-	-
24	ООО "Заполье"	17:00	19:30	19:12	19:17	00:05	-	-
25	ООО "Микс - Семья"	15:00	22:00	19:30	19:39	00:09	-	-
26	Продуктовый магазин	18:00	21:00	19:45	19:54	00:09	-	-
27	ООО "Компания ЦВР"	11:00	21:00	20:04	20:07	00:03	-	-
28	ООО «Фабрика еды»	-	-	20:14	20:14	-	-	00:14

Фактический маршрут водителя № 2

№	Контрагент	Начало	Конец	Прибытие	Отбытие	Разгрузка	Простой	Опоздание
1	ООО «Фабрика еды»	-	-	11:00	11:00	-	-	-
2	Столовая "Тарелка №1"	11:00	11:30	11:12	11:19	00:07	-	-
3	Столовая "Тарелка №2"	11:00	12:00	11:25	11:28	00:03	-	-
4	Столовая "Тарелочка"	11:00	12:00	11:37	11:45	00:08	-	-
5	Ресторан "Хуторок"	12:30	13:00	12:20	12:33	00:03	00:10	-
6	Кафе «Ритм»	11:00	19:00	13:03	13:09	00:06	-	-
7	ОАО «ЭР-Телеком»	12:30	13:30	13:11	13:14	00:03	-	-
8	Кафе "Паста Гранде"	12:00	13:30	13:19	13:28	00:09	-	-
9	ЗАО "Пермторгтехника"	13:00	14:00	13:34	13:39	00:05	-	-
10	Кафе "Правила"	11:00	14:00	13:48	13:51	00:03	-	-
11	ООО "Паритет"	14:00	15:00	13:55	14:05	00:05	00:05	-
12	Ресторан "Охотничий"	13:30	15:30	14:08	14:15	00:07	-	-
13	Ресторан "Сакартвело"	13:30	17:30	14:20	14:28	00:08	-	-
14	Ресторан "Халва"	14:00	20:00	14:35	14:43	00:08	-	-
15	Ресторан "Партизан"	13:30	18:30	14:47	14:50	00:03	-	-
16	ООО "Цертина"	15:00	16:00	14:57	15:07	00:07	00:03	-
17	ООО "Эверест"	14:00	17:00	15:11	15:18	00:07	-	-
18	ТЦ "Столица"	13:00	18:00	15:30	15:35	00:05	-	-
19	ООО "ПМП"	15:00	19:00	16:50	16:54	00:04	-	-
20	Ресторан "Сакартвело"	12:00	18:00	17:06	17:11	00:05	-	-
21	Ресторан "Халва"	15:00	19:00	17:15	17:23	00:07	-	-
22	ООО "Пушкин"	11:00	19:00	17:27	17:35	00:08	-	-
23	Продуктовый магазин	16:00	19:30	17:40	17:45	00:05	-	-
24	ООО "Федерал"	18:00	20:00	17:50	18:05	00:05	00:10	-
25	Кафе "Ударник"	11:00	19:00	18:16	18:22	00:06	-	-
26	Ресторан "Тсуру"	17:00	20:00	18:29	18:37	00:08	-	-
27	ООО «Фабрика еды»	-	-	18:50	18:50	-	-	-

Маршрут водителя № 2 (карта г. Пермь)



Методология

1) Решить задачу для одного водителя (нужен ли в действительности второй?)

2) Оптимизировать фактические маршруты водителей (Возможно ли улучшить реальные маршруты и избежать опозданий?)

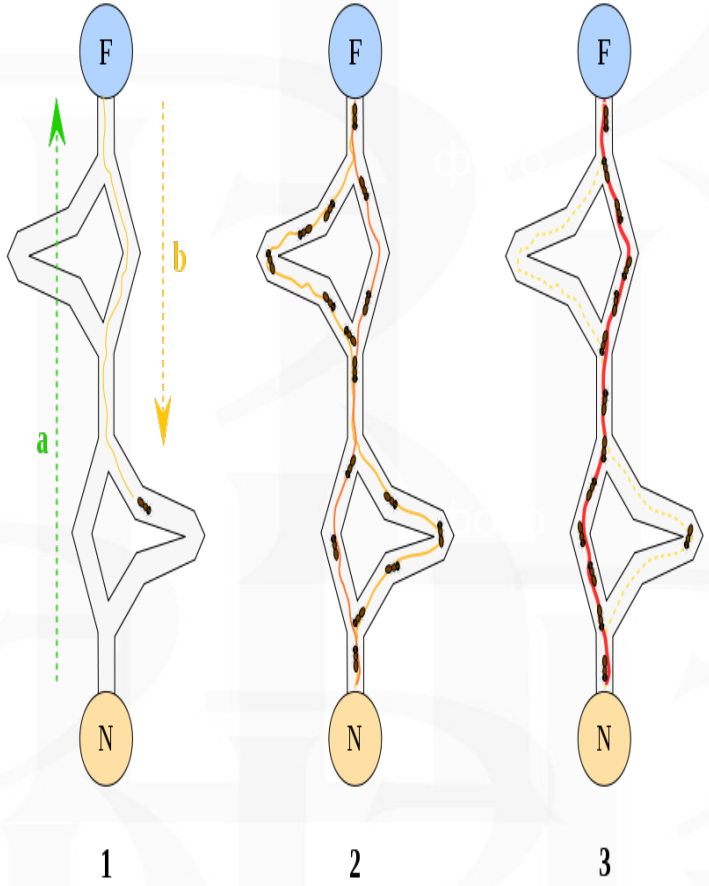
3) Необходимо ли использовать кластерный анализ или другие критерии разбиения покупателей между водителями?

4) Стоит ли решать задачу одновременно для двух водителей?

Муравьиный алгоритм

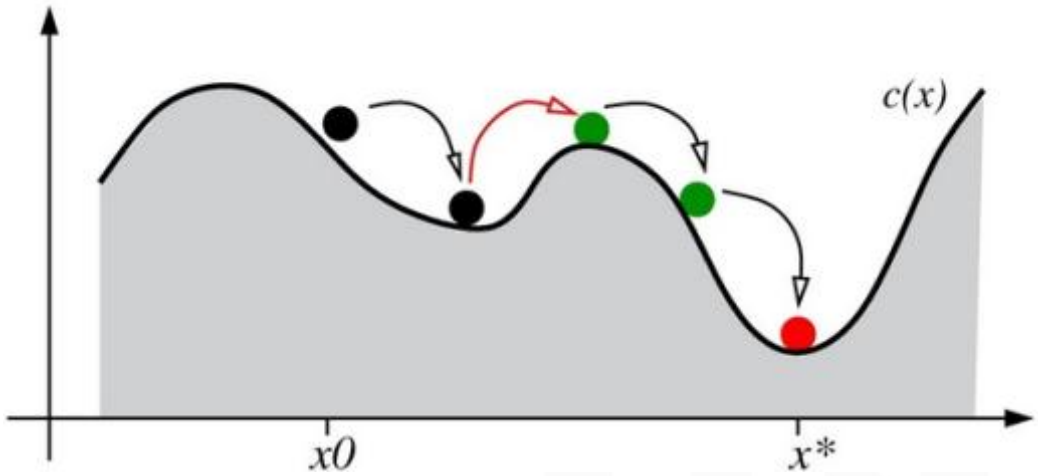
52! ≈ 8,06 анвигинтиллиона) возможных маршрутов => точное решение задачи найти невозможно.

Алгоритм муравьиной колонии позволяет не перебирать все маршруты, что существенно сокращает длительность решения. Метод основан на поведении множества искусственных муравьев, которые «кооперируются» для нахождения решения задачи.



Метод поиска с запретами

Решение начинается с первоначального маршрута, найденного, к примеру, «жадным» методом. На каждой итерации, алгоритм (путем случайной перестановки последовательности вершин графа) улучшает решение, минимизируя целевую функцию.



Варианты решения задачи

1. Решение задачи коммивояжера для одного водителя доказало необходимость найма второго;
2. Кластерный анализ показал свою несостоятельность;
3. Оптимизация фактических маршрутов алгоритмом поиска с запретами позволила улучшить реальные маршруты водителей;
4. Возникла необходимость оптимизации маршрутов перед выездом водителей из фирмы в начале рабочего дня.

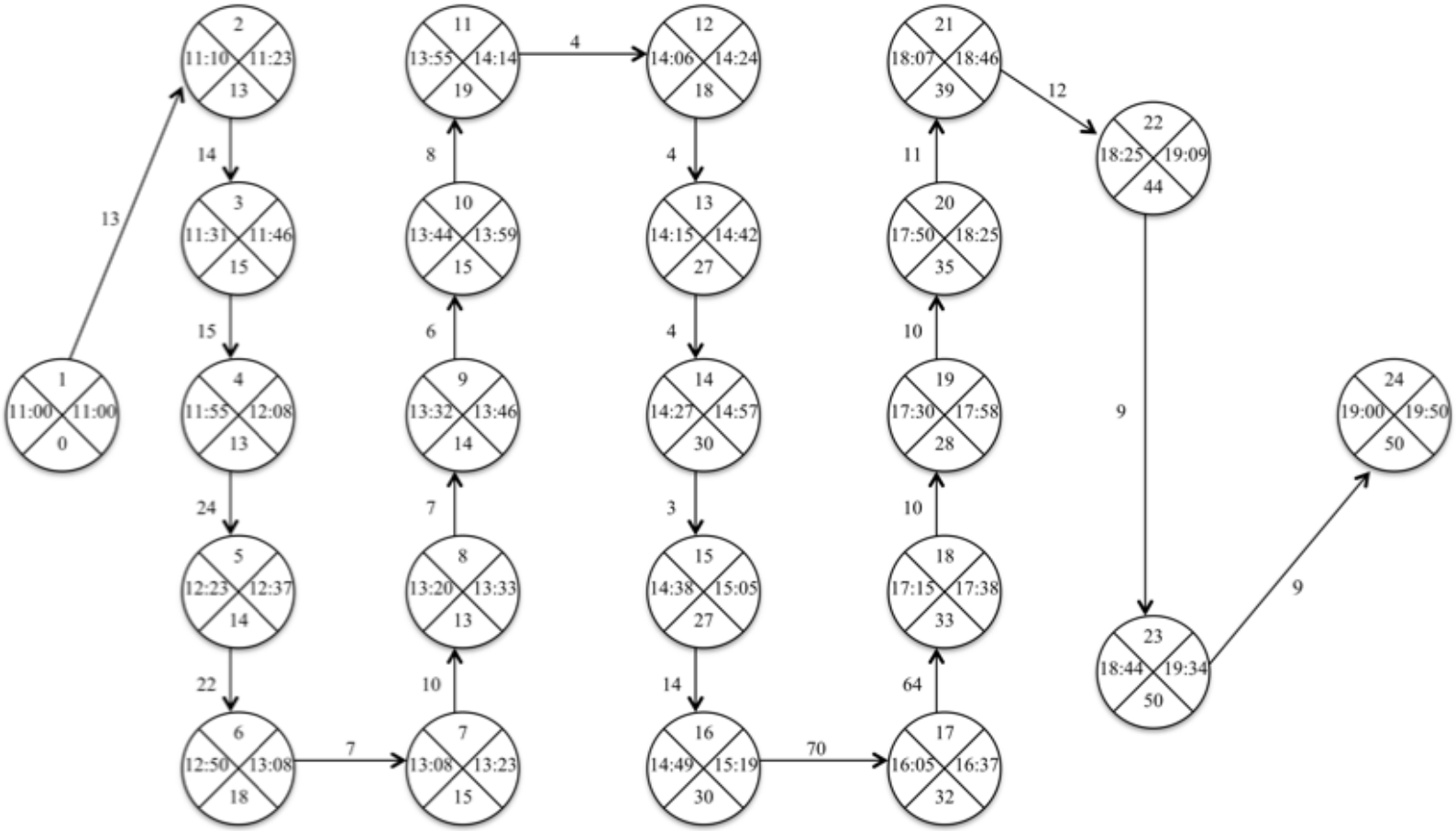
Решение CVRPTW (водитель № 1)

№	Контрагент	Начало	Конец	Прибытие	Отбытие	Разгрузка	Простой	Опоздание
1	ООО «Фабрика еды»	-	-	11:00	11:00	-	-	-
2	Кафе "Корица"	11:00	19:00	11:13	11:21	00:08	-	-
3	Столовая «Тарелочка»	11:00	12:00	11:35	11:43	00:08	-	-
4	ИП Ахметова Н.П.	11:00	12:00	11:58	12:06	00:08	-	-
5	Ресторан "Хуторок"	12:30	13:00	12:30	12:33	00:03	-	-
6	ООО "ТД"	12:00	13:00	12:55	13:03	00:08	-	-
7	ТЦ "Столица"	13:00	18:00	13:10	13:15	00:05	-	-
8	ОАО "ЭР-Телеком"	12:30	13:30	13:25	13:28	00:03	-	-
9	Кафе «Ритм»	11:00	19:00	13:35	13:41	00:06	-	-
10	Бар "Лаундж"	11:00	19:00	13:47	13:52	00:05	-	-
11	Кафе "Ударник"	11:00	19:00	14:00	14:06	00:06	-	-
12	Кафе "Сковородка"	14:00	16:00	14:10	14:14	00:04	-	-
13	Кафе "Кредо"	14:00	18:00	14:18	14:25	00:07	-	-
14	Ресторан "Охотничий"	13:30	15:30	14:29	14:36	00:07	-	-
15	ООО "Паритет"	14:00	15:00	14:39	14:44	00:05	-	-
16	Продуктовый магазин	12:00	16:00	14:58	15:07	00:09	-	-
17	ИП Кусакин А.В.	15:00	16:30	16:17	16:24	00:07	-	-
18	Ресторан "Сакартвело"	13:30	17:30	17:28	17:36	00:08	-	-
19	ООО "Пушкин"	11:00	19:00	17:46	17:56	00:08	-	-
20	ООО "Микс - Семья"	15:00	22:00	18:06	18:15	00:09	-	-
21	Продуктовый магазин	18:00	21:00	18:26	18:35	00:09	-	-
22	Продуктовый магазин	16:00	19:00	18:47	18:56	00:09	-	-
23	ТЦ "Евразия"	15:30	19:30	19:05	19:11	00:06	-	-
24	ООО «Фабрика еды»	-	-	19:20	19:20	-	-	-

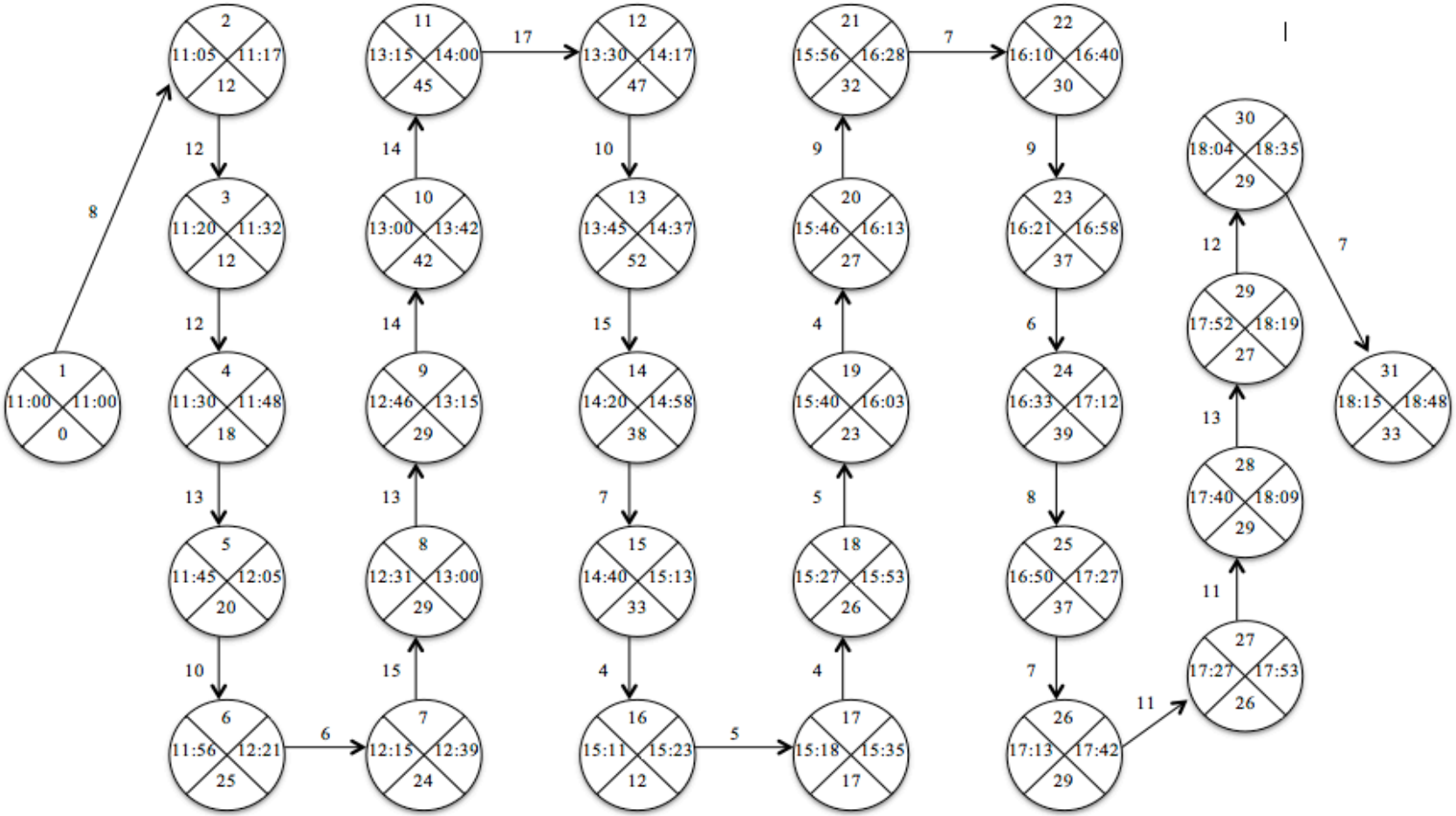
Решение CVRPTW (водитель № 2)

№	Контрагент	Начало	Конец	Прибытие	Отбытие	Разгрузка	Простой	Опоздание
1	ООО «Фабрика еды»	-	-	11:00	11:00	-	-	-
2	Столовая "Тарелка №1"	11:00	11:30	11:08	11:15	00:07	-	-
3	Столовая "Тарелка №2"	11:00	12:00	11:27	11:30	00:03	-	-
4	Ресторан "Горький"	11:30	12:00	11:42	11:46	00:04	-	-
5	Кафе "Правила"	11:00	14:00	11:59	12:02	00:03	-	-
6	Ресторан «Кама-Фиш»	12:00	12:30	12:12	12:18	00:06	-	-
7	Кафе "Паста Гранде"	12:00	13:30	12:24	12:33	00:09	-	-
8	Ресторан Нефертити	11:00	19:00	12:48	12:55	00:07	-	-
9	ООО "Компания ЦВР"	11:00	21:00	13:08	13:11	00:03	-	-
10	ЗАО "Пермторгтехника"	13:00	14:00	13:25	13:30	00:05	-	-
11	ООО "Веселый пекарь"	11:00	14:00	13:44	13:50	00:06	-	-
12	ООО "Море рыбы"	12:00	16:00	14:07	14:13	00:06	-	-
13	ООО "Эверест"	14:00	17:00	14:23	14:30	00:07	-	-
14	Ресторан "Пармезан"	12:30	15:30	14:45	14:53	00:08	-	-
15	ООО "Цертина"	15:00	16:00	15:00	15:07	00:07	-	-
16	Ресторан "Casa Mia"	11:00	20:00	15:11	15:14	00:03	-	-
17	Ресторан "Тсуру"	11:00	19:00	15:19	15:24	00:05	-	-
18	Ресторан «Casa Mia»	13:00	17:00	15:28	15:36	00:08	-	-
19	Ресторан "Партизан"	13:30	18:30	15:41	15:44	00:03	-	-
20	ООО "Гарант плюс"	15:00	16:30	15:48	15:51	00:03	-	-
21	Ресторан "Халва"	14:00	20:00	16:00	16:08	00:08	-	-
22	Ресторан "Сакартвело"	12:00	18:00	16:15	16:20	00:05	-	-
23	Продуктовый магазин	16:00	19:30	16:29	16:34	00:05	-	-
24	Ресторан "Халва"	15:00	19:00	16:40	16:47	00:07	-	-
25	Ресторан "Тсуру"	17:00	20:00	16:55	17:08	00:08	00:05	-
26	Столовая "Забава"	15:00	19:00	17:15	17:20	00:05	-	-
27	Пиццерия "Pizzaman"	17:00	19:30	17:31	17:33	00:03	-	-
28	ООО "Заполье"	17:00	19:30	17:44	17:49	00:05	-	-
29	ООО "ПМП"	15:00	19:00	18:02	18:06	00:04	-	-
30	ООО "Федерал"	18:00	20:00	18:18	18:23	00:05	-	-
31	ООО «Фабрика еды»	-	-	18:30	18:30	-	-	-

Сетевой график водителя № 1



Сетевой график водителя № 2



Пересчет маршрута (излишний свободный резерв)

№	Контрагент	Начало	Конец	Прибытие	Отбытие	Разгрузка	Простой	Опоздание
22	Кафе "Ударник"	11:00	19:00	14:15	14:21	00:06	-	-
23	**ООО "ПМП"**	**15:00**	**19:00**	**14:35**	**15:04**	**00:04**	**00:25**	**-**
24	ТЦ "Столица"	13:00	18:00	15:20	15:25	00:05	-	-
25	ООО "Федерал"	18:00	20:00	15:40	15:45	00:05	-	-
26	Кафе «Ритм»	11:00	19:00	16:00	16:06	00:06	-	-
27	ООО «Фабрика еды»	-	-	16:20	16:20	-	-	-

№	Контрагент	Начало	Конец	Прибытие	Отбытие	Разгрузка	Простой	Опоздание
22	Кафе "Ударник"	11:00	19:00	14:15	14:21	00:06	-	-
23	ТЦ "Столица"	13:00	18:00	14:40	14:45	00:05	-	-
24	Кафе «Ритм»	11:00	19:00	15:05	15:11	00:06	-	-
25	**ООО "ПМП"**	**15:00**	**19:00**	**15:25**	**15:29**	**00:04**	**-**	**-**
26	ООО "Федерал"	18:00	20:00	15:45	15:50	00:05	-	-
27	ООО «Фабрика еды»	-	-	16:05	16:05	-	-	-

Пересчет маршрута (отрицательный свободный резерв)

16	Продуктовый магазин	12:00	16:00	14:58	15:07	00:09	-	-
17	ИП Кусакин А.В.	15:00	16:30	16:17	16:24	00:07	-	-
18	Ресторан "Сакартвело"	13:30	17:30	17:28	17:36	00:08	-	-
19	ООО "Пушкин"	11:00	19:00	17:46	17:56	00:08	-	-
20	ООО "Микс - Семья"	15:00	22:00	18:06	18:15	00:09	-	-
21	Продуктовый магазин	18:00	21:00	18:26	18:35	00:09	-	-
22	Продуктовый магазин	16:00	19:00	18:47	18:56	00:09	-	-
23	ТЦ "Евразия"	15:30	19:30	19:05	19:11	00:06	-	-
24	ООО «Фабрика еды»	-	-	19:20	19:20	-	-	-

16	Продуктовый магазин	12:00	16:00	14:58	15:07	00:09	-	-
~~17~~	~~ИП Кусакин А.В.~~	~~15:00~~	~~16:30~~	~~16:17~~	~~16:24~~	~~00:07~~	-	-
18	Ресторан "Сакартвело"	13:30	17:30	15:54	16:02	00:08	-	-
19	ООО "Пушкин"	11:00	19:00	16:14	16:22	00:08	-	-
20	ООО "Микс - Семья"	15:00	22:00	16:40	16:49	00:09	-	-
21	Продуктовый магазин	16:00	19:00	16:54	17:03	00:09	-	-
22	ТЦ "Евразия"	15:30	19:30	17:32	17:38	00:06	-	-
23	Продуктовый магазин	18:00	21:00	18:00	18:09	00:09	-	-
24	ООО «Фабрика еды»	-	-	18:20	18:20	-	-	-

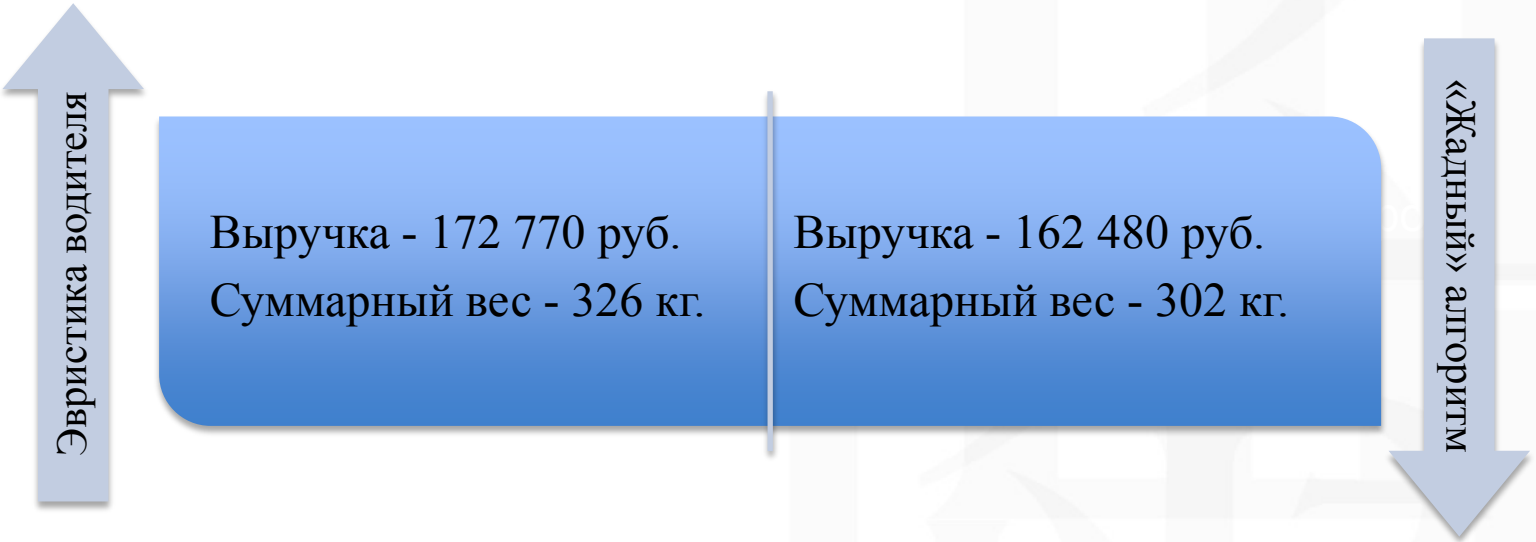
Предварительные результаты

Отбор заявок (задача о ранце 0-1)

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^{n} p_j x_j \to max; & (22) \\ \sum_{j=0}^{n} w_j x_j \le c; & (23) \\ x_j \in \{0,1\}, j = 1, \dots, n. & (24) \end{cases}$$

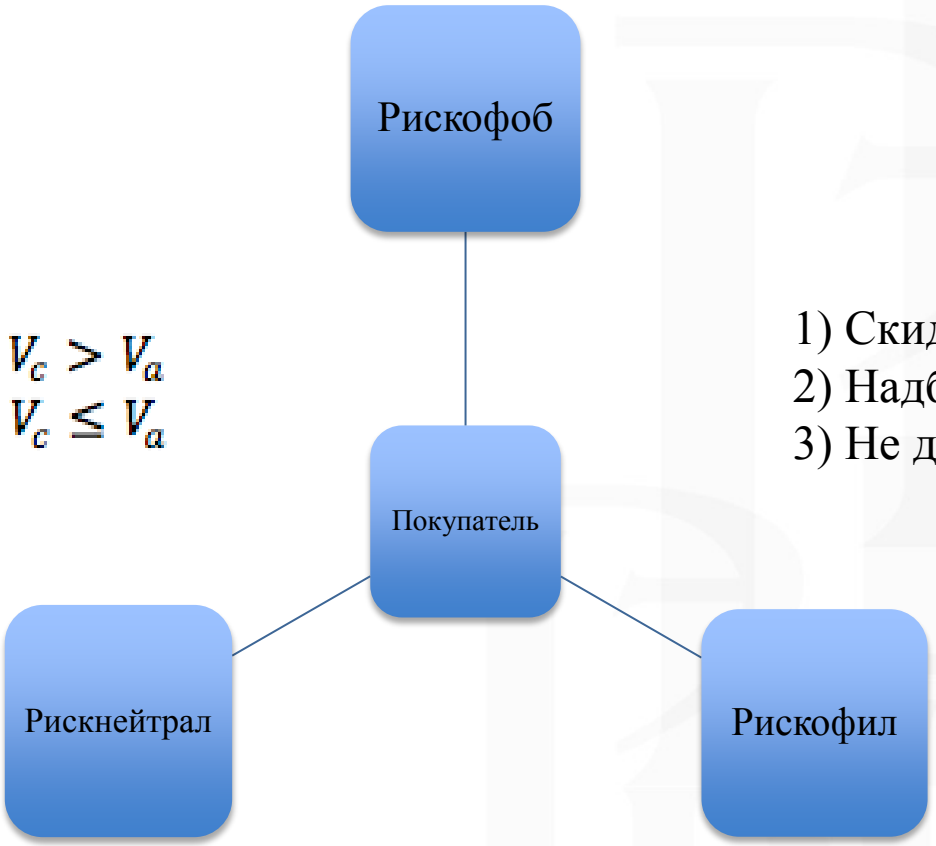
Решение задачи о ранце 0-1

1) Проведен эксперимент с водителем (сортировка по стоимости заказов)
2) Задача решена «жадным» алгоритмом (сортировка по стоимость/вес).



Дизайн контракта

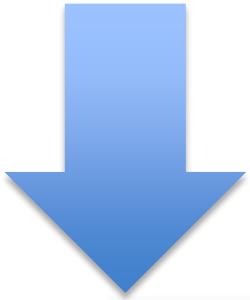
$$G^* = \begin{cases} G_c, \text{если } V_c > V_a \\ G_a, \text{если } V_c \leq V_a \end{cases}$$



1) Скидка
2) Надбавка
3) Не денежный способ

Дизайн контракта

«Все конфликтные ситуации регулируются на основании законодательства Российской Федерации и решаются через суд»



«Покупатели, ожидающие доставку продукции в интервал длительностью менее двух часов, имеют вероятность 3 – 4 % опоздания водителя. Контрагенты, устанавливающие время отгрузки более двух часов, имеют близкую к максимальной вероятность доставки продукции вовремя»

Дизайн контракта (покупатель рискнейтрал)

		Водитель фирмы: Успеть	Водитель фирмы: Не успеть
Покупатель	Сужать	**10 ; 10**	**8** ; -3
	Не сужать	**10 ; 10**	**8** ; -5

$$BR_{\text{П}}(\text{успеть}) = \text{сужать и не сужать } (10 = 10);$$

$$BR_{\text{П}}(\text{не успеть}) = \text{сужать и не сужать } (8 = 8);$$

$$BR_{\text{В}}(\text{сужать}) = \text{успеть } (10 > -3);$$

$$BR_{\text{В}}(\text{не сужать}) = \text{успеть } (10 > -5).$$

Дизайн контракта (покупатель рискофоб)

		Водитель фирмы: Успеть	Водитель фирмы: Не успеть
Покупатель	Сужать	10 ; 10	**3** ; -3
	Не сужать	**11 ; 10**	**3** ; -5

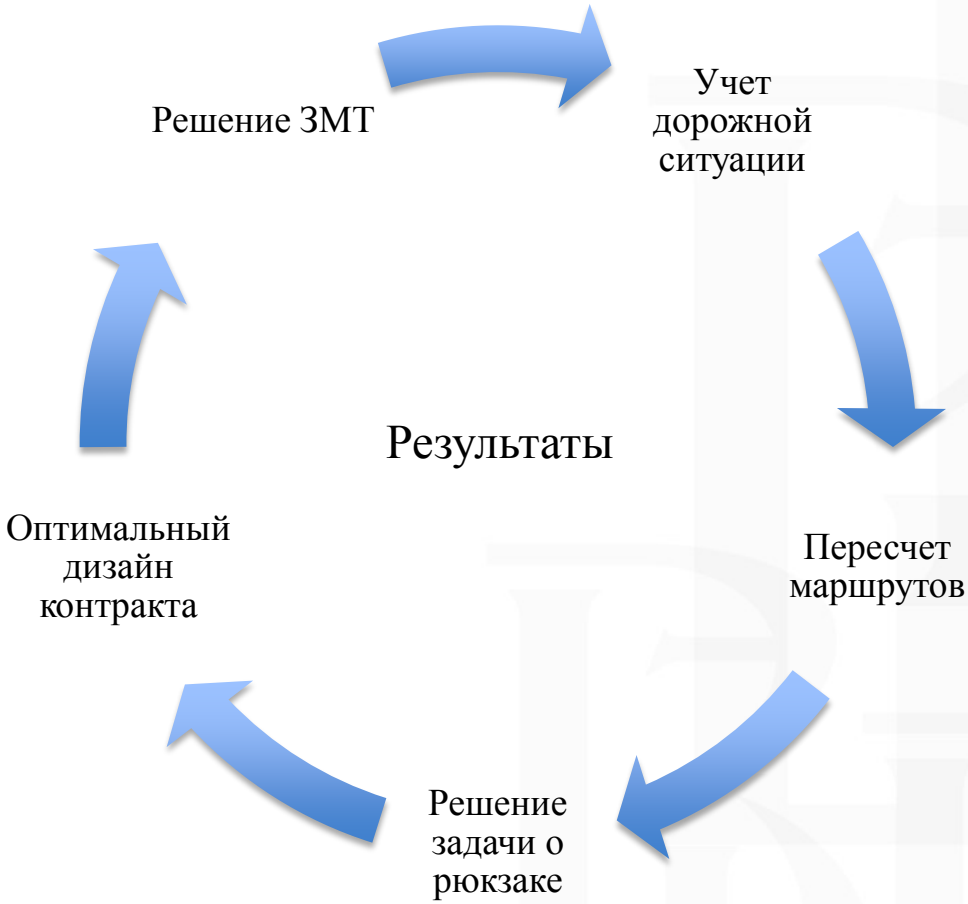
$$BR_{\text{П}}(\text{успеть}) = \text{сужать}\ (11 > 10);$$

$$BR_{\text{П}}(\text{не успеть}) = \text{сужать и не сужать}\ (3 = 3);$$

$$BR_{\text{В}}(\text{сужать}) = \text{успеть}\ (10 > -3);$$

$$BR_{\text{В}}(\text{не сужать}) = \text{успеть}\ (10 > -5).$$

Выводы


Учет дорожной ситуации
Пересчет маршрутов
Решение задачи о рюкзаке
Оптимальный дизайн контракта
Решение ЗМТ
Результаты

Улучшения работы

1. Решить более сложные модификации задачи о ранце, внедрив в нее различные ограничения;
2. Рассмотреть подробно оптимизацию дизайна контрактов, описав функцию полезности покупателей;
3. Оптимизировать процесс управления запасами.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Спасибо за внимание!

614070, Россия, Пермь, Студенческая ул., д. 38
Тел.: (342) 205-52-50, факс: (342) 205-52-12
www.perm.hse.ru