



Введение в экономико-математическое моделирование

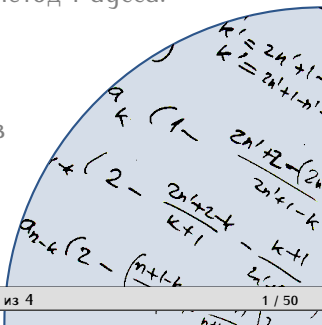
Лекция 4. Линейные задачи–2

Исследование систем линейных уравнений. Метод Гаусса.

Системы линейных неравенств

канд. физ.-матем. наук, доцент Д. В. Чупраков

usr10381@vyatsu.ru





Структура лекции

- 1 Системы линейных уравнений
- 2 Приведение к разрешенному виду
- 3 Переход от одного базиса к другому.
- 4 Переход от одного опорного решения к другому
- 5 Линейное программирование
 - Линейное программирование
 - Основные понятия линейного программирования
 - Каноническая форма ЗЛП



Системы линейных уравнений

Системой m линейных уравнений с n неизвестными называется система вида

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = b_2 \\ \dots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n = b_m \end{cases}$$

где

- ▶ a_{ij} для всех $i = \{1, \dots, m\}$; $j = \{1, \dots, n\}$ — известные коэффициенты;
- ▶ b_1, \dots, b_m — известные свободные члены;
- ▶ x_1, \dots, x_n — неизвестные.

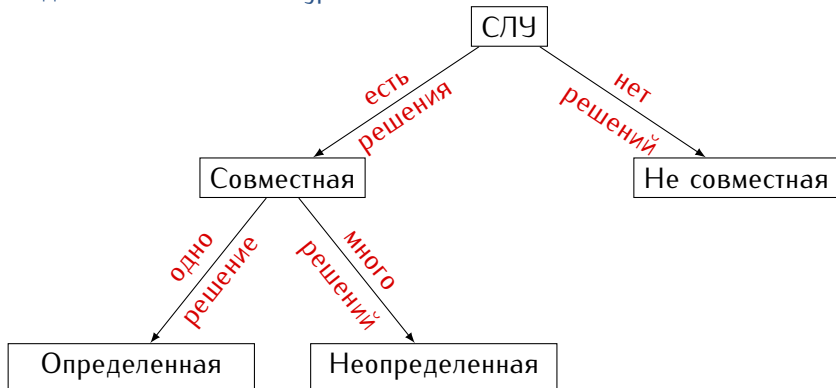


Решение СЛУ

Решение системы — совокупность n чисел c_1, c_2, \dots, c_n , таких что подстановка каждого c_i вместо x_i в систему обращает все ее уравнения в тождества.

Решить систему — найти множество всех ее решений.

Виды систем линейных уравнений:





Элементарные преобразования СЛУ

1. Исключить из СЛУ **тривиальное** уравнение
 $0x_1 + 0x_2 + \dots + 0x_n = 0.$
2. Умножить уравнение системы на число $\lambda \neq 0$
3. К одному уравнению системы прибавить другое, умноженное на некоторое число.
4. Переставить любые два уравнения в системе.

Теорема

Элементарные преобразования не меняют множества решений системы линейных уравнений.



Расширенная матрица

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = b_1 \\ \dots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n = b_m \end{cases}$$



$$\left(\begin{array}{cccc|c} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} & b_1 \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} & b_2 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} & b_m \end{array} \right)$$



Ступенчатая матрица

Ступенчатой называется матрица, удовлетворяющая следующим условиям:

1. если эта матрица содержит нулевую строку, то все строки, расположенные под нею, также нулевые;
2. если первый ненулевой элемент некоторой строки расположен в столбце с номером i , то первый ненулевой элемент следующей строки должен находиться в столбце с номером большим, чем i .



Теорема

Любая расширенная матрица может быть приведена к ступенчатому виду с помощью элементарных преобразований.

Метод Гаусса — метод исключения переменных:

- ▶ **Прямой ход** — приведение матрицы коэффициентов к ступенчатому виду.

Осуществляется сверху вниз

- ▶ **Обратный ход** — выражение из каждого уравнения по одной переменной.

Осуществляется снизу вверх



Метод Гаусса—Жордана

Мы рассмотрим метод **Гаусса—Жордана**, позволяющий выполнять прямой и обратный ход одновременно.

На шаге i выполняются следующие действия:

1. Строки и столбцы с номерами $j \geq i$ переставляются так, чтобы $a_{ij} \neq 0$. Причем желательно, чтобы $a_{ij} = 1$.
2. Все строки с номером $k \neq i$ домножаются на λ_k так, $\lambda_k a_{ki}$ делилось на a_{ij} .
3. Строка i вычитается из всех других строк так, чтобы в i -столбце обратились в ноль все элементы кроме a_{ij} .



Метод Гаусса—Жордана. Пример I

Задача

Решить СЛУ:
$$\begin{cases} x_1 - x_2 + x_3 - x_4 = -2 \\ x_1 + 2x_2 - 2x_3 - x_4 = -5 \\ 2x_1 - x_2 - 3x_3 + 2x_4 = -1 \\ x_1 + 2x_2 + 3x_3 - 6x_4 = -10 \end{cases}$$

► Составим расширенную матрицу:

$$\begin{array}{cccc|c} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & b \\ \hline 1 & -1 & 1 & -1 & -2 \\ 1 & 2 & -2 & -1 & -5 \\ 2 & -1 & -3 & 2 & -1 \\ 1 & 2 & 3 & -6 & -10 \end{array}$$



Метод Гаусса—Жордана. Пример II

► Шаг 1:

$$\begin{array}{ccccc|c} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & b & \\ \hline 1 & -1 & 1 & -1 & -2 & \\ 1 & 2 & -2 & -1 & -5 & -/ \\ 2 & -1 & -3 & 2 & -1 & -2/ \\ 1 & 2 & 3 & -6 & -10 & -/ \end{array}$$



Метод Гаусса—Жордана. Пример III

► Шаг 2:

$$\begin{array}{ccccc} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & b \\ \left[\begin{array}{ccccc} 1 & -1 & 1 & -1 & -2 \\ 0 & 3 & -3 & 0 & -3 \\ 0 & 1 & -5 & 3 & 3 \\ 0 & 3 & 2 & -5 & -8 \end{array} \right] \sim \end{array}$$

$$\begin{array}{ccccc} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & b \\ \left[\begin{array}{ccccc} 1 & -1 & 1 & -1 & -2 \\ 0 & 1 & -5 & 3 & 3 \\ 0 & 3 & -3 & 0 & -3 \\ 0 & 3 & 2 & -5 & -8 \end{array} \right] \begin{array}{l} +// \\ \\ -3// \\ -3// \end{array} \end{array}$$



Метод Гаусса—Жордана. Пример IV

► Шаг 3:

$$\begin{array}{ccccc|c} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & b & \\ \hline 1 & 0 & -4 & 2 & 1 & \\ 0 & 1 & -5 & 3 & 3 & \\ 0 & 0 & 12 & -12 & -12 & : 12 \\ 0 & 0 & 17 & -17 & -17 & : 17 \end{array} \sim$$

$$\begin{array}{ccccc|c} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & b & \\ \hline 1 & 0 & -4 & 2 & 1 & +5/// \\ 0 & 1 & -5 & 3 & 3 & +5/// \\ 0 & 0 & 1 & -1 & -1 & \\ 0 & 0 & 1 & -1 & -1 & -/// \end{array}$$



Метод Гаусса—Жордана. Пример V

► Шаг 4:

$$\begin{array}{ccccc} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & b \\ \left[\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 0 & 2 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 3 & 3 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right] \sim \end{array}$$

$$\begin{array}{ccccc} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & b \\ \left[\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 0 & 2 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 3 & 3 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & -1 \end{array} \right] \end{array}$$



Метод Гаусса—Жордана. Пример VI

- ▶ Восстанавливаем систему:
$$\begin{cases} x_1 - 2x_4 = 1 \\ x_2 + 3x_4 = 3 \\ x_3 - x_4 = -1 \end{cases}$$
- ▶ Выражаем элементы на диагонали:
$$\begin{cases} x_1 = 1 + 2x_4 \\ x_2 = 3 - 3x_4 \\ x_3 = -1 + x_4 \end{cases}$$
- ▶ Обозначим x_4 за a и выпишем ответ

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 + 2a \\ 3 - 3a \\ 1 + a \\ a \end{pmatrix}$$



Свободные и зависимые переменные

В решении выше переменная x_4 может принимать любые значения: Такие переменные называются **свободными** или **неосновными**.

Переменные x_1, x_2, x_3 однозначно вычисляются по значениям неосновных переменных. Это **зависимые** или **основные** переменные.

Как выявить основные переменные?

В системе, полученной методом Гаусса—Жордана, основная переменная x_j

- ▶ входит в одно из уравнений системы с коэффициентом 1, а в остальные уравнения системы входит с коэффициентами, равными 0;
- ▶ в каждое уравнение входит не более одной основной переменной.



Пример основных и свободных переменных

$$\begin{cases} x_1 - 5x_2 + 6x_4 = 7 \\ 3x_2 + x_3 - x_4 = 2 \end{cases}$$

$$\left(\begin{array}{cccc|c} 1 & -5 & 0 & 6 & 7 \\ 0 & 3 & 1 & -1 & 2 \end{array} \right)$$

- ▶ x_1, x_3 — основные
- ▶ x_2, x_4 — свободные



Разрешенная система уравнений

Система линейных уравнений называется **разрешенной**, если каждое уравнение системы линейных уравнений содержит разрешенную переменную.

Разрешенная система линейных уравнений всегда совместна.

Количество базисных переменных не превосходит числа уравнений.



Виды решений СЛУ I

- ▶ Если свободные переменные объявить параметрами и перенести вправо, то получим **общее решение СЛУ**.

$$\begin{cases} x_1 = 7 + 5x_2 - 6x_4 \\ x_3 = 2 - 3x_2 + x_4 \end{cases} \quad \begin{cases} x_2 = a \\ x_4 = b \end{cases}$$

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 7 + 5a - 6b \\ a \\ 2 - 3a + b \\ b \end{pmatrix}$$



Виды решений СЛУ II

- ▶ Если свободным переменным придать числовые значения и вычислить значения разрешенных переменных, то получим **частное решение СЛУ**.

$$\begin{cases} x_1 = 7 + 5x_2 - 6x_4 \\ x_3 = 2 - 3x_2 + x_4 \end{cases} \quad \begin{cases} x_2 = 1 \\ x_4 = 3 \end{cases}$$

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -6 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \end{pmatrix}$$



Виды решений СЛУ III

- ▶ Если свободным переменным придать нулевые значения, то получим **базисное решение СЛУ**.

$$\begin{cases} x_1 = 7 + 5x_2 - 6x_4 \\ x_3 = 2 - 3x_2 + x_4 \end{cases} \quad \begin{cases} x_2 = 0 \\ x_4 = 0 \end{cases}$$

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 7 \\ 0 \\ 2 \\ 0 \end{pmatrix}$$



- ▶ Если в каждом уравнении системы есть зависимая переменная, то СЛУ совместная — имеет решения.
- ▶ Если все переменные в системе линейных уравнений разрешенные, то СЛУ определенная — имеет единственное решение.
- ▶ Если в совместной слу есть хотя бы одна свободная переменная, то СЛУ неопределенная — имеет бесконечное число решений.



Противоречивое уравнение

$$0x_1 + 0x_2 + \dots + 0x_n = b \neq 0$$

Теорема (Критерий несовместности)

Система несовместна тогда и только тогда, когда в результате применения метода Гаусса—Жордана получено противоречивое уравнение.



Переход от базиса к базису. Пример I

Задача

Найти все базисные решения СЛУ:

$$\begin{cases} x_1 - x_2 + x_3 - x_4 = -2 \\ x_1 + 2x_2 - 2x_3 - x_4 = -5 \\ 2x_1 - x_2 - 3x_3 + 2x_4 = -1 \\ x_1 + 2x_2 + 3x_3 - 6x_4 = -10 \end{cases}$$

► Решая СЛУ методом жордана—Гаусса получаем:

$$\begin{cases} x_1 - 2x_4 = 1 \\ x_2 + 3x_4 = 3 \\ x_3 - x_4 = -1 \end{cases} \quad \text{или} \quad \left[\begin{array}{cccc|c} & x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & b \\ \hline & 1 & 0 & 0 & 2 & 1 \\ & 0 & 1 & 0 & 3 & 3 \\ & 0 & 0 & 1 & -1 & -1 \end{array} \right]$$



Переход от базиса к базису. Пример II

- Сделаем основной переменную x_4 а x_3 превратим в свободную переменную.

$$\begin{array}{ccccc|c} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & b \\ \left[\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 0 & 2 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 3 & 3 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & -1 \end{array} \right] \begin{array}{l} +2/// \\ +3/// \end{array} \sim \left[\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 2 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & -1 \end{array} \right] \end{array}$$

- Итак, новое базисное решение

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \end{pmatrix}$$



Переход от базиса к базису. Пример I

Для перехода к новому базису нужно выбрать свободную переменную x_j , которая станет зависимой и зависимую переменную x_i , которая станет свободной.

Затем применить шаг метода Гаусса—Жордана к элементу a_{qij}

Задача

Найти все базисные решения СЛУ:

$$\begin{cases} x_1 - x_2 + x_3 - x_4 = -2 \\ x_1 + 2x_2 - 2x_3 - x_4 = -5 \\ 2x_1 - x_2 - 3x_3 + 2x_4 = -1 \\ x_1 + 2x_2 + 3x_3 - 6x_4 = -10 \end{cases}$$



Переход от базиса к базису. Пример II

- Решая СЛУ методом жордана—Гаусса получаем:

$$\begin{cases} x_1 - 2x_4 = 1 \\ x_2 + 3x_4 = 3 \\ x_3 - x_4 = -1 \end{cases} \quad \text{или} \quad \begin{array}{ccccc|c} & x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & b \\ \hline & 1 & 0 & 0 & 2 & 1 \\ 0 & & 1 & 0 & 3 & 3 \\ 0 & & 0 & 1 & -1 & -1 \end{array}$$

- Сделаем основной переменную x_4 а x_3 превратим в свободную переменную.

$$\begin{array}{ccccc|c} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & b \\ \hline 1 & 0 & 0 & 2 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 3 & 3 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & -1 \end{array} \begin{array}{l} +2/// \\ +3/// \end{array} \sim \begin{array}{ccccc|c} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & b \\ \hline 1 & 0 & 2 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & -1 \end{array}$$



Переход от базиса к базису. Пример III

► Итак, новое базисное решение

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \end{pmatrix}$$



Опорное решение

Базисное решение СЛУ, у которого значения переменных неотрицательны называется **опорным решением**.

- ▶ Если найдено хотя бы одно опорное решение, то все остальные могут быть найдены путем перехода от одного опорного решения к другому
- ▶ Для перехода от одного опорного решения к другому достаточно уметь выбирать разрешающий элемент.

Алгоритм выбора разрешающего элемента a_{ij} :

1. Столбец j должен содержать положительные элементы.
2. В столбце j элемент a_{ij} является разрешающим, если на нем достигается минимум отношения элементов столбца b к положительным элементам столбца j .



Переход между опорными решениями I

Задача

Найти все опорные решения системы

$$\begin{cases} x_1 + -2x_2 + x_4 = 2 \\ -2x_1 + x_2 + x_3 = 2 \\ x_1 + x_2 + x_5 = 5 \end{cases}$$

►

x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	b	
1	-2	0	1	0	2	
-2	1	1	0	0	2	$+2I$
1	1	0	0	1	5	$-I$

$(0, 0, 2, 2, 5)$

$$\frac{b_1}{a_{11}} < \frac{b_2}{a_{31}} \quad \frac{2}{1} < \frac{5}{1}$$



Переход между опорными решениями II

►
$$\begin{array}{cccccc|c} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_5 & b \\ \hline 1 & -2 & 0 & 1 & 0 & 2 \\ 0 & -3 & 1 & 2 & 0 & 6 \\ 0 & 3 & 0 & -1 & 1 & 3 \end{array} \begin{array}{l} \\ \cdot 3 + 2/// \\ + /// \end{array} \quad (2, 0, 6, 0, 3)$$

a_{32} — единственный положительный элемент.

►
$$\begin{array}{cccccc|c} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_5 & b \\ \hline 3 & 0 & 0 & 1 & 2 & 12 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 9 \\ 0 & 3 & 0 & -1 & 1 & 3 \end{array} \quad \left(\frac{12}{3}, \frac{3}{3}, 9, 0, 0\right) = (4, 1, 9, 0, 0)$$



Переход между опорными решениями III

- Далее в основные переменные не целесообразно переводить x_5 , так как придем к уже рассмотренному базису x_1, x_3, x_5 . Однако, можно взять x_4 и в качестве разрешающего элемента выбрать a_{24} . Получим еще не рассмотренный базис x_1, x_2, x_4 .

$$\left[\begin{array}{ccccc|c} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_5 & b \\ \hline 3 & 0 & 0 & 1 & 2 & 12 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 9 \\ 0 & 3 & 0 & -1 & 1 & 3 \end{array} \right] \begin{array}{l} -// \\ \\ +// \end{array} \quad (4, 1, 9, 0, 0)$$

$$\frac{b_2}{a_{24}} < \frac{b_1}{a_{14}} \quad 9 < 12$$



Переход между опорными решениями IV

$$\begin{array}{cccccc} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_5 & b \\ \left[\begin{array}{ccccc|c} 3 & 0 & 0 & 0 & 1 & 3 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 9 \\ 0 & 3 & 0 & 0 & 2 & 12 \end{array} \right] & \left(\frac{3}{3}, \frac{12}{3}, 9, 0, 0 \right) = (1, 4, 0, 9, 0) \end{array}$$

► И так далее...

Линейное программирование

Линейное программирование

Дисциплина, изучающая методы исследования и отыскания наибольшего и наименьшего значений линейной функции на аргументы которой наложены линейные ограничения



Достоинства линейных моделей

- ▶ Простота модели
- ▶ Хорошо разработанный аппарат исследования моделей
- ▶ Эффективность

На практике 80–85% всех задач оптимизации относятся именно к задачам линейного программирования.



Применение линейного программирования

- ▶ Составление смеси:
 - ▶ ассортимент изделий
 - ▶ регулировка запасов
- ▶ Задачи производства:
 - ▶ укрупненное планирование производства
 - ▶ кадровая политика
 - ▶ управление технологическим процессом
 - ▶ оптимизация местоположения объектов предприятия
- ▶ Задачи распределения:
 - ▶ планирование распределения продукции
 - ▶ календарное планирование перевозок
 - ▶ маршрутизация производства изделия



Пример линейного моделирования

Компания производит „Лимонад“ и „Тоник“.

- ▶ Для производства 1 л „Лимонада“ требуется 0,02 ч работы оборудования, а для производства 1 л „Тоника“ — 0,04 ч
- ▶ Расход сырья составляет 0,01 кг и 0,04 кг на 1 л „Лимонада“ и <<Тоника>> соответственно
- ▶ Ежедневно в распоряжении фирмы имеется 24 ч времени работы оборудования и 16 кг сырья
- ▶ Прибыль фирмы составляет 10 ден. ед. за 1 л „Лимонада“ и 30 ден. ед. за 1 л „Тоника“

Требуется составить план производства, для максимизации ежедневной прибыли



Формальная модель

Параметр	ед.	Лимонад 1 л.	Тоник 1 л.	Запас
Время	ч	0.02	0.04	24
Сырьё	кг	0.01	0.04	16
Прибыль	руб.	10	30	

- ▶ x л. — объём производства лимонада
- ▶ y л. — объём производства тоника
- ▶ $F = 10x + 30y$ — ежедневная прибыль
- ▶ $0.02x + 0.04y \leq 24$ — ограничение времени работы
- ▶ $0.01x + 0.04y \leq 16$ — ограничение запасов сырья



Математическая модель

- ▶ x л. — объём производства лимонада
- ▶ y л. — объём производства тоника

$$x \geq 0, \quad y \geq 0$$

$$\begin{cases} 0.02x + 0.04y \leq 24 \\ 0.01x + 0.04y \leq 16 \end{cases}$$

$$F = 10x + 30y \rightarrow \max$$

Модель линейная!

Основные понятия линейного программирования



Общая задача линейного программирования

Целевая функция

$$F = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

Система ограничений

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2 \\ \dots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m \end{cases}$$

$$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$$



Основные понятия линейного программирования

Допустимый план — упорядоченный набор чисел

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n),$$

удовлетворяющих системе ограничений задачи линейного программирования

Оптимальный план — допустимый план

$$X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*),$$

при котором функция Z достигает наибольшего или наименьшего значения.



Каноническая форма задачи линейного программирования

Целевая функция

$$F = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \rightarrow \max$$

Система ограничений

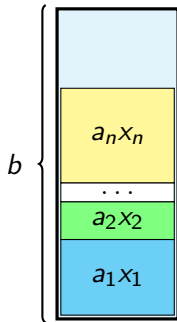
$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = b_2 \\ \dots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n = b_m \end{cases}$$

$$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$$



Приведение к каноническому виду

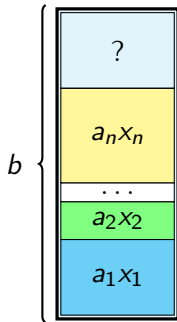
$$a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n \leq b$$





Приведение к каноническому виду

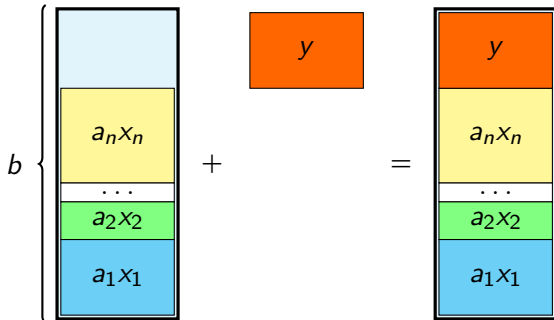
$$a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n \leq b$$





Приведение к каноническому виду

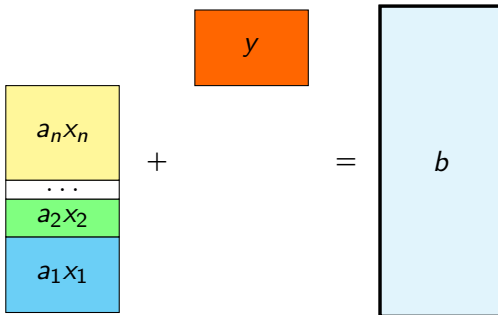
$$a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n \leq b$$





Приведение к каноническому виду

$$a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n \leq b$$

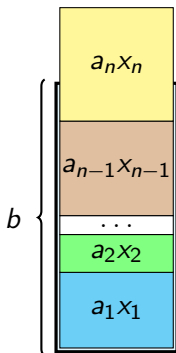


$$a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n + y = b$$



Приведение к каноническому виду

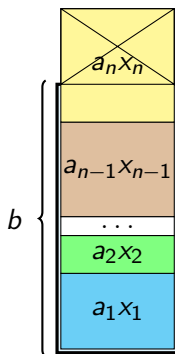
$$a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n \geq b$$





Приведение к каноническому виду

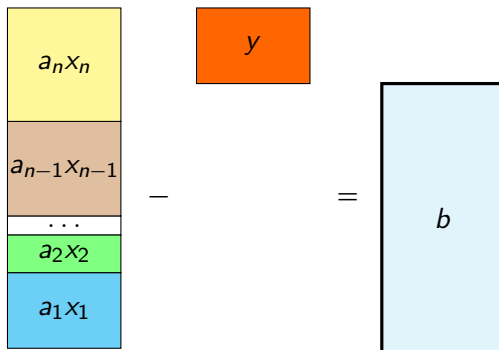
$$a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n \geq b$$





Приведение к каноническому виду

$$a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n \geq b$$



$$a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n - y = b$$

Теорема

Любую задачу линейного программирования можно представить в каноническом виде.

$$F = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \rightarrow \max$$

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = b_2 \\ \dots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n = b_m \end{cases}$$
$$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$$



К настоящему моменту вы знаете:

1. 4 метода решения систем линейных уравнений:
подстановка, матричный метод, формулы Крамера, метод Гаусса—Жордана,
2. Способ перебора неотрицательных решений системы.
3. Способ перехода от системы неравенств к системе уравнений.
4. Способ перехода от системы неравенств к системе уравнений.
5. Понятие задачи линейного программирования и область ее применения.

Убедитесь, что вы не только знаете, но и умеете применять рассказанные вам методы.



Задание

Для завершения лекции вам, как всегда, необходимо подготовить конспект:

1. Отрадите в нем идеи лежащие в основе методов Гаусса и Гаусса—Жордана.
2. Как понять, что система имеет бесконечное множество решений?
3. Как понять, что система не имеет решений?
4. Как понять, что решение системы единственно?
5. Как определить число свободных и зависимых переменных?
6. Как перебрать неотрицательные (опорные) решения системы линейных уравнений?
7. Как из системы неравенств сделать систему уравнений и зачем это нужно?



- ▶ **Высшая математика для экономистов.**
Под ред. Н. Ш. Кремера. Глава 2, §2.3,2.4,2.5 с. 44–52.
- ▶ **Высшая математика для экономистов. Практикум.**
Под ред. Н. Ш. Кремера. Глава 2, §2.1,2.2,2.3 с. 34–47.
- ▶ **Исследование и оптимизация моделей: Кремер Н. Ш.**
Исследование операций в экономике глава 1 с. 16–28.
- ▶ Все материалы по курсу здесь:
<https://cloud.mail.ru/public/48BX/47oESuaQQ>



Анонс:

На следующей лекции рассмотрим задачи два метода решения задач линейного программирования: графический метод и симплекс метод;