

**ВЛАДИМИР АНДРЕЕВИЧ
ЯКУБОВИЧ –
ОСНОВОПОЛОЖНИК
КИБЕРНЕТИКИ И
ИСКУССТВЕННОГО
ИНТЕЛЛЕКТА
в Ленинграде - Санкт-Петербурге**

**А.Л. Фрадков
ИПМаш РАН, СПбГУ**

Санкт-Петербург, 17 июня 2021 г.

**А.Л.Фрадков. Научная школа по теоретической кибернетике
В.А.Якубовича в Санкт-Петербургском (Ленинградском) университете.
В кн: История информатики и кибернетики в Санкт-Петербурге
(Ленинграде). Под.ред. Р.М.Юсупова. 2008, с. 79-83.**

**А.Л. Фрадков Научная биография В.А. Якубовича и его школа в Санкт-Петербургском. (Ленинградском) университете. Специальная сессия
"Владимир Андреевич Якубович и его научная школа".
XII Всероссийское совещание по проблемам управления (ВСПУ-2014).
Москва, 16-19 июня 2014 г.**

**S.V. Gusev, V.A. Bondarko. Notes on Yakubovich's method of recursive
objective inequalities and its application in adaptive control and robotics.
2020 IFAC Congress on Automatic Control. Berlin, 12-17 July, 2020**

**A.L. Fradkov Early History of Machine Learning.
2020 IFAC Congress on Automatic Control. Berlin, 12-17 July, 2020.**

ПЛАН ДОКЛАДА

- 1. Введение . Биография В.А.Якубовича**
- 2. Ранние годы кибернетики и ИИ: 1940-1950 гг**
- 3. Весна кибернетики и ИИ: 1960-е гг.**
- 4. Труды В.А.Якубовича по машинному обучению, распознаванию, адаптивным системам, роботам**
- 5. Статья В.А.Якубовича «Обучение машин распознаванию образов», 1963 г.**
- 6. Результаты В.А.Якубовича по адаптивным системам и интеллектуальным роботам: 1960-е гг**
- 7. Значение работ В.А.Якубовича для кибернетики и ИИ сегодня**
- 8. Заключение. Будущее кибернетики и ИИ.**



Владимир Андреевич Якубович (1926-2012)

1946-1948 – Учеба в МГУ

1956 – приход в ЛГУ (СПбГУ)

**1959 – защита докторской диссертации,
создание научной группы**

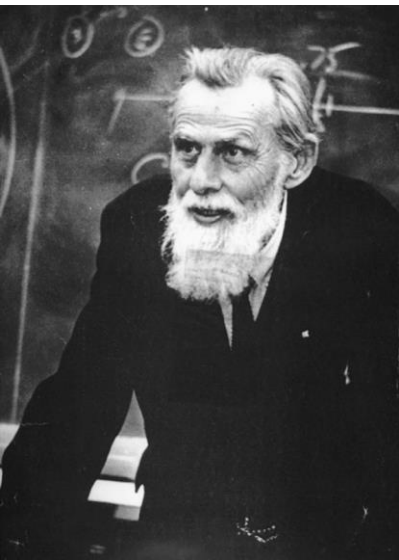
Основные даты жизни В.А.Якубовича

- 21 октября 1926 г. Родился в г. Новосибирске
- 1946 - поступление в МГУ
- 1949 – окончание МГУ. Переезд в Ленинград
- 1953 - защита кандидатской диссертации
- 1956 – приход на работу в Ленинградский университет
- 1959 – защита докторской диссертации
- 1962 - публикация статьи в ДАН СССР с частотной теоремой
- 1970 – создание кафедры теоретической кибернетики

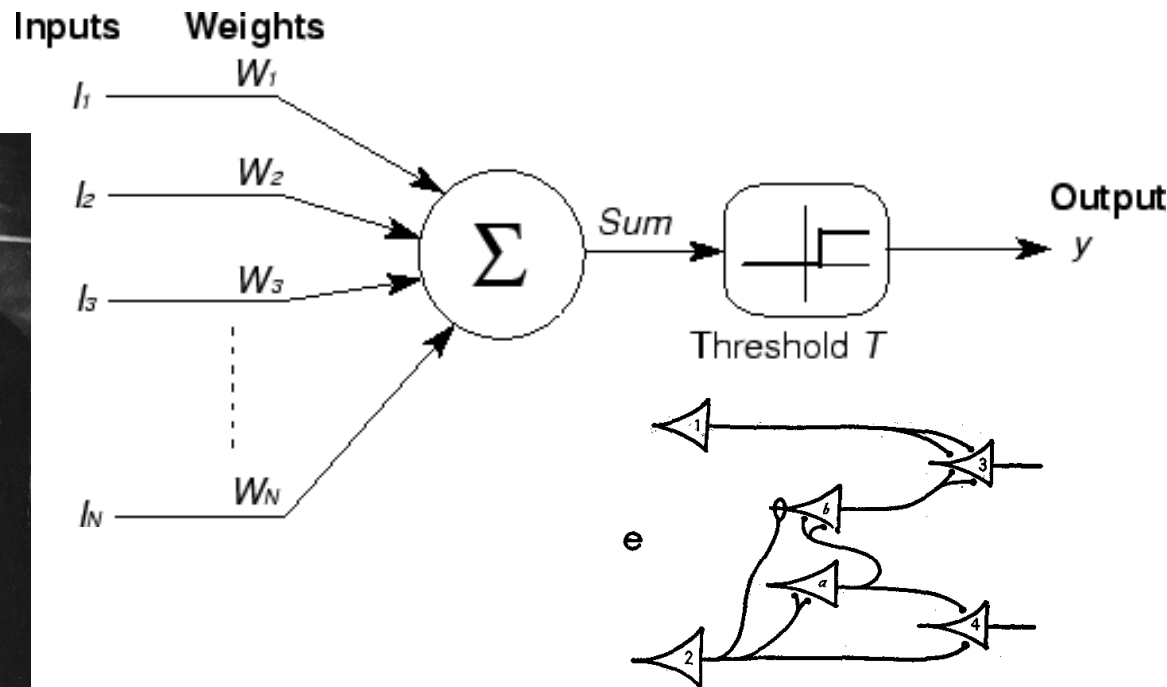
- 1992 - избрание в члены-корреспонденты РАН
- 1995 – награждение премией МАИК «Наука»
- 1996 – награждение медалью и премией IEEE
- 2006 – присвоение звания «Почетный профессор СПбГУ»
- 17 августа 2012 – скончался в Гдовском р-не Псковской обл.

2. Ранние годы кибернетики и ИИ

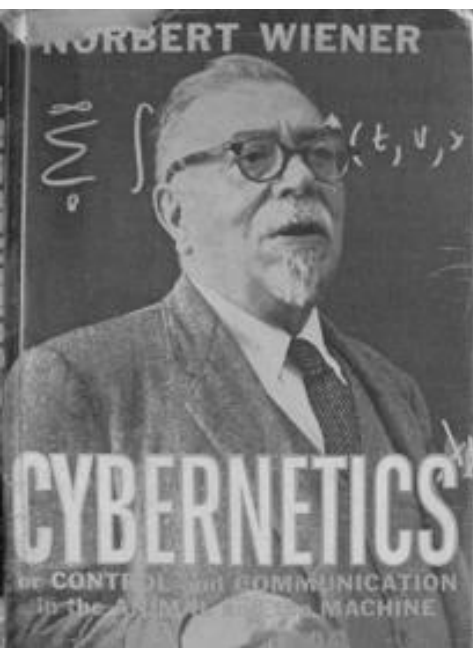
Начало истории ИИ - 1943 г., статья «Логическое исчисление идей, относящихся к нервной активности» Уоррен Мак-Каллок и Уолтер Питтс предложили понятие искусственной нейронной сети. В частности, ими была предложена модель искусственного нейрона и показано, что сеть из таких нейронов может работать как машина Тьюринга.



Warren McCulloch (1898-1969)



Walter Pitts (1923-1969)



2. Ранние годы кибернетики и ИИ(2)

In 1948 the book by Norbert Wiener (1894-1964) «**Cybernetics or control and communication in the animal and the machine**» was published in US and Europe



С 1946 по 1953, фонд Josiah Macy, Jr. спонсировал серию конференций (конференции Мейси), направленных на объединение междисциплинарного сообщества ученых и исследователей, заинтересованных в новой науке кибернетике. Они были нацелены на введение новых терминов, таких как **информация** и **обратная связь**, во многие дисциплины, включая биологию, неврологию, социологию, экологию, экономику, политику, психоанализ, лингвистику и информатику.

Участники: W.McCulloch (предс.) , N.Wiener, C.Shannon, J.von Neumann, W.R.Ashby, G.Walter, W.Pitts и другие

2. Ранние годы кибернетики и ИИ (3)

1952. Артур Сэмюэль создает первую программу для игры в шашки для IBM 701. В 1955 году Сэмюэль добавляет в программу способность к самообучению.

1954. Джорджтаунский эксперимент — демонстрация возможностей машинного перевода, (Нью-Йорк, штаб-квартира IBM). В ходе эксперимента был продемонстрирован полностью автоматический перевод более 60 предложений с русского на английский.

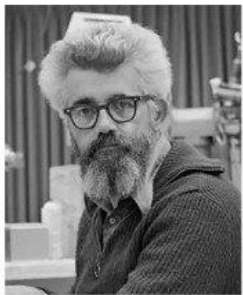
1956. Аллен Ньюэлл и Герберт Саймон: программа «Логик-Теоретик» доказала 38 из 52 теорем из главы 2 труда Рассела и Уайтхеда *Principia Mathematica*.

1956. *Automata Studies*, Edited by McCarthy and Shannon

2. Ранние годы кибернетики и ИИ (4)

ДАРТМУТСКИЙ СЕМИНАР (лето 1956г.) Организаторы John McCarthy, Marvin Minsky, Nathaniel Rochester and Claude Shannon.

**Тема: Artificial Intelligence – ввел J. McCarthy,
1956 Dartmouth Conference:
The Founding Fathers of AI**



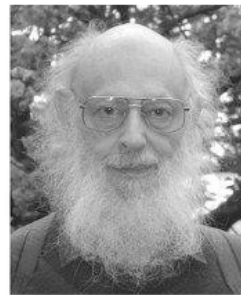
John MacCarthy



Marvin Minsky



Claude Shannon



Ray Solomonoff



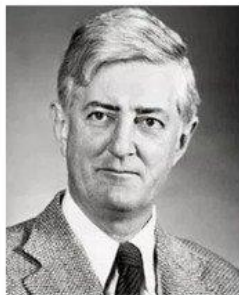
Alan Newell



Herbert Simon



Arthur Samuel



Oliver Selfridge



Nathaniel Rochester



Trenchard More

Отцы-основатели ИИ. (Courtesy of scienceabc.com)

2. 2. Ранние годы кибернетики и ИИ (6)



**John McCarthy
(1927-2011)**

ДАРТМУТСКИЙ СЕМИНАР (1956)

‘Что касается меня, то одна из причин изобретения термина «искусственный интеллект» - избежать ассоциации с "кибернетикой". Связь с аналоговой обратной связью казалась ошибочной, а мне не хотелось ни принимать Винера как гуру, ни спорить с им.

John McCarthy, IEEE Annals of the History of Computing, vol. 10, 1988, p. 22

Ronald R. Kline. Cybernetics, Automata Studies, and the Dartmouth Conference on Artificial Intelligence.

IEEE Annals of the History of Computing, V.23, 2011, pp.5-16.

2. Ранние годы кибернетики и ИИ (7)



**Allen Newell
(1927-1992)**

‘Newell recalled that after the mid-1950s, cybernetics split with AI over the issues of “symbolic versus continuous systems” and “psychology versus neurophysiology.”

«Ньюэлл напомнил, что с середины 1950-х кибернетика разделилась с ИИ по принципам "символические против непрерывных систем» и «психология против нейрофизиологии».

A. Newell, “Intellectual Issues in the History of Artificial Intelligence,” The Study of Information: Interdisciplinary Messages, Wiley, 1983.

ДИСКРЕТНОЕ:

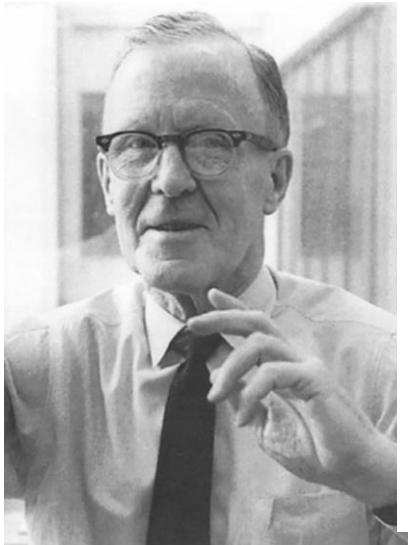
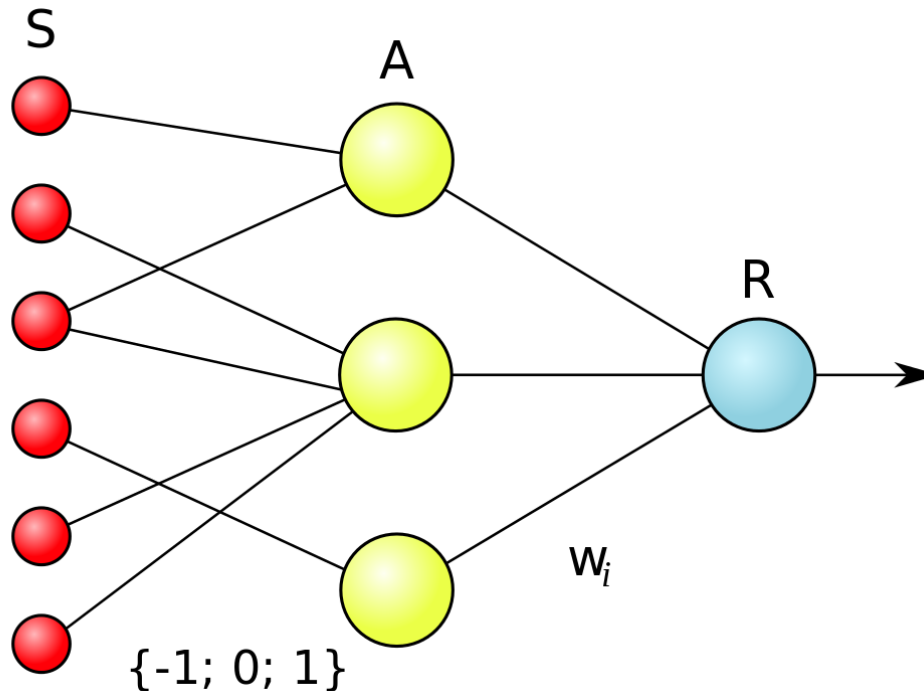
**Автоматы, языки, логика,
графы, коды, комбинаторика**

НЕПРЕРЫВНОЕ:

**топология, метрика, числа, поля
диф. уравнения, непр. функции**

2. 2. Ранние годы кибернетики и ИИ (8)

• Психолог Дональд Хебб (1904 -- 1985) в работе «Организация поведения» 1949 года впервые описал алгоритмы обучения нейронов. Правило Хебба: $\Delta w_i = \gamma x_i y$ (x_i – входы, y – выход (ошибка), w_i – веса, $\gamma > 0$ – к-нт усиления. Эти идеи развил нейрофизиолог Фрэнк Розенблатт (1928 -- 1971). В 1957 году он предложил схему устройства, моделирующего восприятие, и назвал его «перцептроном» (от лат. perceptio -- восприятие).



3. ВЕСНА КИБЕРНЕТИКИ И ИИ – 1960-е годы

КИБЕРНЕТИКА В СССР: 1950 – 1960гг

1950-1954 – нападки в прессе, засекречивание

Кибернетика [статья из Краткого философского словаря, 1954]

<http://vivovoco.rsl.ru/VV/PAPERS/BIO/CYBER.HTM>

("реакционная лженаука, возникшая в США после второй мировой войны и получившая широкое распространение и в других капиталистических странах, форма современного механицизма.")

- построение ЭВМ (первые в континентальной Европе)**
- 1955 Статья С.Л.Соболев, А.И.Китов, А.А.Ляпунов**
- 1958 Статья А.Н.Колмогорова в БСЭ**
- 1958-60 – Первые кафедры (А.А.Марков, МГУ - мат.логика)**
- 1958 – Книги (И.Полетаев «Сигнал», переводы)**
- 1959 – НС по кибернетике Президиума РАН (ак. А.И.Берг):**

Поспелов Д. А. Становление информатики в России // В кн.: «Очерки истории информатики в России» // Составители – Д.А. Поспелов, Я.И. Фет. 1998.

3. ВЕСНА КИБЕРНЕТИКИ и ИИ: 1960-е годы (2)

США: Ф. Розенблатт, Г. Себестеан, Б. Уидроу – распознавание образов (1958-1962 гг.)

Л. Заде – нечеткие системы (1965)

Д. Вейценбаум – ELIZA – виртуальный собеседник (1966)

СССР –кибернетика:

Распознавание образов: М. Бонгард (1961) – алгоритм «Кора»

Э. Браверман (1962), М. Айзерман (1963), **В. Якубович** (1963);

А. Лернер, В. Вапник, А. Червоненкис (1963, 1964);

М. Айзерман, Э. Браверман, Л. Розоноэр (1964) – распознавание и обучение.

СССР - ИИ: Д. А. Поспелов (1966, 1972, 1976...), Г. С. Поспелов, М. Л. Цетлин, В. Н. Захаров, В. Ф. Хорошевский, Э. В. Попов.

СПб: Г. С. Цейтин (1959) – машинный перевод текстов

С. Ю. Маслов (1964) – автомат. доказательство теорем.

В 1961-62 уч. году М. Л. Цетлин, М. М. Бонгард и В. И. Варшавский организовали в Комарово зимнюю школу-семинар по теории автоматов и распознаванию образов

3. ВЕСНА КИБЕРНЕТИКИ и ИИ (3)

КИБЕРНЕТИКА и ИИ В ЛЕНИНГРАДЕ: 1950 – 1960 гг

1956 – секция кибернетики Дома Ученых:

Л.В.Канторович, Л.П.Крайзмер.

1959 –лаборатории теоретической кибернетики ЛГУ.

**Создание кафедр автоматики в ЛВВИА им. Можайского,
(Е.П.Попов), ЛЭТИ (И.Тимофеев, А.Вавилов, В.Смолов,
В.И.Варшавский),
ЛПИ (А.И.Лурье).**

**С.А.Майоров и др. (ЛИТМО) – госпремия СССР 1969 г.
за разработку управляющей ЭВМ УМ1-НХ**

**- Распознавание образов, адаптивные системы, роботы.
Конечно-сходящиеся алгоритмы В.А.Якубовича**

Логические подходы Г.С.Цейтин, С.Ю.Маслов

**4. Труды В.А.Якубовича по машинному обучению,
распознаванию, адаптивным системам, роботам
(45 статей по ИИ с 1963 по 1977 г., монография 1981 г.,
(всего 105 статей в 1963-1977 гг., 55 статей без соавторов)**

**В.А.Якубович. Машины, обучающиеся распознаванию образов
// В кн. «Методы вычислений», ЛГУ. 1963. Вып.2. С.95--131.**

**В.А.Якубович. Некоторые общие теоретические принципы
построения обучаемых опознающих систем. I //**
**Вычислительная техника и вопросы программирования. Л.:
Изд-во ЛГУ, 1965. С.3--71.**

**В.А.Якубович. Рекуррентные конечно сходящиеся алгоритмы
решения систем неравенств // ДАН СССР. 1966. Т.166. №6.
С.1308--1312.**

4. Труды В.А.Якубовича по машинному обучению, распознаванию, адаптивным системам (2)

В.А.Якубович. К теории адаптивных систем // ДАН СССР. 1968. Т.182. N3. С.518--522.

В.А.Якубович. Адаптивные системы с многошаговыми целевыми условиями // ДАН СССР. 1968. Т. 183. N2. С.303--306.

А.Х.Гелиг, В.А.Якубович. Применение обучаемой опознающей системы для выделения сигнала из шума // Вычислительная техника и вопросы кибернетики. N5. Л.: Изд-во ЛГУ, 1968. С.95--100.

В.А.Якубович. Об одной задаче самообучения целесообразному поведению // Автоматика и телемеханика. 1969. N8. С.119--139.

В.А.Якубович. Конечно сходящиеся алгоритмы решения счетных систем неравенств и их применение в задачах синтеза адаптивных систем // ДАН СССР. 1969. Т.189. N3. С.495--498.

4. Труды В.А.Якубовича по машинному обучению, адаптивным системам и роботам (3)

В.А.Якубович. Об организации <<мозга>> одного класса систем, вырабатывающих целесообразное поведение (решенные и нерешенные задачи) // 4-я Всесоюзная конференция по нейрокибернетике, изд-во Ростовского университета, 1970.

Г.Д.Пенев, В.А.Якубович. О некоторых задачах адаптивного управления // ДАН СССР. 1971. Т. 198. N4. С.787--790.

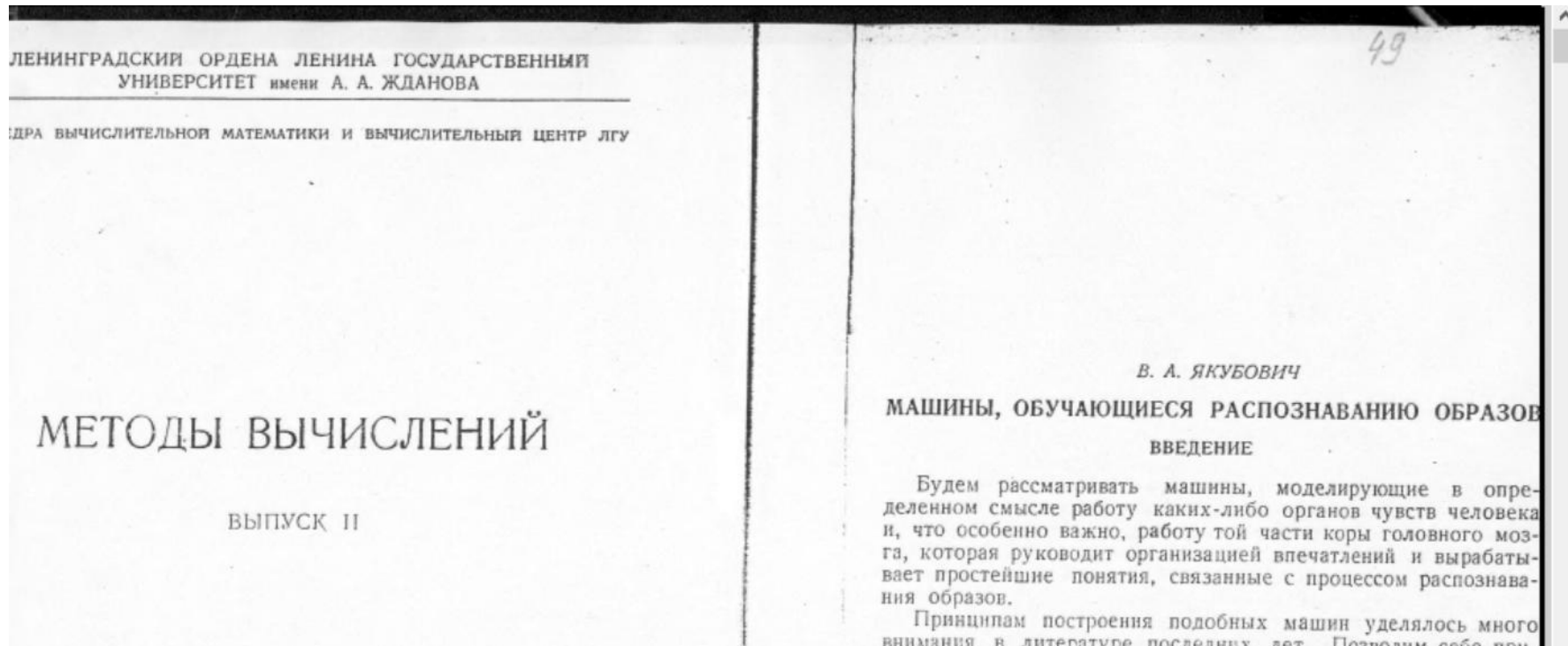
В.А.Якубович, А.В.Тимофеев. Об одном классе самообучающихся систем, обладающих целесообразным поведением // Управление и информационный процесс в живой природе. М.: Наука. 1971. С.111--113.

А.В.Тимофеев, В.В.Харичев, А.А.Шмидт, В.А.Якубович. Одна задача распознавания и описания изображений // Биологическая, медицинская кибернетическая и бионика. Киев: Изд-во Научного совета по кибернетике и Института кибернетики, 1971.

С.В.Гусев, А.В.Тимофеев, В.А.Якубович. Адаптация в робототехнических системах с искусственным интеллектом // VII Всесоюзное совещание по проблемам управления. Тезисы докладов. Минск. 1977. С.279—282.

5. Статья ЯВА «Обучение машин распознаванию образов» (Методы вычислений, II, 1963, ЛГУ).

В СССР общие постановки задач обучения были предложены в 1963-1964 гг в группах Айзермана и Лернера (Вапник, Червоненкис) в Москве и в группе Якубовича в Ленинграде. Вапник и Якубович развивали детерминистские подходы, а Айзерман ставил задачу обучения в вероятностном смысле.



5. Статья ЯВА «Обучение машин распознаванию образов» (Методы вычислений, II, 1963, ЛГУ).

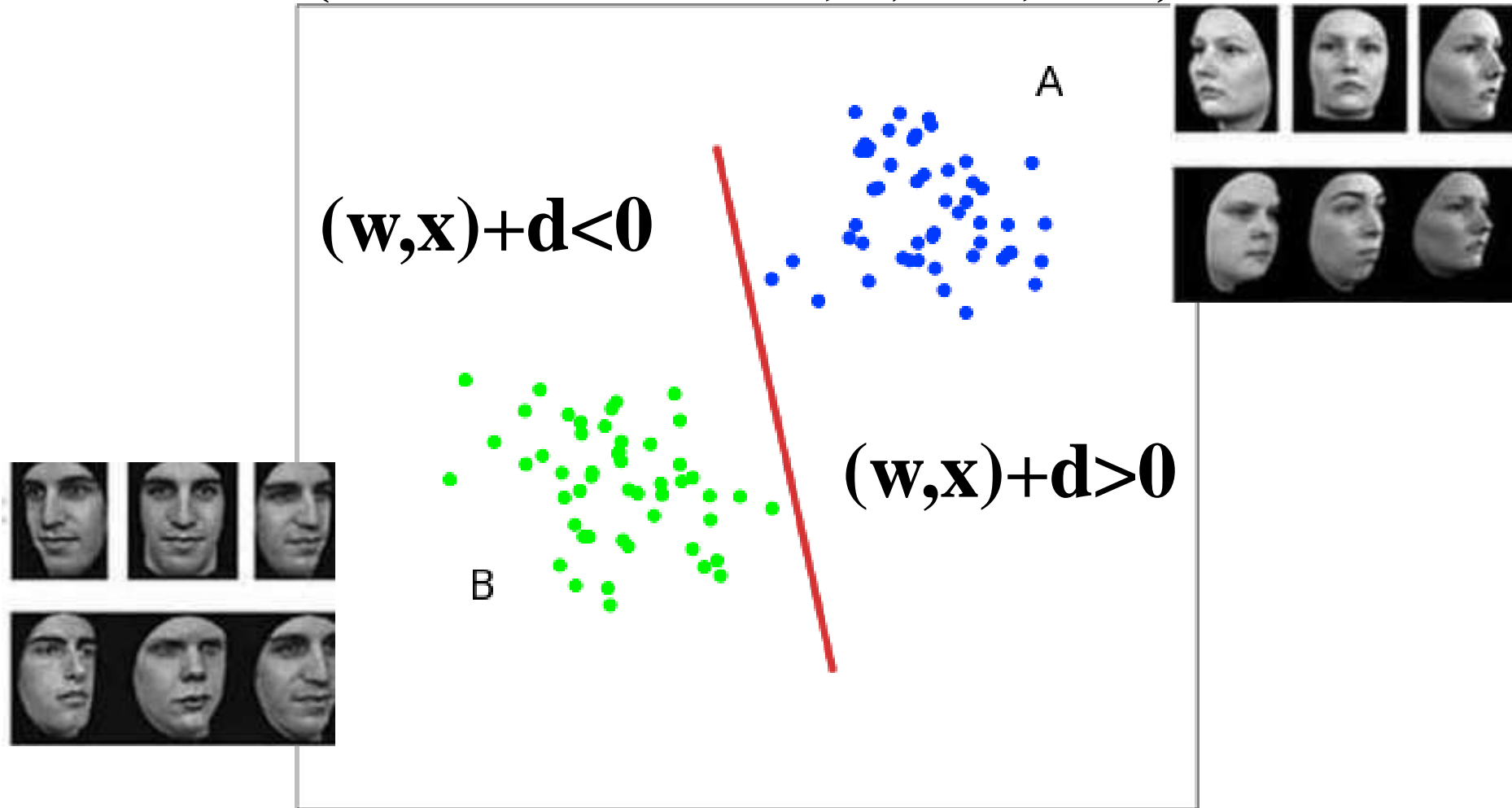


Мужские лица

Женские лица

Оцифровка: вводятся признаки: $x = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$,
координаты объектов: $X_k = \{x_{k1}, x_{k2}, \dots, x_{km}\}$, $k=1, \dots, N$
функция $y(x)$ – номер класса, $y(x) = -1$ – **М**, $y(x) = +1$ – **Ж**

**5. Статья ЯВА «Обучение машин распознаванию образов»
(Методы вычислений, II, 1963, ЛГУ).**



Разделяющая гиперплоскость:
 $(w, x) + d = 0 \quad w = \{w_1, w_2, \dots, w_m\}.$



- Кто это?

5. Статья ЯВА «Обучение машин распознаванию образов» (Методы вычислений, II, 1963, ЛГУ).

Теорема 1. Пусть S_1, S_2 — непересекающиеся компактные выпуклые тела в гильбертовом или евклидовом пространстве X .

Предположим, что из множества S_1 выбираются случайным и независимым образом элемент $x'_1, x'_2, \dots, x'_{m_1}$ и из множества S_2 — элементы $x''_1, x''_2, \dots, x''_{m_2}$. Предположим, что какова бы ни была внутренняя точка $x' \in S_1$ и какова бы ни была ее окрестность, целиком содержащаяся в S_1 , вероятность того, что точка x'_j будет выбрана в этой окрестности не зависит от j и > 0 . Предположим также, что аналогичное утверждение справедливо для множества S_2 .

Пусть

$$\min_{j, h} |x'_j - x''_h| = |x'_r - x''_s| \quad (3.5)$$

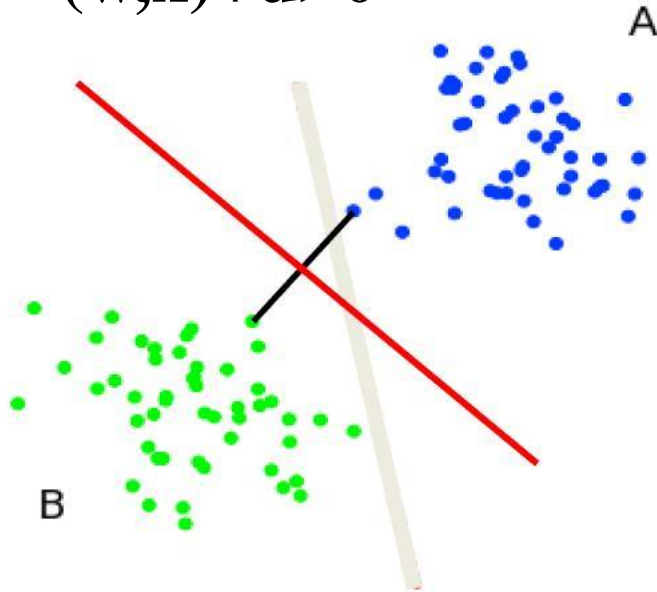
и P_{m_1, m_2} означает вероятность выполнения соотношения (3.1) для

$$\psi(x) = \left(x - \frac{x'_r + x''_s}{2}, \quad x'_r - x''_s \right). \quad (3.6)$$

Тогда $P_{m_1, m_2} \rightarrow 1$ при $\min(m_1, m_2) \rightarrow +\infty$.

5. Статья ЯВА «Обучение машин распознаванию образов» (Методы вычислений, II, 1963, ЛГУ).

$$(w, x) + d > 0$$



$$(w, x) + d < 0$$

$$\|X'_r - X''_s\| = \min_{i,j} \|X'_i - X''_j\|$$

$$X'_i \in A, \quad X''_j \in B.$$

$$w = X'_r - X''_s,$$

$$d = -0.5(X'_r + X''_s, X'_r - X''_s)$$

Теорема 2. Выпуклость класса множеств на плоскости

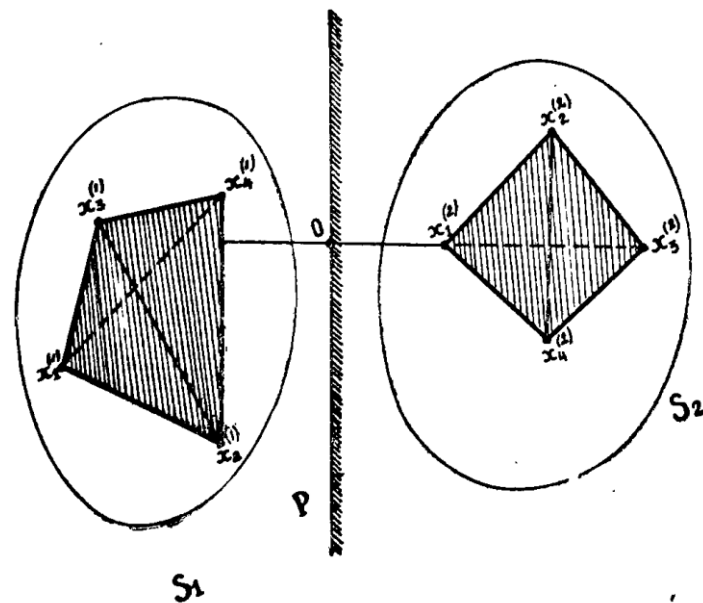
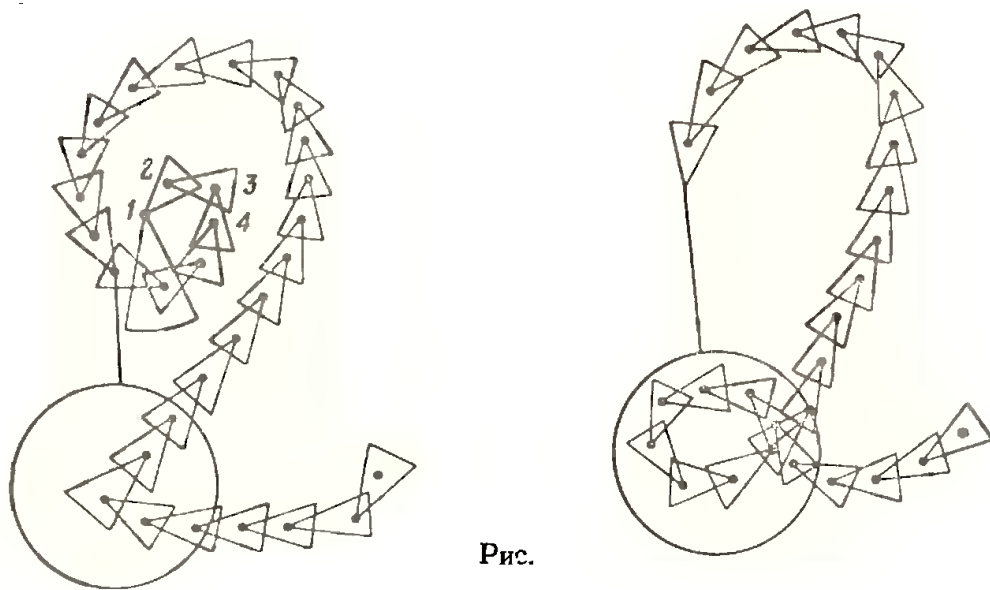
Теорема 3. Разделение выпуклых оболочек множеств

п.6. Разделение нескольких невыпуклых множеств

5. Приложения в криминалистике

Б.Н.Козинец, Р.М.Ланцман, В.А.Якубович. Криминалистическая экспертиза близких почерков при помощи электронно-вычислительных машин // ДАН СССР. 1966. Т.167. N8.

Б.Н.Козинец, Р.М.Ланцман, В.А.Якубович. Об одном кибернетическом методе исследования в криминалистической экспертизе почерка // Сборник научно-исследовательских работ. N2. Литовский НИИСЭ, Судебная экспертиза и кибернетика. Изд-во НИИСЭ, 1966. С.55--84



5. Статья ЯВА «Обучение машин распознаванию образов» (Методы вычислений, II, 1963, ЛГУ).

ДРУГИЕ ПОДХОДЫ

- 1. Б.Н.Козинец. Об одном алгоритме обучения линейного персептрона, Выч.техника и вопросы программирования 1964.**
- 2. Митчелл Б. Ф., Демьянов В. Ф., Малозёмов В. Н. Нахождение ближайшей к началу координат точки многогранника // Вестник ЛГУ. 1971. № 19. С. 38-45.**
- 3. (2b) В. Н. Малозёмов МДМ методу — 40 лет. Вестник Сыктывкарского ун-та, 15, 2012.**
- 4. В. Н. Вапник, А. Я. Червоненкис, “Об одном классе персептронов”, Автомат. и телемех., 25:1 (1964), 112–120.**

6. Результаты В.А.Якубовича по адаптивным системам и интеллектуальным роботам

Доклады Академии наук СССР
1968. Том 182, № 3

УДК 061.3(47):62-506.1 КИБЕРНЕТИКА И ТЕОРИЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ

В. А. ЯКУБОВИЧ

К ТЕОРИИ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ

(Представлено академиком В. И. Смирновым 25 X 1967)

В соответствии с принятой терминологией будем называть адаптивной систему, закон функционирования которой меняется в зависимости от приобретаемого опыта. Системе сообщается в каком-либо виде информация о «неудачности» или «удачности» ее поведения по отношению к некоторому целевому условию. Определенные характеристики среды и системы, а также, возможно, целевого условия неизвестны конструктору, — они могут быть любыми из некоторого класса \mathcal{M} . Будем называть систему разумной в классе \mathcal{M} , если для любого целевого условия и любых характеристик этого класса наступает момент, после которого целевое условие начинает всегда выполняться. Ниже приводится точная, формализованная постановка простейшего варианта задачи построения по заданному классу \mathcal{M} системы, разумной в этом классе («простейший робот»), а также, при 26 ряде предположений, — решение этой точно поставленной задачи.

6. Результаты В.А.Якубовича по адаптивным системам и интеллектуальным роботам (2)

Первая теорема робототехники

2°. **Робот «кузнечик»** (\mathbf{K}). Внешними координатами \mathbf{K} являются $x = \|z, \varphi\|$, где z — комплексное число ($|z| \leq L$), определяющее декартовы координаты \mathbf{K} , а «курсовой» угол φ , $0 \leq \varphi \leq 2\pi$ определяет ориентацию \mathbf{K} . Среда отождествляется с комплексным числом s (координаты цели), $|s| \leq L$. Число L — варьируемый параметр. Системой координат \mathbf{K} будем называть систему с центром в точке z , повернутую на угол φ .

3°. **Робот «глаз—рука»** ($\mathbf{ГР}$). Внешними координатами $\mathbf{ГР}$ является пара комплексных чисел z, z' , связанных соотношениями $|z| = l$, $|z' - z| = l'$, где $l > 0$, $l' > 0$ — варьируемые параметры. (Вектор z — «плечо», вектор $(z' - z)$ — «предплечье», точка z' — «конец руки»). Среда отождествляется с парой комплексных чисел s', s'' , где $|s' - s''| = \delta$, $|s'| \leq l + l' - \delta_0$. Здесь δ_0 — параметр, δ — варьируемый параметр. Чис-

*Теорема 1. При выполнении условий (I) — (IV) могут быть построены уравнения мозга так, чтобы полученный **простейший робот** стал разумен в классе задач \mathfrak{M} .*

Доказательство. Пусть $k = 1$ и $c_1 = \|y^h\|_{h=1}^q$. Выберем $\rho > 0$

6. Результаты В.А.Якубовича по адаптивным системам и интеллектуальным роботам (3)

«РАЗУМНЫЕ» РОБОТЫ: «ЯСТРЕБ» и «ВЕЛОСИПЕДИСТ»

Доклады Академии наук СССР
1968. Том 183, № 2

УДК 518.9 + 519.95 КИБЕРНЕТИКА И ТЕОРИЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ

В. А. ЯКУБОВИЧ

АДАПТИВНЫЕ СИСТЕМЫ С МНОГОШАГОВЫМИ ЦЕЛЕВЫМИ УСЛОВИЯМИ

(Представлено академиком Л. С. Понтрягиным 8 IV 1968)

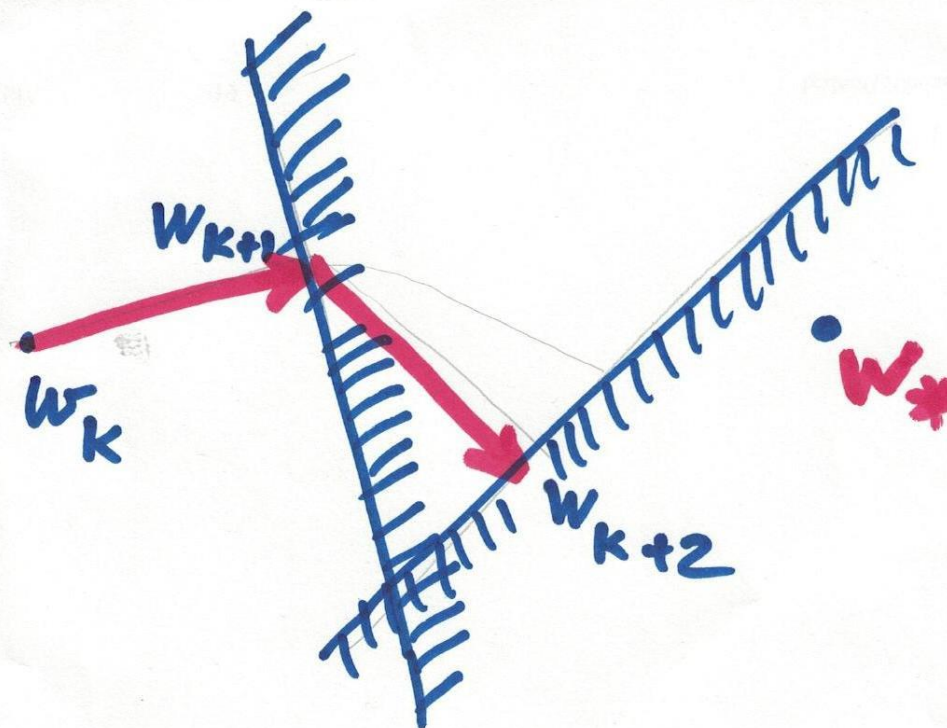
1°. Повторим определение (1) **простейшего робота** с необходимыми для дальнейшего изменениями. Будем считать, что время t принимает значения

2°. **Робот «ястреб» (Я)**. Цель и Я описываются точками в прямоугольнике D на плоскости, которые перемещаются одновременно в моменты $t = 0, 1, \dots$. Скорости их перемещения ограничены величинами v_c и v_y . Задача цели — пролететь «опасную» зону D , задача Я — поймать цель, т. е. попасть в ε -окрестность той точки, где окажется в следующий момент цель. Цель реагирует на Я, т. е. перемещение цели зависит от взаимного расположения цели и Я. Закон движения цели (определяемый значениями в.п.) неизвестен Я, и Я должен найти его в процессе преследования, «изучая» реакции цели. (Точнее, мозг Я должен найти нужные управления как функции сенсоров.) Перейдем к более точному изложению.

3°. **Робот «велосипедист» (В)***. Пусть χ — угол между плоскостью рамы велосипеда и вертикальной плоскостью, ψ — угол поворота руля. При ряде предположений и после замены производных разностными

6. Результаты В.А.Якубовича по адаптивным системам и интеллектуальным роботам (4)

Алгоритм ЯВА (В.А. Якубович, 1965, 1966)



$$(w, x) + d > 0$$

Пространство гиперплоскостей $\{w, d\}$: $(w, x) + d = 0$

$$w = \{w_1, w_2, \dots, w_m\}.$$

В.А.Якубович. Рекуррентные конечно сходящиеся алгоритмы решения систем неравенств // ДАН СССР. 1966. Т.166. N6.

6. Результаты В.А.Якубовича по адаптивным системам и интеллектуальным роботам (5)

Я.З.Цыпкин, Адаптация и обучение в автоматических системах, М.: Наука, 1968



№ п/п	Функционал	Алгоритм	Авторы
1	$J(c) = M[(\text{sign } y - \text{sign } c^T \varphi(x)) c^T \varphi(x)]$	$c[n] = c[n-1] + \gamma[n](\text{sign } y[n] - \text{sign } c^T[n-1] \varphi(x[n])) \varphi(x[n])$	Айзерман М. А., Браверман Э. М., Розоноэр Л. И. [7], Якубович В. А. [8]
2	$J(c) = M[y - c^T \varphi(x)]$	$c[n] = c[n-1] + \gamma[n] \text{sign}(y[n] - c^T[n-1] \varphi(x[n])) \varphi(x[n])$	Айзерман М. А., Браверман Э. М., Розоноэр Л. И. [2]
3	$J(c) = M[(y - c^T \varphi(x))^2]$	$c[n] = c[n-1] + \gamma[n](y[n] - c^T[n-1] \varphi(x[n])) \varphi(x[n])$	Айзерман М. А., Браверман Э. М., Розоноэр Л. И. [2], Якубович В. А. [8]
4	$J(c) = M[(R(D(x)) - R(c^T \varphi(x))) c^T \varphi(x)]$	$c[n] = c[n-1] + \gamma[n][R(D(x[n])) - R(c^T[n-1] \varphi(x[n]))] \varphi(x[n])$	Айзерман М. А., Браверман Э. М., Розоноэр Л. И. [12]
5	$J(c) = \sum_{i=1}^l F_1^2(1 - c^T k^i) + \sum_{j=l+1}^N F_2^2(k - c^T k^j)$	$\frac{dc_i}{dt} = -\gamma(t) F_1(1 - c^T k^i) F_1'(1 - c^T k^i) \quad (1 \leq i \leq l);$ $\frac{dc_i}{dt} = -\gamma(t) F_2(k - c^T k^j) F_2'(k - c^T k^j) \quad (l+1 \leq j \leq N)$	Вапник В. Н., Червоненкис А. Я., Лернер А. Я. [9,10]

6. Результаты В.А.Якубовича по адаптивным системам и интеллектуальным роботам (5)

МОНОГРАФИИ ШКОЛЫ В.А.ЯКУБОВИЧА по ИИ

В.Н.Фомин. Математическая теория обучаемых опознающих систем. Изд-во ЛГУ, 1976.

А. В. Тимофеев

Роботы и искусственный интеллект. М. Наука 1978

Фомин В.Н., Фрадков А.Л., Якубович В.А.

Адаптивное управление динамическими объектами. М.: Наука, 1981.

Гелиг А . Х. Динамика импульсных систем и нейронных сетей. Л.: Изд-во ЛГУ, 1982.

Р. М. Грановская, И. Я. Березная.

Интуиция и искусственный интеллект. Л.: Изд-во ЛГУ, 1991.

В 1996 г. В.А.Якубовичу присуждена главная ежегодная премия по системам управления международного общества IEEE (IEEE Control Systems Award) и медаль «за пионерские и фундаментальные достижения в теории устойчивости и оптимального управления».





CDC-96, Kobe, Japan, 1996 (IEEE Control System Award Ceremony)

- **7. Значение работ В.А.Якубовича для кибернетики и ИИ сегодня**

- 1. Математические постановки задач теории обучающихся и адаптивных систем - **применяются****
- 2. Метод РЦН - **имеет потенциал применений****
- 3. Адаптивное субоптимальное управление - **тренд****

В.А.Якубович. Адаптивное субоптимальное управление линейным динамическим объектом при наличии запаздывания в управлении // Кибернетика. 1976. N1

В.А.Бондарко, В.А.Якубович. Синтез субоптимальной адаптивной системы с эталонной моделью для управления дискретным линейным динамическим объектом // В сб.: Адаптация и обучение в системах управления и принятия решений. Новосибирск: Наука, 1982. С.10--27.

- **7. Значение работ В.А.Якубовича для кибернетики и ИИ сегодня (2)**
- **Reinforcement learning – обучение с подкреплением**
 F. Lewis; D. Vrabie. Reinforcement learning and adaptive dynamic programming for feedback control IEEE Circ. Syst. Magazine 2009, 9 (3)
Cited by: (697)
 F. Lewis; D. Vrabie. Kyriakos G. Vamvoudakis. Reinforcement Learning and Feedback Control: Using Natural Decision Methods to Design Optimal Adaptive Controllers IEEE Cont. Syst. Magazine 2012 32 (6) **Cited by:(424)**
 R.S. Sutton; A.G. Barto; R.J. Williams. Reinforcement learning is direct adaptive optimal control. IEEE Control Systems Magazine: 1992, V.12 (2)
Cited by: (189)
 Yang, X., Liu, D., Wang, D. Reinforcement learning for adaptive optimal control of unknown continuous-time nonlinear systems with input constraints, 2014 International Journal of Control, 87(3), c. 553-566. **Times Cited: (112)**
 B. Recht. A Tour of Reinforcement Learning: The View from Continuous Control. Annu. Rev. Control Robot. Auton. Syst. 2019. 2:253–79

8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ. БУДУЩЕЕ КИБЕРНЕТИКИ И ИИ

ВОЗВРАЩЕНИЕ КИБЕРНЕТИКИ

Return of cybernetics. Editorial. Nature Machine

Intelligence, Vol. 1, p. 385 (2019), Sept. 11, 2019.

- As a result, the term cybernetics became less known than artificial intelligence, but there is currently a revival of interest in and appreciation for Wiener's ideas, together with a renewed focus on augmentation of human abilities. Meanwhile, the development of brain-machine or neural interfaces has made substantial progress in the medical sciences since the 1970s, and the synergy with artificial intelligence research this past decade is bringing the different strands of research together

CONTROL MEETS LEARNING!