

# СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

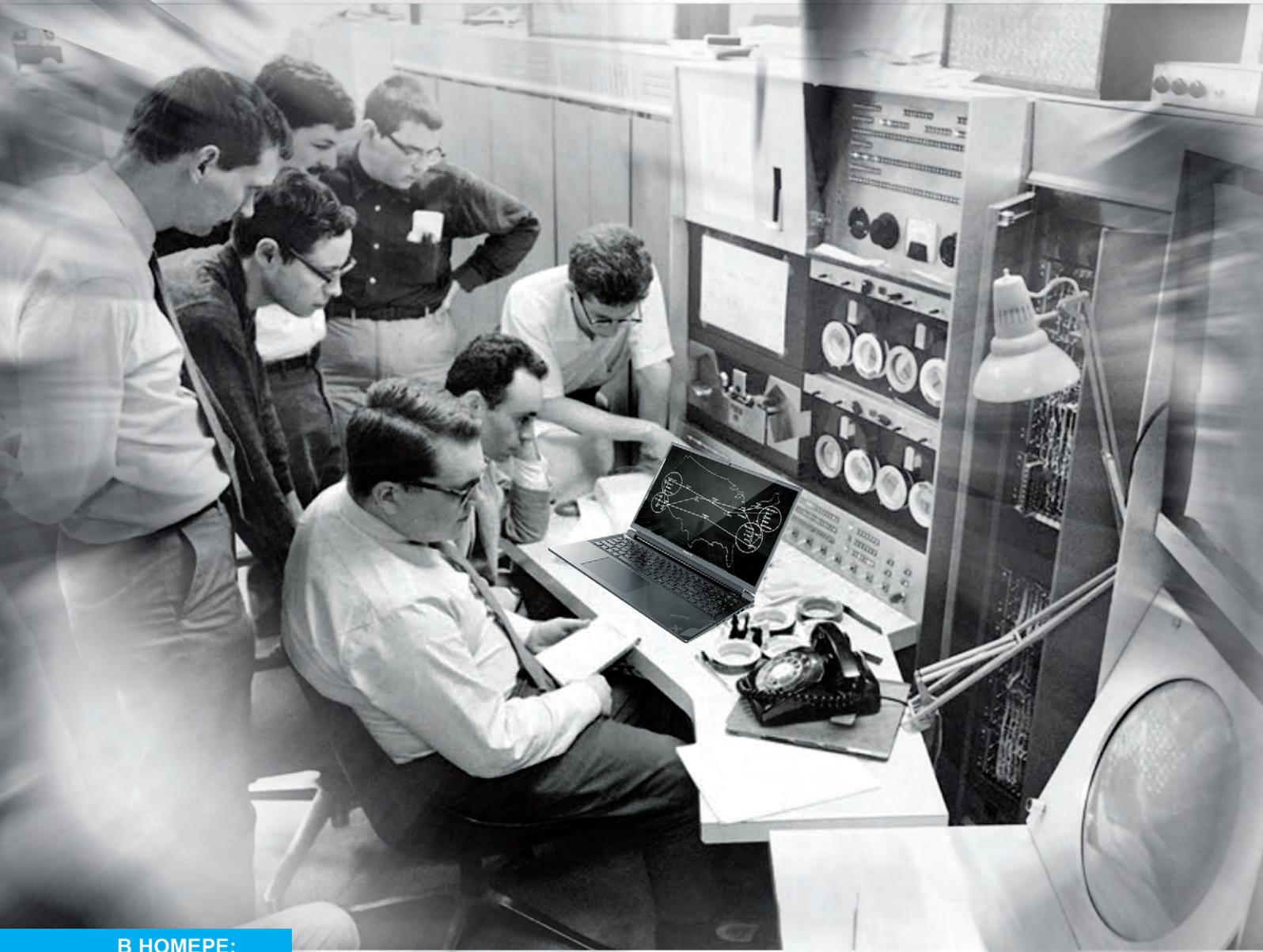
5

2025



Электронная  
версия этого  
журнала

**А ВОТ ИНТЕРНЕТ, КОТОРЫЙ  
ПОСТРОИЛА BBN**



В НОМЕРЕ:

**СДЕЛАЕТ ЛИ ИИ  
НЕНУЖНЫМ ЗНАНИЕ?**

**ПРОСТЫЕ И ПОЛЕЗНЫЕ  
ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕЦЕПТЫ**

ПРОИЗВОДСТВО  
МИРОВОГО УРОВНЯ

ЕВГЕНИЙ  
ЛИПКИН

# ПРОИЗВОДСТВО МИРОВОГО УРОВНЯ

ЕВГЕНИЙ  
ЛИПКИН

ПУТЬ К ЭФФЕКТИВНОСТИ  
РОССИЙСКОГО  
ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

АКАДЕМИЯ  
ТЕХНОЛОГИЙ  
ОСТЕК-СМТ



НОВИНКА

 **ostec**  
группа компаний

Реклама



# ЧИТАЙТЕ В КОМФОРТЕ



## ПЕЧАТНАЯ ВЕРСИЯ ЖУРНАЛА «СТА»

подписка с гарантированной доставкой



онлайн: [www.cta.ru](http://www.cta.ru) • +7 495 234-0635 • [shop@cta.ru](mailto:shop@cta.ru)

на почте: по каталогу «Урал-Пресс» (на год – 81872, на полугодие – 72419)



Здравствуйтесь, уважаемые друзья!

Программирование без знания языков и основ программирования, разработки в области инженерии и микроэлектроники без соответствующего образования и опыта. Нас настойчиво убеждают, что ИИ может решить любую задачу – надо только правильно задать вопрос. Но это, мягко говоря, не совсем так. Во всяком случае пока. Вторая часть статьи Виктора Алексея посвящена использованию искусственного интеллекта в разработках новых электронных устройств. Будем разбираться вместе.

Многие из нас слышали, что «DARPA изобрела Интернет». Но мало кто знает о компании BBN, внёсшей наибольший вклад в создание ARPANet – прообраз современного Интернета. Наша статья познакомит вас с уникальной организацией этой компании, чья модель управления стала идеальным ориентиром для тех, кто ищет способы эффективно организовать исследовательские проекты в рамках коммерческой фирмы. Вы узнаете немало интересных и малоизвестных фактов из истории проекта, изменившего мир.

Читайте в этом номере подробное руководство по работе с инкрементным энкодером, описание автоматической системы учёта коммунальных ресурсов, обзор тенденций в области автоматизации, а также многое другое.

Заходите на наш информационный портал [www.cta.ru](http://www.cta.ru), где вас всегда ждут свежие новости со всего мира, а также последние выпуски наших журналов. Подписывайтесь на наши каналы в Телеграм, ВК, на RuTube, YouTube и на Дзене!

Спасибо, что остаётесь с нами, читайте с удовольствием.  
Всего вам доброго!

Юрий Широков, главный редактор

Журнал «Современная электроника»  
Издаётся с 2004 года

Главный редактор Ю. В. Широков  
Заместитель главного редактора А. В. Малыгин  
Редакционная коллегия А. Е. Балакирев, В. К. Жданкин,  
С. А. Сорокин, Р. Х. Хакимов  
Вёрстка М. Ю. Соколов  
Обложка Д. В. Юсим  
Распространение Ю. А. Фенчева ([shop@cta.ru](mailto:shop@cta.ru))  
Реклама Н. А. Антипов +7 (968) 567-30-06 ([antipov.n@cta.ru](mailto:antipov.n@cta.ru))

Учредитель и издатель ООО «СТА-ПРЕСС»

Генеральный директор К. В. Седов

Адрес учредителя и издателя:

117279, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 108,  
пом/ком/эт I/67/тех

Почтовый адрес: 117437, г. Москва,

Профсоюзная ул., 108

Тел.: (495) 232-00-87

[shop@cta.ru](mailto:shop@cta.ru) • [www.cta.ru](http://www.cta.ru)

Производственно-практический журнал

Выходит 9 раз в год. Тираж 10 000 экз.

Цена свободная

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия (свидетельство ПИ № ФС77-18792 от 28 октября 2004 г.)

Отпечатано: ООО «МЕДИАКОЛОР».

Адрес: Москва, Сигнальный проезд, 19,  
бизнес-центр Вэлдан.

Тел./факс: (499) 903-69-52

Перепечатка материалов допускается только с письменного разрешения редакции.

Ответственность за содержание рекламы несут рекламодатели.

Ответственность за содержание статей несут авторы.

Материалы, переданные редакции, не рецензируются и не возвращаются.

Мнение редакции не обязательно совпадает с мнением авторов.

Все упомянутые в публикациях журнала наименования продукции и товарные знаки являются собственностью соответствующих владельцев.

© СТА-ПРЕСС, 2025

## Мы в соцсетях



# СОДЕРЖАНИЕ 5/2025

## РЕКЛАМОДАТЕЛИ

Delta Design	4-я стр. обл.
Innodisk	55
Остек СМТ	2-я стр. обл.
Элеконд	19
Эркон	17



Интервью с Михаилом Нагорским, техническим директором Концерна Гудвин (Гудвин Европа).

Концерн Гудвин запатентовал компактное устройство, объединяющее голосовую связь, точный мониторинг местоположения (Wi-Fi 6.0, BLE) и Mesh-сети LoRa с поддержкой голоса. Решение уже применяется в «Газпроме» для контроля персонала в опасных зонах – мобильный кейс с трекерами, газоанализом и экстренными оповещениями.

В разработке – Bluetooth 6.0 для позиционирования с точностью до десятков сантиметров, а также DECT-системы для объектов КИИ, включая российскую офисную трубку (анонс осенью). Планируется внедрение нейросетей для анализа данных мониторинга.

Технические специалисты (инженеры, разработчики телеком-оборудования, специалисты по промышленной автоматизации и безопасности) найдут здесь детали интеграции сложных функций в единое устройство, а также практические кейсы промышленного внедрения.

Смотрите/читайте интервью – узнайте, как совмещают голос, трекинг и Mesh в одном устройстве!



## ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ

**4** Подключение инкрементного энкодера к программируемому реле  
*Сергей Шишкин*

**10** Мигающие сигнализаторы с низковольтным питанием и акустическим датчиком  
*Александр Одинец*

**16** Умная автоматика для дома  
*Олег Вальпа*

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

**20** Современная электроника и искусственный интеллект. Часть 2. Использование искусственного интеллекта в разработках новых электронных устройств  
*Виктор Алексеев*

**34** О, чудо: Интернет, который построила BVN  
*Эрик Гиллиам*

**50** Тенденции в области автоматизации и цифровизации в 2025 году  
*Андрей Кашкаров*

# Подключение инкрементного энкодера к программируемому реле

Сергей Шишкин

В статье представлены технические решения на аппаратном и программном уровне, подключения инкрементных энкодеров к программируемому реле ОВЕН ПР103 и ОВЕН ПР205.

## Введение

В средствах автоматизации и числового программного управления, промышленной робототехнике, в электромеханических системах управления различного назначения широко используются датчики угловой скорости вращения и угла поворота вала. В качестве датчика может быть задействовано электромеханическое устройство – энкодер. По способу выдачи информации энкодеры делятся на инкрементные (накапливающие) и абсолютные (позиционные). По принципу действия энкодеры принято разделять на оптические резисторные, магнитные и механические. Принцип работы оптических энкодеров основан на регистрации относительной величины прошедшего через растровое сопряжение потока оптического излучения как координатно-периодической функции взаимного углового положения регулярного растра шкалы и растров окон анализатора.

Инкрементный энкодер на выходе выдаёт за один оборот определённое количество импульсов, которое называется разрешением энкодера, а абсолютный энкодер выдаёт

цифровую информацию о текущем угле поворота. Абсолютные энкодеры позволяют определять текущее положение оси поворота в любой момент времени, в том числе и после отключения питания. Абсолютные энкодеры являются более функциональными, но и более дорогими устройствами. Поэтому на практике большее распространение получили инкрементные энкодеры. Рассмотрим совсем коротко их работу, принцип действия в части подключения к приёмным устройствам. На рис. 1 показан внешний вид отечественного инкрементного энкодера ЛИР-112А. На рис. 2 показан внешний вид инкрементного энкодера E50S8-2500-3-T-24.

Технические характеристики инкрементного энкодера E50S8-2500-3-T-24:

- диаметр корпуса: 50 мм;
- диаметр вала: 8 мм;
- количество импульсов на оборот вала: 2500;
- выходной сигнал: комплементарный;
- напряжение питания энкодера: 24 В постоянного тока.

Данный энкодер имеет три выходных сигнала: А, В, Z. При вращении вала энкодера с его выходов

А, В, Z формируются сигналы, которые представляют собой последовательность прямоугольных импульсов. Последовательности импульсов А и В сдвинуты на 90° относительно друг друга (т.е. формируются парафазные импульсы), что позволяет определять направление вращения. На рис. 3 приведён пример изменения сигналов в датчике во времени при вращении в одном заданном направлении.

Имеется также третий вход нулевой (референтной) метки (Z), который позволяет определить абсолютное положение вала, поскольку сразу же после включения положение вала неизвестно (в некоторых технологических задачах это необходимо). Указатель нулевой отметки – это специальный импульс энкодера, который генерируется при достижении определённого положения его вращающегося диска. Этот указатель соответствует конкретной, заранее заданной точке на диске, которая обычно обозначается как «нулевая», или «начальная», точка. Некоторые модификации энкодеров могут поставляться с дифференциальными выходами А, А, В, В, Z, Z.

Скорость вращения вала определяется как число импульсов за единицу времени (обороты в минуту). Если вал останавливается, то прекращается и передача импульсов. При выключении электропитания текущая информация об угле поворота вала, как правило, теряется. Отрицательный момент в работе инкрементного энкодера – это необходимость непрерывной обработки его выходных сигналов. Кроме того, при отключении электропитания энкодера или при выключении приёмного устройства, после подачи электропитания и включения приёмного устройства для определения угла поворота, необходимо найти исходное (или нулевое) положение энкодера. Среди основных российских производителей энкодеров можно отметить СКБ ИС (г. Санкт-Петербург). Из зарубежных



Рис. 1. Внешний вид инкрементного энкодера ЛИР-112А



Рис. 2. Внешний вид инкрементного энкодера E50S8-2500-3-T-24

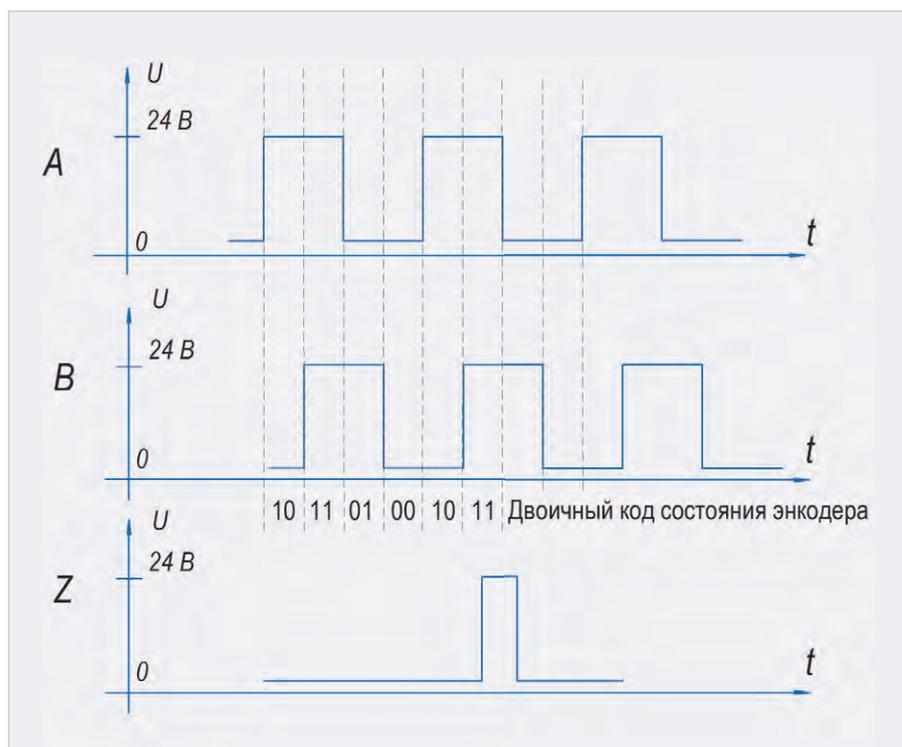


Рис. 3. Выходные сигналы инкрементного энкодера

производителей наиболее известны Omron (Япония), Autonics (Корея), Pepperl+Fuchs (Германия), Siemens (Германия), SICK AG (Германия). На отечественном рынке представлены энкодеры, у которых есть опция программирования количества импульсов на один оборот вала через технологический разъём. Например, это энкодеры серии DRS61 компании SICK AG. Тем самым появляется возможность подстраивать энкодер под требования конкретной поставленной задачи в рамках одной АСУ ТП.

В качестве приёмных устройств сигналов с инкрементных энкодеров могут выступать: устройства цифровой индикации УЦИ, программируемые логические контроллеры ПЛК, контроллеры шаговых двигателей КШД, модули интерфейсов МИ и, конечно же, программируемые реле (далее – ПР).

### Интерфейсы и типы выходных сигналов инкрементных энкодеров

На отечественном рынке можно встретить инкрементные энкодеры со следующими типами выходных сигналов:

- синусоидальные сигналы. Оптоэлектронные растровые энкодеры могут напрямую выдавать синусоидальный токовый сигнал типа

СТ (~11 мкА) или синусоидальный сигнал напряжения типа СН (~1 В);

- выход по напряжению (Voltage Output). Выходной сигнал – последовательность прямоугольных импульсов.  $U_{\text{пит}} = 5$  В для сигналов уровня TTL. Это один из наиболее распространённых выходных сигналов для инкрементных энкодеров.  $U_{\text{пит}} = 10...30$  В для сигналов уровня HTL. Обычно для подачи сигналов на дискретные входы программируемых реле используются сигналы с напряжением 24 В;

- выход с открытым коллектором (Open Collector). Выходной сигнал – последовательность прямоугольных импульсов. Такой тип выхода позволяет получить сигнал с уровнем напряжения, определяемым не величиной напряжения питания энкодера, а величиной напряжения дополнительного источника питания. Для этого необходимо между цепями питания ( $U_{\text{пит}}$ ) и выходом подключить внешний резистор, величина сопротивления которого определяется значением напряжения дополнительного источника питания;

- двухтактный (каскадный, комплементарный) выход (Push-Pull, Totem Pole). Выходной сигнал – последовательность прямоугольных импульсов. Этот тип выхода построен на транзисторах различ-

ной (p-n и n-p) проводимости и имеет малое выходное сопротивление (как в состоянии логического нуля, так и в состоянии логической единицы), что позволяет увеличить ток, отдаваемый в нагрузку. Таким образом, повышается нагрузочная способность и ускоряются процессы заряда и разряда ёмкости нагрузки, а следовательно, растёт быстродействие;

- интерфейс SSI (Synchronous Serial Interface). Сигналы – стандарт RS-422. Данный интерфейс обеспечивает высокую надёжность передачи данных на большие расстояния.

### Подключение инкрементного энкодера к программируемому реле

В случае непосредственного управления исполнительным механизмом без использования интеллектуального устройства типа КШД или ПЛК вполне оправдано подключение энкодера напрямую к ПР, которое, собственно, и будет заниматься обработкой сигнала с энкодера. В данном случае ПР является программируемым приёмным устройством (далее – ППУ) сигналов с энкодера. Основная проблема при подключении энкодера к ППУ – это согласование частоты выдачи импульсов энкодером (F1) и частоты опроса входов (F2) ППУ. F2 должна быть значительно больше, чем F1, и достаточной для того, чтобы корректно произвести подсчёт импульсов. Выбирая разрешение энкодера, нужно убедиться, что большое количество импульсов на оборот будет воспринято приёмным устройством. С увеличением вращения вала энкодера количество импульсов, выдаваемых энкодером в единицу времени, увеличивается.

Значение частоты F2 в ПР ограничено длительностью рабочего цикла, который состоит из фаз чтения входов, исполнения программы пользователя и записи значений выходов. При подсчёте скорости вращения серводвигателя максимальное количество оборотов в минуту может находиться в пределах 0–5000 об/мин (0–83,3 об/с). Таким образом, необходимо подсчитывать несколько десятков тысяч импульсов в секунду (частота порядка десятков кГц). Типичное время рабочего цикла ПР измеряется десятками



Рис. 4. Внешний вид реле ПР103

миллисекунд (частота порядка кГц), что гораздо больше интервала между импульсами энкодера.

Время цикла – это время выполнения рабочего цикла прибора, а именно:

- опрос состояния физических входов прибора и копирование их значений в ячейки памяти;
- программная обработка;
- чтение/запись сетевых переменных программы;
- запись результатов работы программы в физические выходы прибора.

По умолчанию время цикла равно 1 мс. Прибор подстраивает время цикла в зависимости от сложности программы. Факторы, влияющие на увеличение времени цикла:

- возрастает сложность алгоритма (задействовано большое количество ФБ и макросов);
- в программе используется большое количество сетевых переменных;
- используется большое количество элементов управления данными с помощью дисплея прибора. Пользователь не может задавать время цикла.

Поэтому подсчёт импульсов от энкодера при решении указанной выше задачи с помощью стандартных функциональных блоков счётчиков внутри программы пользователя за редким исключением затруднителен и может привести к нарушению рабочего цикла ПР. На аппаратном и программном уровне данная проблема в ППУ может быть решена следующим образом. Энкодер подключается к «быстродействующим» дискретным входам ППУ. В ППУ должен быть счётчик (или таймер), который работает

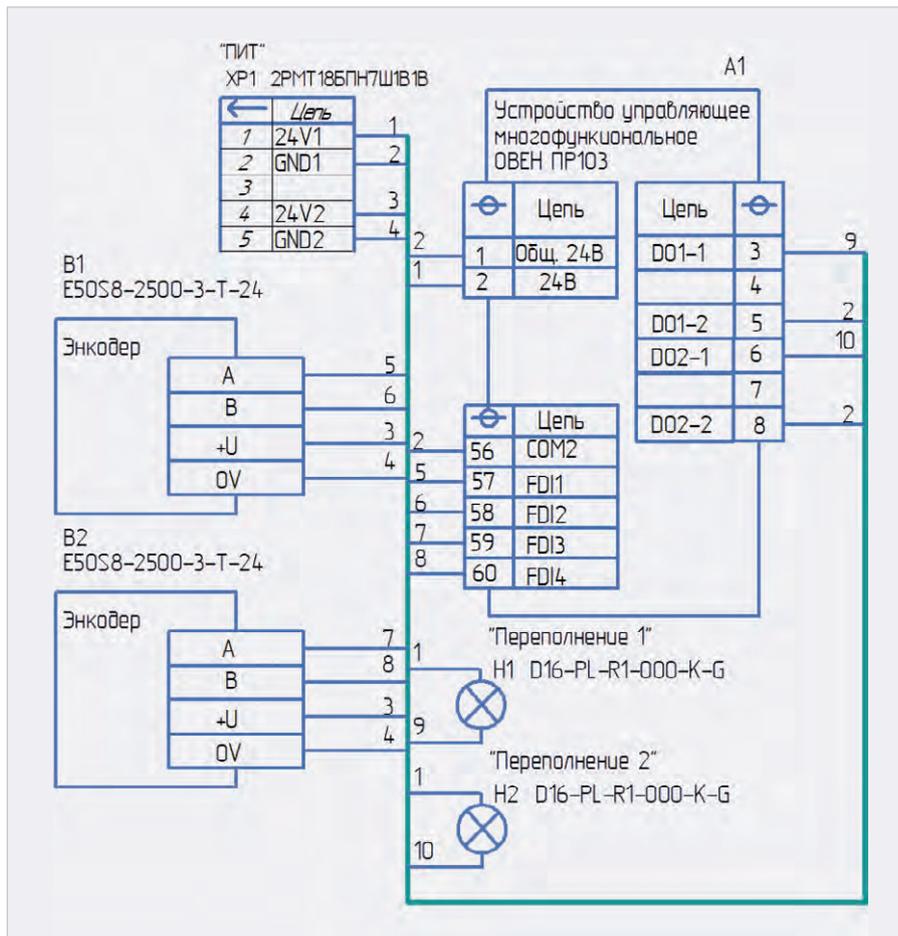


Рис. 5. Принципиальная схема подключения двух инкрементных энкодеров E50S8-2500-3-T-24 к ПР103

Табл. 1. Характеристики быстрых дискретных входов типа «ДС» ПР103

№	Наименование	Значение
1	Напряжение «логической единицы»	+15...+30 В
2	Ток «логической единицы»	2...15 мА
3	Напряжение «логического нуля»	-3...+5 В
4	Ток «логического нуля»	0...15 мА
5	Минимальная длительность импульса, воспринимаемая дискретным входом	5 мкс
6	Максимальная частота следования импульсов, воспринимаемая дискретным входом	100 кГц
7	Гальваническая развязка	Групповая, по 4 входа
8	Электрическая прочность изоляции между группами каналов	510 В
9	Электрическая прочность изоляции относительно других цепей прибора	510 В
10	Защита от подключения напряжения обратной полярности	Есть

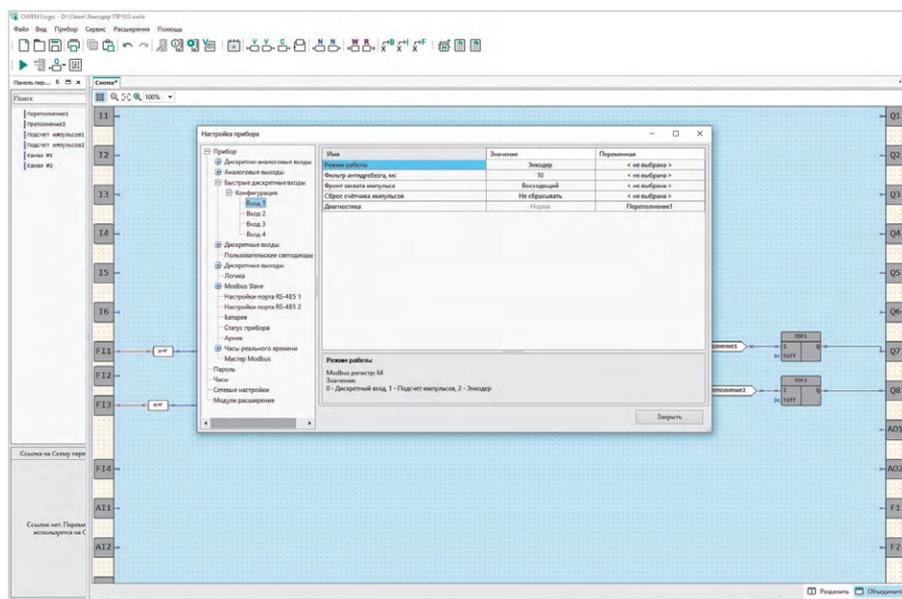
независимо от основной программы, контролируя его выходное значение при помощи специальной подпрограммы обработки прерываний. Вышеуказанный счётчик ведёт подсчёт импульсов от энкодера с учётом направления вращения вала.

### Применение готовых шаблонов в среде Qwen Logic

Рассмотрим подключения энкодера к программируемому реле ПР103-

24.1610.06.2.0 (далее ПР103). Данный прибор предназначен для локальной автоматизации и программируется в среде Owen Logic на языке FBD. Основные функции ПР103:

- работа по пользовательской программе, записанной в память;
- работа в сети RS-485 по протоколу Modbus RTU / Modbus ASCII в режиме Master или Slave;
- работа в сети Ethernet по протоколу Modbus TCP в режиме Master или Slave;



в котором находится накопленное количество импульсов с учётом направления вращения вала энкодера. Если после обнуления направление вращения производится в обратную сторону, то счёт начинается с максимального и уменьшается на количество накопленных импульсов. Меню настройки быстрых дискретных входов из OwenLogic расположено во вкладке «Прибор/Настройка прибора». Вид меню приведён на рис. 6.

В настройке прибора для быстрого дискретного входа FDI1 (в Owen Logic входы FDI1–FDI4 ПР103 прописаны соответственно как FI1–FI4) в ячейке на пересечении строки «Режим работы» и столбца «Значение» задаём параметр – «Энкодер». В ячейке на пересечении строки «Диагностика» и столбца «Переменная» задаём переменную «Переполнение 1» булевского типа.

Для быстрого дискретного входа 2 в ячейке на пересечении строки «Режим работы» и столбца «Значение» оставляем – «Дискретный вход». В режиме обработки сигналов инкрементного энкодера каждое изменение состояния (рис. 3) воспринимается как импульс. На рис. 7 приведена управляющая программа для реле ПР103 в среде OWEN Logic для работы с инкрементными энкодерами E50S8-2500-3-T-24.

В сетевой переменной «Канал № 1» идёт подсчёт импульсов с энкодера В1. При переполнении регистра булева переменная «Переполнение 1» устанавливается в лог. 1. При этом запускается на 3 с таймер с задержкой отключения TOF1. Это значит, на 3 с включается индикаторная лампа Н1.

Соответственно, в сетевой переменной «Канал № 2» идёт подсчёт импульсов с энкодера В2. При переполнении регистра булева переменная «Переполнение 2» устанавливается в лог. 1. При этом запускается на 3 с таймер с задержкой отключения TOF2. Это значит, на 3 с включается индикаторная лампа Н2.

То есть фактически в среде OWEN Logic имеется заданный шаблон для подключения энкодеров. Их нужно подключить к входам FDI1–FDI4 прибора и перевести вышеуказанные входы в режим работы «Энкодер».

Разрешение энкодера может быть очень разным. Например, ряд числа

Рис. 6. Вид меню настройки быстрых дискретных входов в ПР103

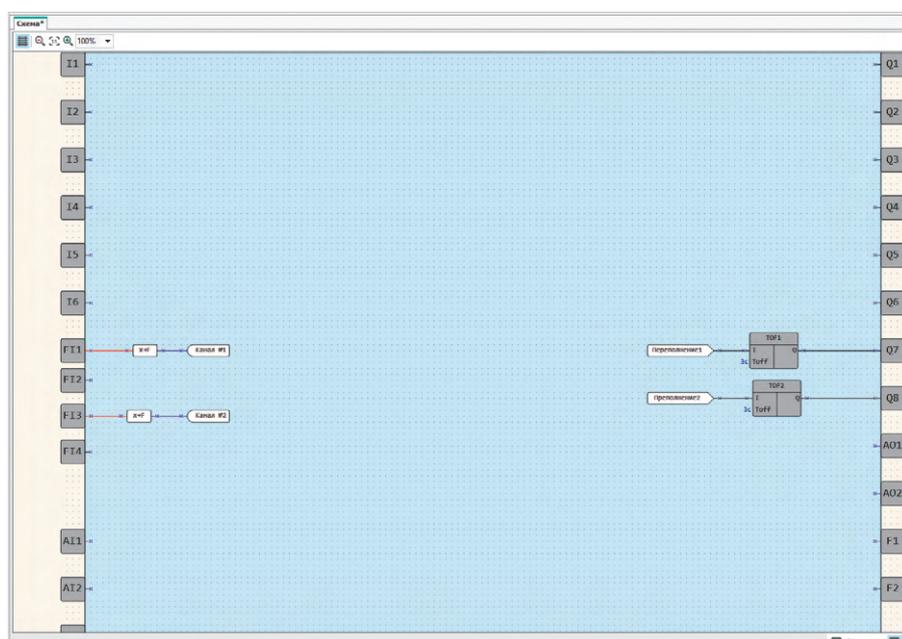


Рис. 7. Скриншот управляющей программы для реле ПР103 в среде OWEN Logic для работы с инкрементными энкодерами E50S8-2500-3-T-24

- работа с удалённым сервисом OwenCloud без дополнительного шлюза;
- обработка входных сигналов от датчиков;
- управление подключёнными устройствами с помощью дискретных или аналоговых сигналов.

Отметим наличие в ПР103 четырёх быстрых дискретных входов типа «ДС». К ним, собственно, и можно подключать энкодеры. Внешний вид реле ПР103 приведён на рис. 4.

На рис. 5 приведена принципиальная схема подключения двух инкрементных энкодеров E50S8-2500-3-T-24 к ПР103.

На рис. 5 у ПР103 приведены только контакты, задействованные в принципиальной схеме. Энкодер В1 подключён к быстрым дискретным входам FDI1 и FDI2. Соответственно, энкодер В2 подключён к быстрым дискретным входам FDI3 и FDI4 (входы FDI1, FDI2, FDI3, FDI4 типа «ДС»). Характеристики быстрых дискретных входов типа «ДС» у ПР103 приведены в табл. 1.

К ПР103 можно подключать 2-канальные инкрементные энкодеры (без Z-канала). Максимальная частота сигналов с энкодера – не более 100 кГц. Для каждого входа задействован 32-разрядный регистр,

импульсов на один оборот для инкрементного энкодера серии E50S8 – 10, 12, 15, 20, 23, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 75, 100, 120, 125, 150, 192, 200, 240, 250, 256, 300, 360, 400, 500, 512, 600, 800, 1000, 2048, 2500, 3000, 3600, 4000, 5000, 6000, 8000. А для отечественного инкрементного энкодера типа ЛИР-112А ряд числа импульсов на один оборот – 1000, 2000, 2500, 5000, 10 000, 30 000, 125 000. Для разных задач нужны энкодеры с разным разрешением. При выборе энкодера подсчитать необходимое количество импульсов на оборот вала для гарантированного приёма ППУ можно по формуле:

$$N = 60 \times F[\text{Гц}]/K \times \omega [\text{об/мин}], \quad (1)$$

где F – максимальная частота, воспринимаемая приёмным устройством,  $\omega$  – максимальная частота вала привода, который связан с валом энкодера, K – коэффициент запаса для приёмного устройства. Данный коэффициент необходим для гарантированного приёма импульсов с энкодера. Этот параметр может предоставить только изготовитель приёмного устройства.

Пусть требуется контролировать скорость вращения вала некоторого устройства через зубчатую передачу, которую вращает серводвигатель. ППУ – ПР103. F – 100 кГц. Максимальная скорость вращения – 1500 об/мин. Нужно подобрать энкодер с необходимым разрешением. Для предварительного расчёта возьмём K = 2, тогда по формуле (1)  $N = 60 \times 100\,000 \text{ кГц}/2 \times 1500 = 2000 \text{ имп/об}$ .

Стандартным ближайшим числом для энкодера E50S8 является 2048. Для вышеуказанной задачи для подключения к входам «ДС» реле ПР103 подойдёт энкодер E50S8-2048-3-T-24 (максимальная выходная частота импульсов – 300 кГц). Проверить максимальную частоту импульсов с энкодера E50S8-2048-3-T-24 для вращения вала с частотой 1500 об/мин можно по формуле:

$$(1500[\text{об/мин}]/60) \times 2048 = 51\,200 \text{ Гц}$$

То есть, выбрав энкодер E50S8-2048-3-T-24, можно «вписаться» в максимальную частоту 300 кГц и гарантированно обеспечить приём сигналов с энкодера приёмным устройством ПР103. Но остаётся вопрос: сколько импульсов на оборот будет достаточно для обеспечения точности системы? При обратной связи от выбранного разрешения будет зависеть

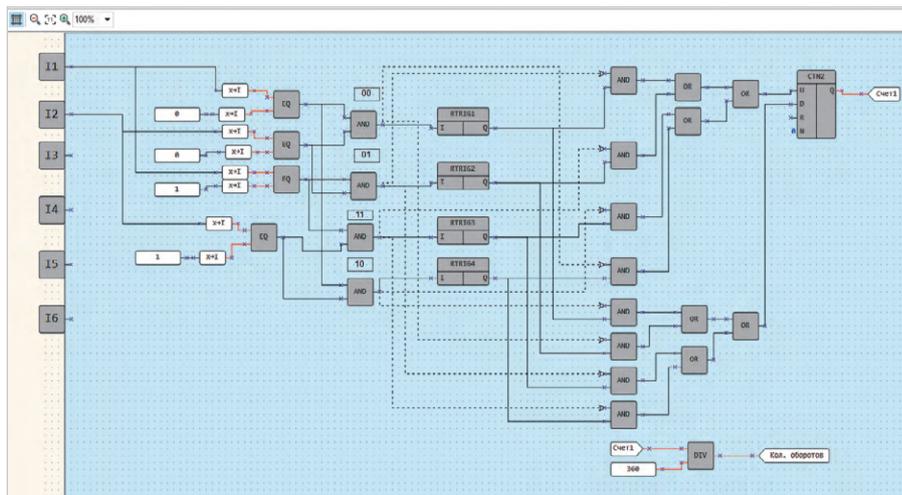


Рис. 8. Программа на языке FBD в среде OWEN LOGIC для обработки сигналов с энкодера

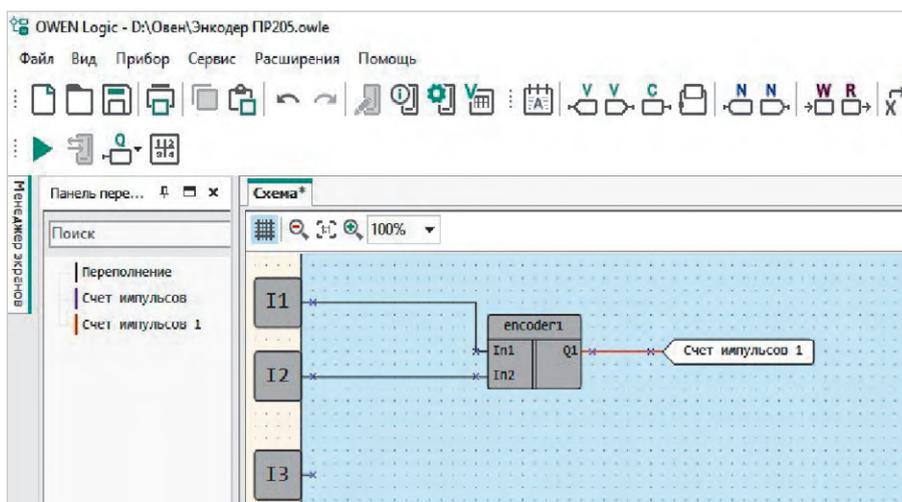


Рис. 9. Подключение макроса «encoder1» в среде OWEN Logic

Табл. 2. Характеристики дискретных входов «Д» для ПР103

№	Наименование	Значение
1	Минимальная длительность «лог. 0» и «лог. 1», воспринимаемая дискретным входом, не менее	2 мс
2	Максимальная частота следования импульсов, воспринимаемая дискретным входом	500 Гц

Табл. 3. Характеристики дискретных входов «Д» для ПР205

№	Наименование	Значение
1	Минимальная длительность «лог. 0» и «лог. 1», воспринимаемая дискретным входом, не менее	2 мс
2	Максимальная частота следования импульсов, воспринимаемая дискретным входом	150 Гц

поведение системы «привод – мотор – энкодер».

### Программы обработки сигналов с инкрементного энкодера на языке FBD и ST в среде Owen Logic

Рассмотрим пример на языке FBD с подключением инкрементного энкодера к дискретным входам типа «Д» в программируемых реле ПР103, ПР205 [1], [2]. Конечно, речь идёт о системах, где имеет место вращение вала испол-

нительного механизма со сравнительно небольшой частотой. В табл. 2 приведены характеристики дискретных входов типа «Д» для ПР103.

В табл. 3 приведены характеристики дискретных входов типа «Д» для ПР205.

В общем случае максимальная частота, воспринимаемая дискретным входом типа «Д», зависит от времени цикла пользовательской программы, скважности импульсов и установленного времени фильтра.

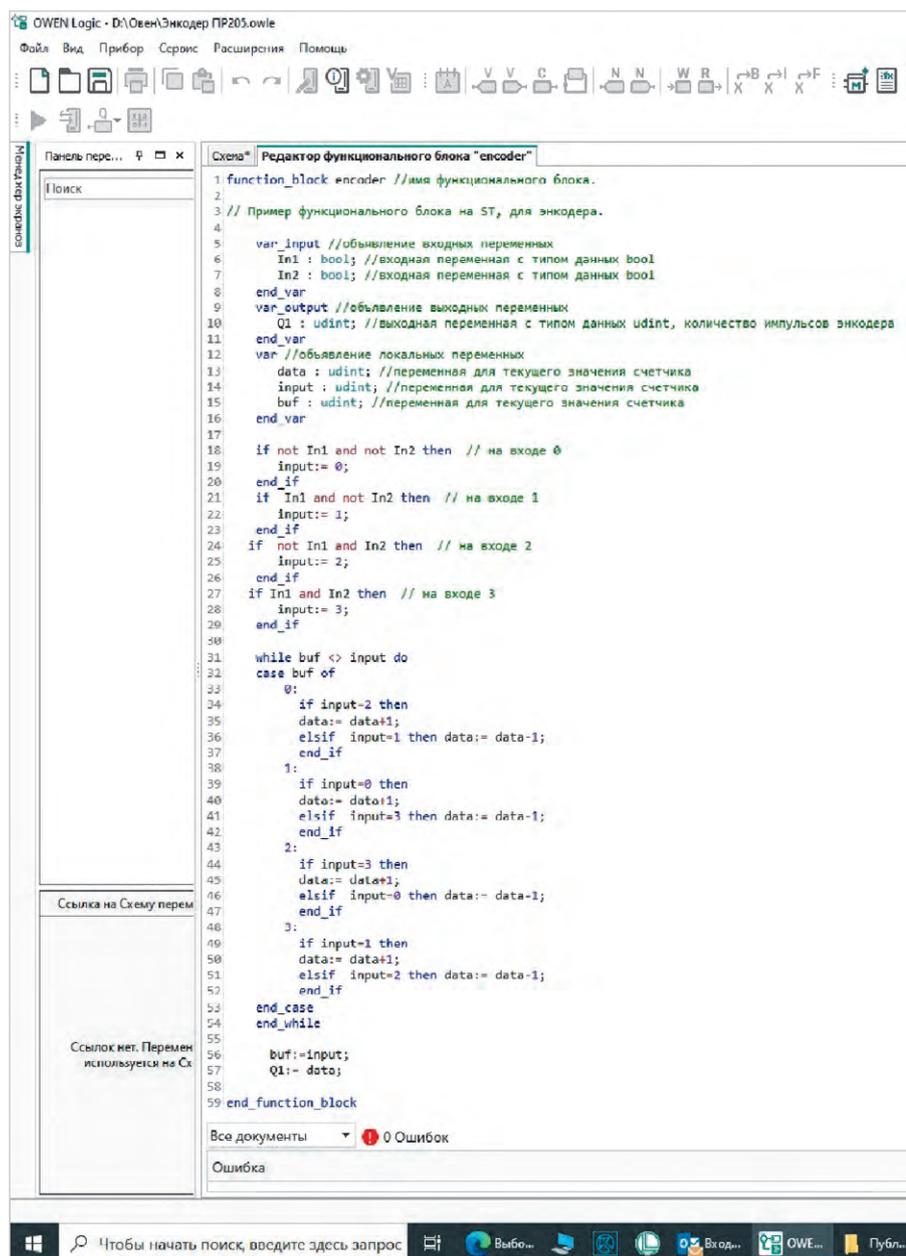


Рис. 10. Программа на языке ST для макроса «encoder1»

Пусть требуется выбрать энкодер для контроля максимальной скорости вращения вала 100 об/мин для подключения к ППУ с  $F = 500$  Гц. Для предварительного расчёта возьмём  $K = 2$ , тогда 
$$N = 60 \times 500[\text{Гц}] / 2 \times 100[\text{об/мин}] = 150 \text{ имп/об.}$$

Стандартным ближайшим числом для энкодера E50S8 является 192. Для вышеуказанной задачи для подключения к входам типа «Д» ПР103 подойдёт энкодер E50S8-192-3-T-24 (максимальная выходная частота импульсов – 300 кГц). Проверить максимальную частоту импульсов с энкодера можно по формуле:  $(100[\text{об/мин}]/60) \times 192 = 333$  Гц.

Если разрешение энкодера кратно числу 1024 (210), то полученное зна-

чение (отслеживаемое число импульсов с энкодера) можно перевести в двоичный код. Если разрешение энкодера кратно числу 360, то полученное значение можно перевести в угол поворота. Программа на языке FBD в среде OWEN Logic для обработки сигналов с энкодера приведена на рис. 8.

Программа приведена для энкодера E50S8-360-3-T-24 с частотой импульсов за один оборот – 360. Количество импульсов подсчитывается в переменной «Счёт1» (тип переменной – целочисленная).

Количество оборотов вала энкодера подсчитывается в переменной «Кол. оборотов» (тип переменной – целочисленная). Кроме разработки программы на графическом язы-

ке FBD в последних версиях OWEN LOGIC для реле ПР205 доступно создание пользовательских функций на языке ST. На рис. 9 приведено подключение макроса «encoder1» в среде OWEN Logic.

На рис. 9 макрос подключён к дискретным входам типа «Д». На рис. 10 приведена программа на языке ST для макроса «encoder1».

На рис. 10 Q – выходная целочисленная переменная, в которой происходит подсчёт импульсов.

## Заключение

Аппаратные и программные ресурсы современных программируемых реле позволяют подключать к ним инкрементные энкодеры, решая при этом следующие задачи в средствах автоматизации и числового программного управления, промышленной робототехнике:

- определение угла поворота вала в электроприводе;
- определение угловой скорости вращения вала;
- определение количества оборотов вала.

Для подсчёта количества импульсов в среде Qwen Logic можно воспользоваться готовыми шаблонами. При выборе энкодера для подключения к программируемому реле в изделии следует учесть следующие факторы:

- тип выходного сигнала, напряжение питания энкодера (целесообразно, если напряжение питания реле и энкодера – одинаковые);
- количество импульсов на оборот, значение данного параметра прямо пропорционально точности измерений (разрешение энкодера);
- в каждой конкретной задаче для подключения к программируемому реле необходимо выбрать энкодер с оптимальным разрешением.

## Литература:

1. Руководство по эксплуатации. Устройство управляющее многофункциональное ПР103.
2. Руководство по эксплуатации. Устройство управляющее многофункциональное ПР205.
3. ГОСТ 26242-90. Системы числового программного управления. Преобразователи перемещений. Общие технические условия.
4. URL: [www.skbis.ru](http://www.skbis.ru).

# Мигающие сигнализаторы с низковольтным питанием и акустическим датчиком

Александр Одинец

Развитием линейки мигающих сигнализаторов для охранных систем [1] являются два простых устройства мигающих сигнализаторов с низковольтным питанием и акустическим датчиком. Первый вариант устройства предназначен для работы сигнализатором режима работы охранной системы. Второй вариант предназначен для работы в качестве автомата ночной подсветки. Возможно также применение устройств для управления световой рекламой.

## Общие сведения

Оба устройства выполнены на основе четвёртого варианта сигнализатора, рассмотренного в [1]. Второй вариант устройства обеспечивает зажигание четырёх светодиодов по звуковому сиг-

налу благодаря акустическому датчику и микрофонному усилителю, входящим в его состав. Отличие новых вариантов контроллеров заключается в усовершенствовании алгоритма переключения светодиодов путём введения

небольшой задержки свечения всех светодиодов после прохождения рабочего цикла их зажигания. Для питания светодиодов с относительно большим напряжением включения  $U = 2,8$  В (синих и зелёных) от двух элементов с общим напряжением 3 В устройства дополнены повышающими драйверами.

Как известно, светодиоды зелёного и синего цветов свечения обычно обладают гораздо большим прямым падением напряжения ( $U = 2,8$  В) во включённом состоянии, чем красные и жёлтые ( $U = 1,8$  В), поэтому напряжения 3 В двух последовательно вклю-

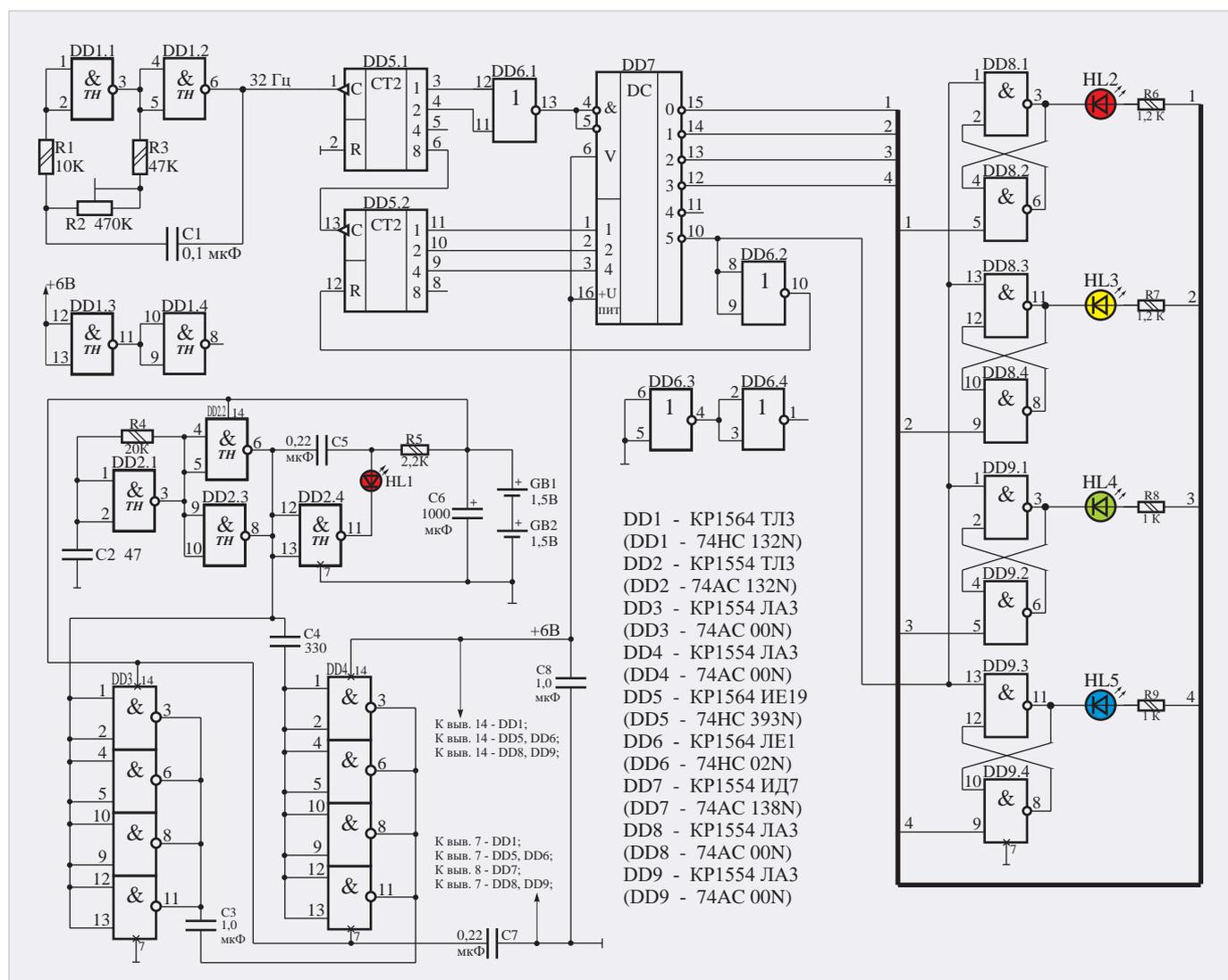


Рис. 1. Мигающий сигнализатор с низковольтным питанием. Схема электрическая принципиальная

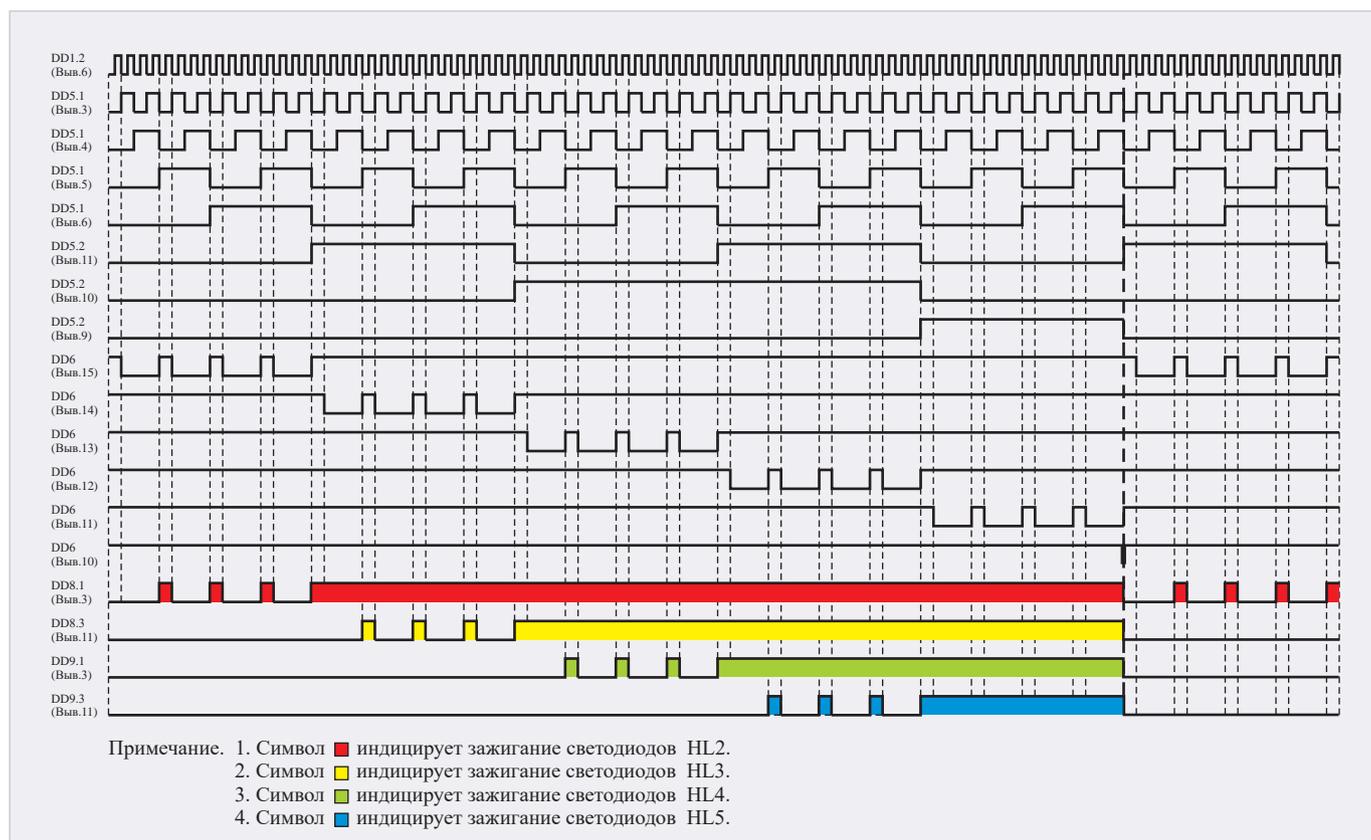


Рис. 2. Мигающий сигнализатор с низковольтным питанием. Временная диаграмма работы устройства

чёрных элементов питания (или аккумуляторов) оказывается недостаточно для питания таких светодиодов. Данная проблема легко решается введением повышающего драйвера, удваивающего питающее напряжение.

## Принцип работы

Схема электрическая принципиальная первого варианта устройства приведена на рис. 1. Основу устройства составляет удваивающий преобразователь напряжения на ИМС DD2...DD4. На элементе DD2.1 выполнен задающий генератор, работающий на частоте около 60 КГц. Остальные элементы DD2.2...DD2.4 являются буферными. Прямоугольные импульсы поступают на входы элементов DD3.1...DD3.4 и через развязывающий конденсатор C4 – на входы элементов DD4.1...DD4.4. Допустим, что в начальный момент времени на входы всех элементов ИМС DD3 и DD4 приходят уровни лог. 1. Тогда верхняя обкладка конденсатора C3 оказывается подключённой к общему проводу (минус источника питания) через открытые n-канальные транзисторы ИМС DD3, а нижняя по схеме обкладка конденсатора C3 оказывается подключённой к плюсовому выводу источника питания через открытые n-канальные транзи-

сторы ИМС DD4. Когда на выходе генератора, а значит, и на входах элементов ИМС DD3 и DD4 появляется лог. 0, то n-канальные транзисторы двух последних ИМС закрываются, но открываются p-канальные. Теперь верхний по схеме вывод конденсатора C3 оказывается подключённым последовательно с источником питания (GB1–GB2), а нижний по схеме вывод C3 оказывается подключённым через 14 вывод ИМС DD4 к верхнему выводу C8. Заряд, накопленный конденсатором C3 во время предыдущего полупериода заряда, передаётся конденсатору C8, и на нём формируется удвоенное напряжение 6 В. Поскольку частота преобразования достаточно высока, то в большой ёмкости C8 нет необходимости и на его месте может работать небольшой конденсатор ёмкостью 1 мкФ.

Работу схемы будем рассматривать при условии, что оба счётчика DD5.1 и DD5.2 установлены в исходное нулевое состояние, а все RS-триггеры (DD8.1–DD8.2, DD8.3–DD8.4, DD9.1–DD9.2, DD9.3–DD9.4) установлены в исходное единичное состояние. При этом все светодиоды погашены. Цикл работы удобно отслеживать по временной диаграмме, представленной на рис. 2.

В начальный момент времени счётчики DD5.1 и DD5.2 находятся

в «нулевом» состоянии, поэтому на выходе элемента DD6.1 формируется уровень лог. 1, который запрещает дешифрацию состояний счётчика DD5.2, выходные логические уровни которого поступают на адресные входы «1» и «2» дешифратора DD7. Таким образом, на всех его выходах формируются уровни лог. 1, что соответствует начальному состоянию устройства. Поскольку в конце предыдущего цикла на выходе 5 (вывод 10) дешифратора DD7 был сформирован короткий отрицательный импульс, все RS-триггеры были установлены в «единичное» состояние, поэтому все светодиоды погашены. При переходе счётчика DD5.1 из «нулевого» в «первое» состояние уровнем лог. 0 с выхода элемента DD6.1 разрешается дешифрация состояний DD7, и на его выходе «0» (вывод 15) появляется уровень лог. 0. Этот уровень перебрасывает первый (верхний по схеме) RS-триггер DD8.1–DD8.2 в нулевое состояние и одновременно поступает на анод светодиода HL2. Но зажигания светодиода в этот момент времени ещё не происходит, поскольку разность потенциалов на его выводах равна нулю. При достижении счётчиком DD5.1 четвертого состояния дешифрация состояний DD7 будет вновь запрещена, и на его

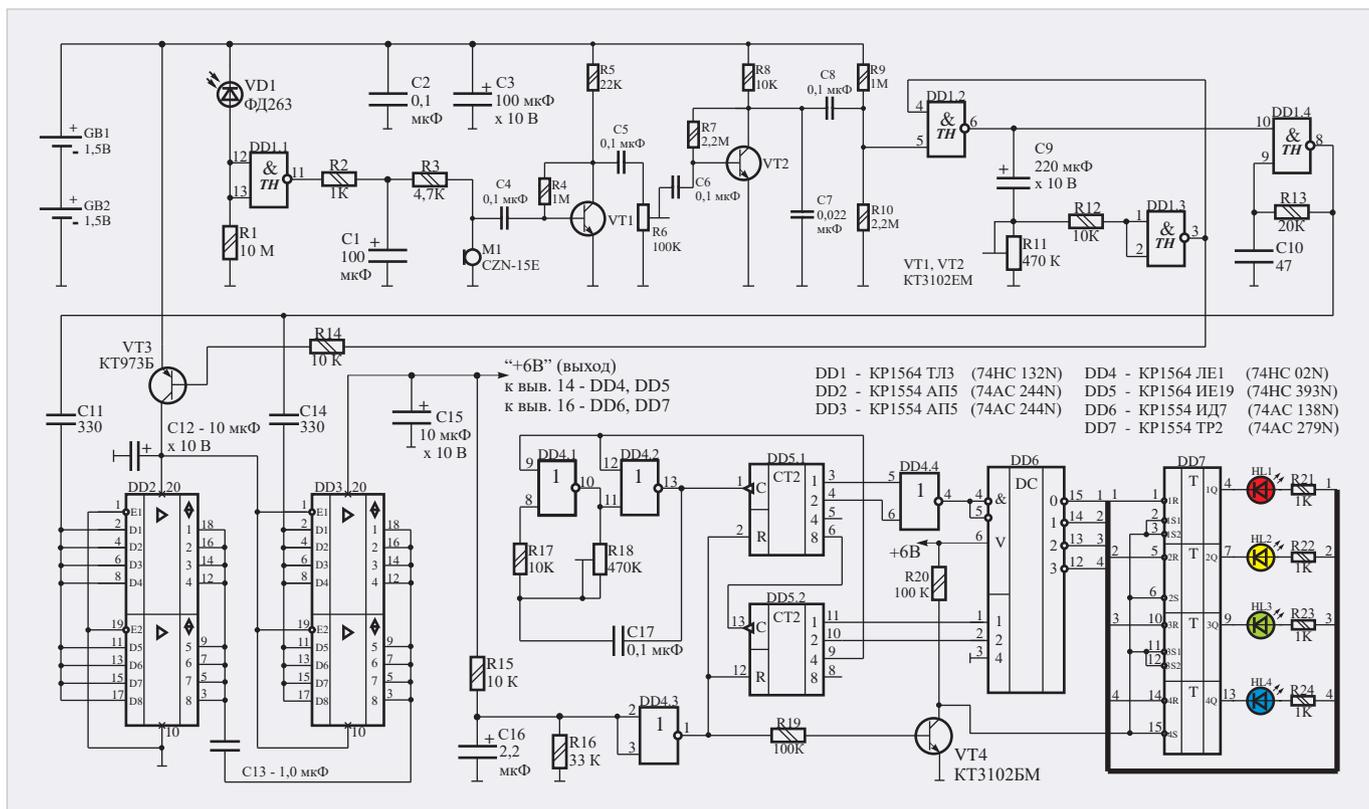


Рис. 3. Мигающий сигнализатор с акустическим датчиком. Схема электрическая принципиальная

выходе «0» (вывод 15) сформируется уровень лог. 1. Поскольку на выходе первого (вывод 3) RS-триггера DD8.1–DD8.2 был сформирован уровень лог. 0, это приведёт к зажиганию светодиода HL2. Далее последуют три вспышки со скважностью, равной четырём, согласно временной диаграмме на рис. 2. В данном случае отрицательные импульсы на выходе «0» (вывод 15) дешифратора DD7 приводят к погашению светодиода HL2, поэтому при переходе счётчика DD5.2 из нулевого в первое состояние на указанном выходе «0» (вывод 15) дешифратора DD7 формируется фиксированный (статический) уровень логической единицы, и светодиод HL2 остаётся во включённом состоянии.

Каждый последующий счётный импульс с выхода генератора приводит к увеличению состояний счетчика DD5.1, а вслед за ним и DD5.2. При этом происходят трёхкратные последовательные вспышки светодиодов HL2, HL3, HL4, HL5 с последующей их фиксацией во включённом состоянии. При достижении счётчиком DD5.2 «пятого» состояния на выходе «5» (вывод 10) дешифратора DD7 формируется короткий отрицательный импульс, который приводит к установке всех RS-триггеров в «единичное» состояние и погашению светодиодов.

Одновременно короткий положительный импульс с выхода DD6.2 сбрасывает счётчик DD5.2. Далее цикл работы устройства полностью повторяется.

Схема электрическая принципиальная второго варианта устройства показана на рис. 3. В состав устройства входят: фотодатчик VD1, усилитель переменного напряжения на транзисторах VT1, VT2, одновибратор на элементах DD1.2, DD1.3, C9, R11, задающий ВЧ-генератор на элементах DD1.4, C10, R13, мощный ключевой транзистор VT3, повышающий драйвер на ИМС DD2, DD3, а также схема управления DD4...DD7 сверхъяркими светодиодами HL1...HL4. Фотодатчик VD1 введён для повышения экономичности устройства и увеличения ресурса службы элементов питания GB1, GB2 при наличии внешнего освещения, когда в зажигании светодиодов нет необходимости.

Сразу же при включении устройства на нижнем по схеме входе элемента DD1.2 (вывод 5) благодаря интегрирующей цепочке, образованной элементами R8–C8–R10, формируется короткий отрицательный импульс, а на выходе DD1.2 – положительный перепад напряжения. Поскольку конденсатор C9 разряжен в начальный момент времени, напряжение с его нижней по схеме обкладки посту-

пает на вход элемента DD1.3 и после инвертирования последним поступает на верхний по схеме вход элемента DD1.2, замыкая петлю обратной связи. Начинается отсчёт времени выдержки, в течение которого работает задающий ВЧ-генератор DD1.4–C10–R13, управляющий работой повышающего драйвера. Уровень лог. 0 с выхода DD1.3 открывает транзистор VT3, через который поступает питание на ИМС драйвера. Одновременно на входы буферных формирователей DD2, DD3 через развязывающие конденсаторы C11 и C14 поступают прямоугольные импульсы с выхода DD1.4 с частотой около 60 кГц.

Повышающий драйвер запускается на время, определяемое параметрами времязадающей цепочки C9–R11, которое может составлять от единиц до десятков секунд в зависимости от положения движка подстроечного резистора.

Работу драйвера проще понять, если представить себе схему выходных каскадов буферных формирователей DD2 и DD3. Каждый из буферных формирователей состоит из восьми одинаковых секций, представляющих из себя два последовательно включённых инвертора. Первый из них – маломощный, а второй – гораздо мощнее и состоит из P- и N-канальных тран-

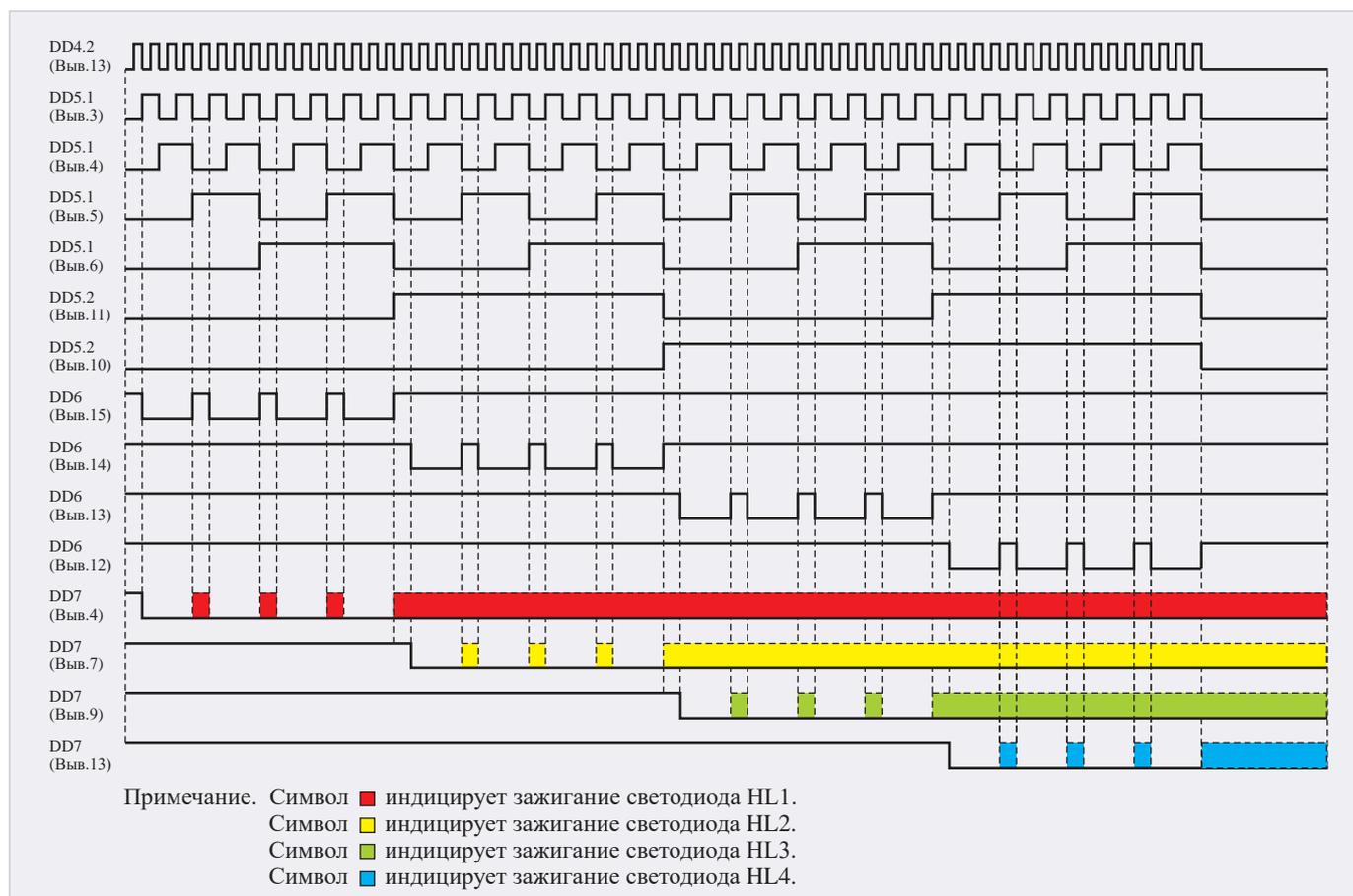


Рис. 4. Мигающий сигнализатор с акустическим датчиком. Временная диаграмма работы устройства

зисторов относительно большого размера. Поскольку все буферные формирователи работают без инверсии, их выходные уровни повторяют входные. Теперь допустим, что в какой-то момент времени напряжение на выходе генератора DD1.4 принимает значение лог. 0. Такой же потенциал через развязывающие конденсаторы C11 и C14 поступает на входы обоих буферных формирователей DD2 и DD3. При этом оказываются открытыми N-канальные транзисторы выходных инверторов, поэтому верхняя по схеме обкладка «летающего» конденсатора C13 оказывается соединённой с общим проводом конструкции (минусом источника питания) через открытые N-канальные транзисторы DD2, а нижняя обкладка – через открытые N-канальные транзисторы, теперь уже DD3, – оказывается соединённой через вывод 10 с коллектором транзистора VT3, на котором присутствует напряжение, практически равное напряжению источника питания, конечно, с учётом падения напряжения на самом транзисторе VT3. Таким образом, «летающий» конденсатор C13 оказывается заряженным практически до напряжения источника питания.

Далее напряжение на выходе ВЧ-генератора сменяется уровнем лог. 1. Поступая через развязывающие конденсаторы C11 и C14 на входы буферных формирователей, этот уровень приводит к закрыванию N-канальных транзисторов выходных каскадов, но открыванию P-канальных. Теперь верхняя по схеме обкладка конденсатора C13 оказывается соединённой с коллектором транзистора VT3, т.е. последовательно с источником питания, а нижняя по схеме обкладка конденсатора C13 оказывается соединённой через открытые P-канальные транзисторы DD3 с блокирующим конденсатором C15, на котором и формируется выходное удвоенное напряжение драйвера. Как отмечено выше, данный процесс повторяется с частотой 60 кГц, поэтому заряда «летающего» конденсатора даже небольшой ёмкости вполне достаточно для питания четырёх светодиодов.

При появлении напряжения на выходе драйвера схема управления светодиодами благодаря цепочке C16–R15 и элементу DD4.3 устанавливается в исходное состояние. Алгоритм зажигания светодиодов поясняет временная диаграмма на рис. 4. Из неё видно, что после трёх всплесков красного свето-

диода происходит его фиксация во включённом состоянии, затем то же самое происходит с жёлтым, зелёным и синим светодиодами. Длительность свечения линейки светодиодов определяется постоянной времени одновибратора и, как отмечено выше, может составлять несколько десятков секунд.

Работает схема управления светодиодами следующим образом. При появлении питающего напряжения на выходе драйвера на выходе элемента DD4.3 формируется короткий положительный, а на коллекторе VT4 – короткий отрицательный импульсы. В начальный момент времени счётчики DD5.1 и DD5.2 находятся в нулевом состоянии, поэтому на выходе элемента DD4.4 формируется уровень лог. 1, который запрещает дешифрацию состояний счётчика DD5.2, выходные логические уровни которого поступают на адресные входы «1» и «2» дешифратора DD6. Таким образом, на всех его выходах формируются уровни лог. 1, что соответствует начальному состоянию устройства. Поскольку на коллекторе транзистора VT4 был сформирован короткий отрицательный импульс, все RS-триггеры DD7 были установлены в единичное состоя-

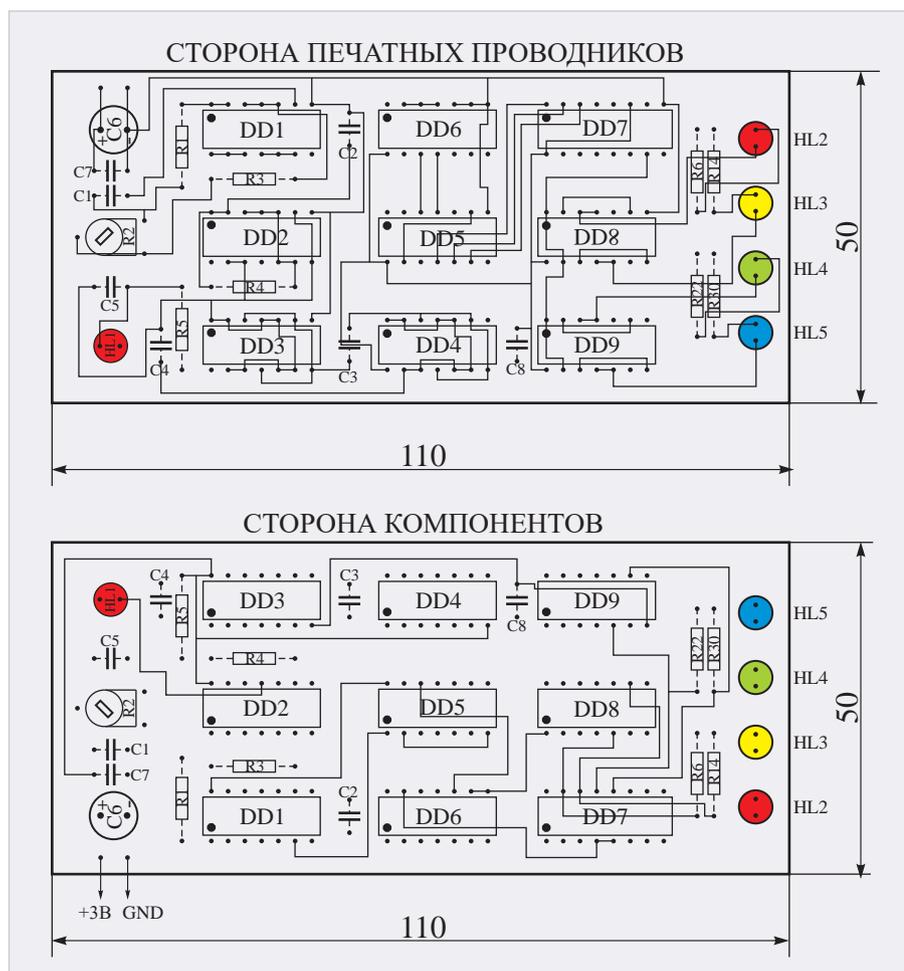


Рис. 5. Мигающий сигнализатор с низковольтным питанием. Рисунок печатной платы

ние, поэтому все светодиоды погашены. При переходе счётчика DD5.1 из «нулевого» в «первое» состояние уровнем лог. 0 с выхода элемента DD4.4 разрешается дешифрация состояний DD6, и на его выходе «0» (вывод 15) появляется уровень лог. 0. Этот уровень перебрасывает первый (верхний по схеме) RS-триггер, входящий в состав ИМС DD7, в нулевое состояние и одновременно поступает на анод светодиода HL1. Но зажигания светодиода в этот момент времени ещё не происходит, поскольку разность потенциалов на его выводах равна нулю. При достижении счётчиком DD5.1 четвертого состояния дешифрация состояний DD6 будет вновь запрещена, и на его выходе «0» (вывод 15) сформируется уровень лог. 1. Поскольку на выходе «1Q» (вывод 4) первого по схеме RS-триггера DD7 был сформирован уровень лог. 0, это приведёт к зажиганию светодиода HL1. Далее последуют три вспышки со скважностью, равной четырём, согласно временной диаграмме на рис. 4. В данном случае отрицательные импульсы на выхо-

де «0» (вывод 15) дешифратора DD6 приводят именно к погашению светодиода HL1, поэтому при переходе счётчика DD5.2 из «нулевого» в «первое» состояние на указанном выходе «0» (вывод 15) дешифратора DD6 формируется постоянный (фиксированный) уровень лог. 1, и светодиод HL1 остаётся во включённом состоянии.

Каждый последующий счётный импульс с выхода генератора DD4.1–DD4.2 приводит к увеличению состояний счётчика DD5.1, а вслед за ним и DD5.2. При этом происходят трёхкратные последовательные вспышки светодиодов HL2...HL4 с последующей фиксацией каждого из них во включённом состоянии. При достижении счётчиком DD5.2 четвертого состояния на его выходе «4» (вывод 9) формируется положительный перепад (уровень лог. 1), который блокирует работу генератора. Светодиоды остаются во включённом состоянии до момента завершения выходного импульса одновибратора и выключения драйвера.

После завершения описанного выше процесса устройство переходит в

режим ожидания, и дальнейшая его работа определяется состоянием фотодатчика. При высоком уровне освещённости сопротивление перехода фотодиода мало, поэтому на входе элемента DD1.1 присутствует уровень лог. 1, соответственно, на его выходе – уровень лог. 0. Конденсатор C1 разряжен, микрофон обесточен, усилитель деактивирован. При затемнении фотодиода VD1 выходной уровень элемента DD1.1 сменяется на лог. 1, конденсатор C1 заряжается практически до напряжения источника питания, и усилитель переходит в активный режим. При этом ток потребления устройством возрастает на величину тока смещения микрофона, необходимого для его нормальной работы.

Громкий хлопок, свист, разговор вызывают появление на выходе микрофона переменного напряжения амплитудой несколько милливольт, которое усиливается до необходимого уровня двухкаскадным усилителем на транзисторах VT1, VT2. Чувствительность усилителя можно изменять подстроечным резистором R6. Коллекторные токи транзисторов VT1, VT2 задаются резисторами R5 и R8 соответственно, а режимы по постоянному току – резисторами R4 и R7 в базовых цепях указанных транзисторов. Для развязки цепей по постоянному току служат конденсаторы C4...C6 и C8.

Необходимое начальное входное напряжение одновибратора по входу элемента DD1.2 задаётся делителем R9–R10. Это напряжение превышает пороговое напряжение элемента и соответствует уровню лог. 1. При появлении звукового сигнала усиленное переменное напряжение с коллектора транзистора VT2 через разделительный конденсатор C8 поступает на вход элемента DD1.2, который, благодаря своим триггерным свойствам и гистерезисной входной характеристике, преобразует синусоидальное напряжение в прямоугольные импульсы. Как отмечено выше, уровень лог. 1 с выхода DD1.2 запускает ВЧ-генератор прямоугольных импульсов, а уровень лог. 0 с выхода DD1.3 открывает мощный ключевой транзистор VT3. Повышающий драйвер запускается и формирует на выходе питающее напряжение для работы светодиодной схемы.

## Конструкция и детали

Первый вариант устройства выполнен на печатной плате из двусторон-

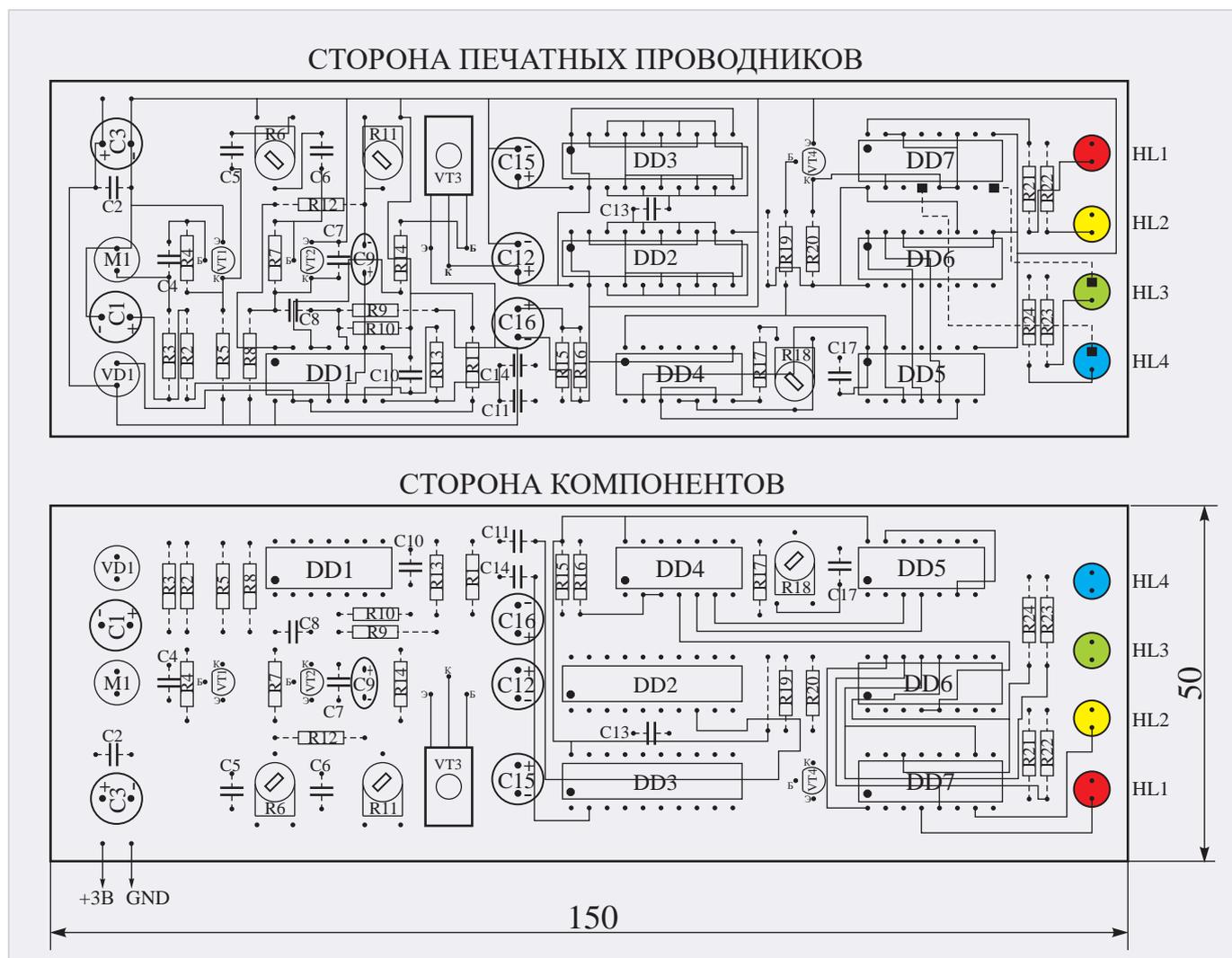


Рис. 6. Мигающий сигнализатор с акустическим датчиком. Рисунок печатной платы

него фольгированного стеклотекстолита толщиной 1,5 мм размером 110×50 мм (рис. 5), а второй вариант – 150×50 мм (рис. 6). В устройствах применены постоянные резисторы типа МЛТ-0,125, подстроечные СПЗ-386, конденсаторы неполярные типа К10-17, электролитические К50-35, фотодиод VD1 типа ФД263. Транзисторы VT1, VT2, VT4 во втором варианте устройства могут быть типа КТ3102ЕМ или импортными типа BC547С или BC549С, а VT4 – также из серий КТ315, КТ503 и других маломощных структуры n-p-n; мощный транзистор VT3 – из серии КТ973 с любым буквенным индексом или аналогичный составной средней мощности. Все микросхемы КМОП-серии КР1554 обладают высокой нагрузочной способностью (до 24 мА), что позволяет подключать светодиоды к их выходам непосредственно без ключевых транзисторов. Благодаря высокой нагрузочной способности КМОП-микросхем серий КР1564 и КР1554 возможно сочетание в одном

устройстве микросхем КМОП (КР1564, КР1554, КР1594), и ТТЛШ (КР1533, К555) и даже ТТЛ (К155) серий. Неприменимы в устройствах только микросхемы серий К561 и КР1561, нагрузочная способность которых не превышает 1 мА даже для приборов серий CD40xxBN. К примеру, на месте DD1 (КР1564ТЛЗ) может работать её полнофункциональный ТТЛШ-аналог типа КР1533ТЛЗ. Поскольку входные токи микросхем ТТЛШ-серий значительно больше соответствующих значений для КМОП-микросхем, необходимо установить подстроечный резистор (R2) сопротивлением 1 кОм (рис. 1), а постоянные (R1 и R3) заменить перемычками. При этом неполярный конденсатор C1 заменяется электролитическим ёмкостью до 100 мкФ, чтобы сохранить постоянную времени генератора. Ресурса элементов питания обычно бывает достаточно для нескольких десятков часов непрерывной работы.

Первый вариант устройства в налаживании практически не нуждается

и работает сразу при включении. Может потребоваться только подстройка частоты переключения гирлянд резистором R2 (рис. 1).

Налаживание второго варианта автомата сводится к установке необходимой чувствительности микрофонного усилителя подстроечным резистором R6, скорости зажигания светодиодов резистором R18 и длительности их свечения резистором R11. Для питания устройств используются два элемента типоразмера AA (LR03), но можно использовать также аккумуляторы с меньшим начальным напряжением 1,2 В. Благодаря применению повышающего драйвера пониженного напряжения аккумуляторной батареи оказывается вполне достаточно для зажигания синих и зелёных светодиодов.

## Литература

1. Одинец А.Л. Мигающие сигнализаторы для охранных систем // Современная электроника. 2025. № 3. С. 24–27.

# Умная автоматика для дома

Олег Вальпа

Приведено описание автоматической системы учёта ресурсов и защиты от затопления водой помещений на основе конкретного проекта, разработанного автором статьи.



Дополнительные материалы к этой статье можно скачать, перейдя по ссылке в QR-коде

## Введение

Практически всё население мира, проживающее в домах или квартирах с коммунальными услугами, обязано ежемесячно подавать в организации коммунальной службы показания приборов учёта потребляемых ресурсов, таких как холодная и горячая вода, электроэнергия и газ. Для подготовки к передаче показаний счётчиков приходится совершать обход мест установки этих счётчиков, вскрывать при необходимости люки, за которыми спрятаны данные счётчики, подсвечивать цифры фонариком и записывать показания на бумагу или запоминать их.

Эта регулярная и неудобная функция в современном веке может быть облегчена простой автоматической системой, которая позволит дистанционно считывать показания счётчиков непосредственно в компьютер, а затем передавать их по назначению. Кроме того, подобная система позволит выполнять эту операцию, находясь далеко от своего жилья, например, в командировке или в отпуске.

Предлагается к рассмотрению один из вариантов автоматизации описанной процедуры на основе программируемого логического контроллера (ПЛК) и доступных компонентов автоматики.

## Проект автоматики

Идея проекта состоит в том, чтобы ПЛК автоматически считал импульсы подключённых к нему датчиков расхода ресурсов и выдавал накопленные данные по запросу от компьютера. В качестве датчиков расхода воды можно применить промышленный покупной счётчик воды с импульсным электрическим выводом, показанный на рис. 1.

Данный счётчик формирует одно короткое замыкание сухого контакта после протекания через него каждых 10 литров воды. Такой счётчик можно использовать в качестве основного счётчика воды или применить его в качестве дополнительного, нерегистрируемого счётчика, не требующего регулярной поверки.

В проекте задействовано подключение одного счётчика горячей и одного счётчика холодной воды. При необходимости в проект легко добавить подключение дополнительных счётчиков воды методом копирования части кода программы.

Аналогично в проект можно добавить счётчики электроэнергии и газа, применив при этом подходящие счётчики с импульсным выходом.

Кроме того, проект поддерживает функциональность защиты помещений от затопления по причине аварийной протечки водопровода или

гибких подводящих шлангов. Для этого к измерительному аналоговому входу контроллера подключается датчик проводимости, представляющий собой две разобщённые металлические пластины в корпусе. Внешний вид такого датчика показан на рис. 2.

Этот датчик размещается на полу под водопроводными трубами. В сухом состоянии проводимость между пластинами датчика отсутствует. В случае возникновения протечки вода соприкасается с пластинами датчика, и сопротивление между ними снижается до нескольких сотен Ом. Контроллер обнаруживает проводимость датчика и включает выходной релейный порт, через контакты которого запускаются электроприводы, закрывающие водопроводные шаровые краны, которые прерывают подачу воды в помещение. Пример такого электропривода с водопроводным шаровым краном показан на рис. 3.

Этот электропривод питается безопасным низким напряжением постоянного тока и может быть подключён к источнику питания самого ПЛК.

Количество датчиков проводимости и электроприводов с водопроводным шаровым краном определяется количеством помещений (ванная комната, туалет, кухня и т.п.), в которых возможна аварийная протечка воды. При этом все датчики подключаются к одному входу контроллера, а все



Рис. 1. Счётчик воды с импульсным выводом



Рис. 2. Внешний вид датчика проводимости



Рис. 3. Электропривод с водопроводным шаровым краном

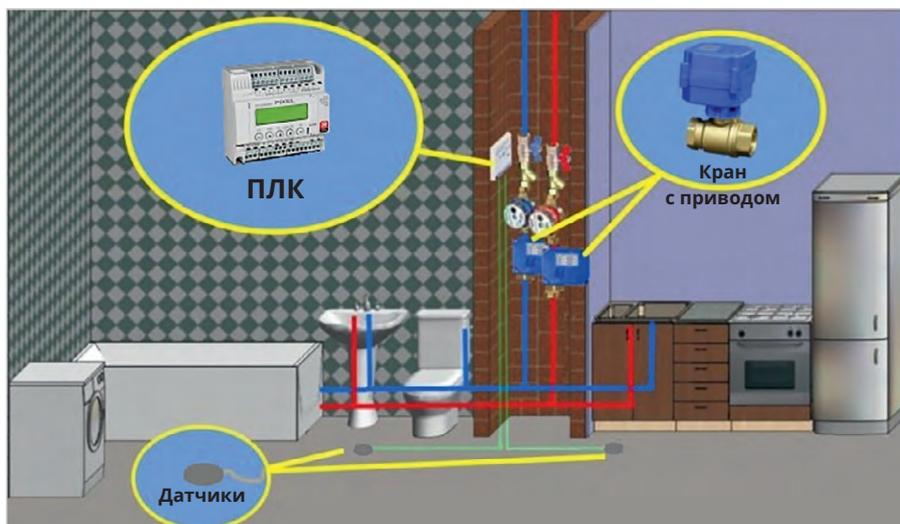


Рис. 4. Пример схемы размещения оборудования автоматики

электроприводы – к одному релейному выходу контроллера параллельно.

В основе проекта применён недорогой ПЛК Pixel отечественной компании Segnetics [1]. Обзор данного ПЛК и среды разработки программ для него был приведён в моей статье [2] и свободно доступен на сайте редакции журнала.

Благодаря тому, что данный ПЛК имеет графический дисплей, органы управления и индикации, а также

цифровые и аналоговые порты ввода-вывода, он является самодостаточным для создания большинства систем автоматического управления.

Пример схемы размещения оборудования автоматики приведён на рис. 4.

### Программа ПЛК

Программа для ПЛК создана в бесплатной среде разработки SMLogix на языке программирования FBD.

Интерфейс оператора разработан с помощью встроенного в среду разработки программного инструмента SMARt и представлен на рис. 5.

Интерфейс состоит из одного главного экрана, на котором отображаются текущие значения счётчиков горячего водоснабжения (ГВС) и холодного водоснабжения (ХВС). Показания счётчиков имеют привычное для обычных механических счётчиков отображение в кубометрах с отделением дробных значений десятичной точкой.

При обнаружении протечки воды на экране ПЛК активируется сообщение «Утечка!» и включается красный индикатор ALARM на ПЛК.

При разработке программы были использованы только библиотечные элементы среды разработки: логика, преобразователи сигналов, счётчики, сумматоры, компараторы, триггеры и порты ввода-вывода.

Окончательный вариант программы в отладочном режиме среды разработки SMLogix представлен на рис. 6.

Особенностью применения счётчиков в проекте является подключение перед их счётным входом «+» формирователя короткого импульса фронта



# Промышленный ТЕХНОПАРК

## Производство, разработка и поставка постоянных резисторов, аттенюаторов и чип-индуктивностей:

- Эквиваленты нагрузок ПР1-24 (от 50 Вт – 2000 Вт)
- Аттенюаторы ПР1-25 (от 50 Вт – 2000 Вт)
- ТПИ – тепловые чип-перемычки
- СВЧ-резисторы
- Мощные СВЧ-резисторы Р1-170 (до 1000 Вт)
- Силовые резисторы Р1-150М (до 1500 Вт)
- Наборы резисторов НР1-82
- Чип-резисторы Р1-8В (А, И, С) соответствуют требованиям стандарта АЕС-Q200

■ Современная производственная база

■ Высокое качество

■ Индивидуальный подход к потребителю

■ Изделия по вашему ТЗ





Связаться с нами: **8 800 444 30 99**

г. Нижний Новгород, ул. Нартова, д.6  
e-mail: info@erkonpark.ru

erkonpark.ru



Рис. 5. Окно программного инструмента SMART

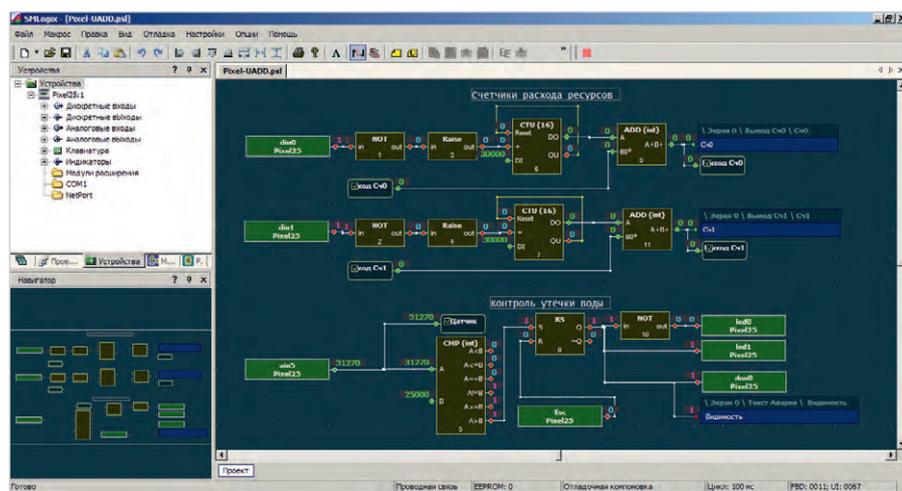


Рис. 6. Окно программы ПЛК

Переменные MODBUS					
>	Имя	Тип	Фиксация	Адрес	Комментарий
>	Input Reg		<input type="checkbox"/>	0000h	Занято 6 байт. (0000h-0003h)
>	Выход С40	int	<input checked="" type="checkbox"/>	0000h	
>	Выход С41	int	<input checked="" type="checkbox"/>	0001h	
>	Датчик	int	<input checked="" type="checkbox"/>	0002h	
>	Holding Reg		<input type="checkbox"/>	0000h	Занято 4 байт. (0000h-0002h)
>	Вход С40	int	<input checked="" type="checkbox"/>	0000h	
>	Вход С41	int	<input checked="" type="checkbox"/>	0001h	

Рис. 7. Карта памяти регистров

Raise. Это позволяет увеличивать значение счётчика на единицу для каждого входного импульса независимо от его длительности. Без использования

такого формирователя счётчик увеличивает своё значение в течение всей длительности импульса с тактовой частотой ПЛК.

В среде разработки SMLogix десятичные числа отображаются на экране со знаком, в дополнительном коде в диапазоне от 0 до 32 767 и далее до минус 32 768. Но счётчик не использует старший разряд как знаковый, поэтому он считает от 0 до 65 535, как для чисел без знака.

Сумматоры после элементов счётчиков позволяют выполнить корректировку показаний и привести показания счётчиков на экране ПЛК к текущим, начальным показаниям счётчиков воды до начала измерений.

В блоке контроля утечки воды вход ain5 позволяет измерять напряжение от 0 до 10 В. Сопротивление подключённого датчика проводимости в сухом состоянии составляет сотни МОм, а вода снижает сопротивление между пластинами датчика до нескольких кОм. Один вывод датчика подключается к выводу 10V ПЛК, а второй – к входу ain5 ПЛК. Таким образом, при появлении воды её проводимость обеспечит коммутацию напряжения 10 В на вход ain5. Код аналого-цифрового преобразователя ПЛК для 10 В составит 30 690 единиц. Этот код сравнивается с кодом порога компаратора с заданным в программе значением 25 000 единиц. При превышении этого порога компаратор формирует выходной сигнал, который установит RS-триггер в единичное состояние. Триггер необходим для фиксации аварийного состояния и исключения самопроизвольного возврата в исходное состояние. В результате переключения триггера зелёный светодиод led0 отключится, включится красный светодиод led1 и замкнётся выходная цепь релейного порта dou0.

Сбросить аварийное состояние можно после проверки и устранения утечки водопроводов в ручном режиме с помощью кнопки ESC на ПЛК.

Дистанционный сбор показаний счётчиков из ПЛК можно производить через встроенный интерфейс RS-485 или через установленный в ПЛК сетевой модуль интерфейса Ethernet.

Карта памяти регистров для описанной программы ПЛК приведена на рис. 7.

Интерфейс RS-485 настраивается с помощью встроенного системного меню контроллера, вход в которое производится одновременным нажатием кнопок «Вверх» и «Вниз» ПЛК Pixel. Для повышения устойчивости связи рекомендуется задать скорость передачи

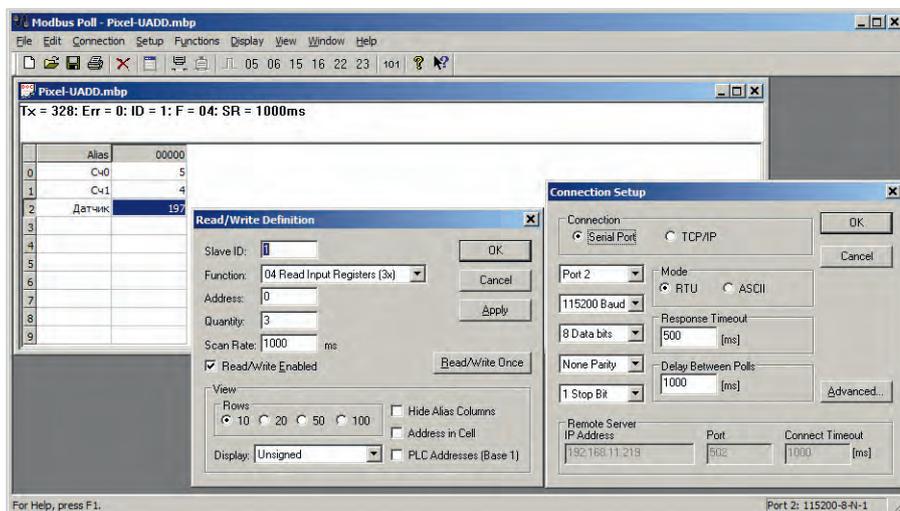


Рис. 8. Окно программы ModbusPull

данных по интерфейсу RS-485 равной 9600. В этом же меню настроек задаётся адрес ПЛК и формат данных.

Со стороны персонального компьютера можно использовать готовую программу Modbus Pull или аналогичную ей. Окно программы Modbus Pull с параметрами настройки приведено на рис. 8.

С помощью этой программы можно в любое время считать показания

всех счётчиков и значение датчика проводимости непосредственно с персонального компьютера, подключённого к ПЛК по сети Ethernet или через преобразователь USB/RS-485.

Для удалённого доступа к ПЛК из любой точки мира через Интернет с помощью компьютера или смартфона можно использовать программу удалённого управления, например, AnyDesk или подобную ей.

Данная программа обеспечит связь между двумя разнесёнными в пространстве компьютерными устройствами и позволит выполнять необходимые операции на удалённом домашнем компьютере, в том числе чтение показаний счётчиков воды через ПЛК.

## Заключение

Готовый файл проекта размещён на сайте журнала [3] и может быть использован для дальнейшего развития.

При желании данный проект можно дооснастить датчиком температуры, типа PT1000, для измерения температуры в помещении. Такой датчик подключается к свободному входу ПЛК, например, к ain0.

Таким образом, приведённый здесь проект можно развивать и использовать в автоматике «Умный дом».

## Литература

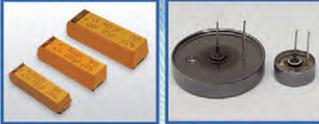
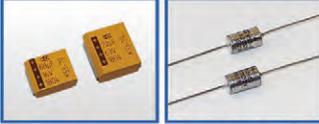
1. URL: <https://segnetics.com/ru/pixel>.
2. Вальна О. Программирование логических контроллеров // СТА. 2025. № 1. С. 18.
3. URL: <https://www.cta.ru>.





**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
ЭЛЕКОНД**

**РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО КОНДЕНСАТОРОВ**

<p><b>Оксидно-электролитические алюминиевые конденсаторы K50-...</b> Номинальное напряжение, <math>U_{ном}</math>, В, Номинальная емкость, <math>C_{ном}</math>, мкФ, Диапазон температур среды при эксплуатации, <math>T_{ср}</math>, °С</p>	<p>3,2 ... 485 1,0 ... 470 000 -60 ... 125</p>	
<p><b>Объемно-пористые танталовые конденсаторы K52-...</b> Номинальное напряжение, <math>U_{ном}</math>, В, Номинальная емкость, <math>C_{ном}</math>, мкФ, Диапазон температур среды при эксплуатации, <math>T_{ср}</math>, °С</p>	<p>3,2 ... 200 1,5 ... 60 000 -60 ... 175</p>	
<p><b>Оксидно-полупроводниковые танталовые конденсаторы K53-...</b> Номинальное напряжение, <math>U_{ном}</math>, В, Номинальная емкость, <math>C_{ном}</math>, мкФ, Диапазон температур среды при эксплуатации, <math>T_{ср}</math>, °С</p>	<p>2,5 ... 63 0,033 ... 2 200 -60 ... 175</p>	
<p><b>Суперконденсаторы K58-...</b> Номинальное напряжение, <math>U_{ном}</math>, В, Номинальная емкость, <math>C_{ном}</math>, Ф, Диапазон температур среды и эксплуатации, <math>T_{ср}</math>, °С</p>	<p>2,5 ... 2,7 1,0 ... 4 700 -60 ... 65</p>	
<p><b>Накопители электрической энергии на основе модульной сборки суперконденсаторов НЭЭ, МИК, МИЧ, ИТИ</b> Номинальное напряжение, <math>U_{ном}</math>, В, Номинальная емкость, <math>C_{ном}</math>, Ф, Диапазон температур среды при эксплуатации, <math>T_{ср}</math>, °С</p>	<p>5,0 ... 48 0,08 ... 783 -60 ... 65</p>	

Россия, 427968, Удмуртская Республика, г. Сарапул, ул. Калинина, 3  
Тел.: (34147) 2-99-53, 2-99-89, 2-99-77, факс: (34147) 4-32-48, 4-27-53  
e-mail: [elecond-market@elcudm.ru](mailto:elecond-market@elcudm.ru), [www.elecond.ru](http://www.elecond.ru)



Реклама

# Современная электроника и искусственный интеллект

## Часть 2. Использование искусственного интеллекта в разработках новых электронных устройств

Виктор Алексеев

В первой части статьи были описаны основные наиболее известные и перспективные большие языковые модели (LLM) искусственного интеллекта. В этой части рассмотрены ИИ-модели, позволяющие, кроме прочего, существенно упростить процесс разработки электронных устройств на всех этапах. Некоторые ИИ лучше других разбираются в общих вопросах и могут подсказать идею проекта. Другие модели хороши для программирования. Кроме того, существуют сложные технические решения, созданные с помощью ИИ в соответствии с конкретным техническим заданием. В статье рассмотрены на конкретных примерах эти варианты разработок.

### Проектирование новых электронных устройств с помощью искусственного интеллекта

Вместе с ростом популярности приложений искусственного интеллекта возникает нужда в простых и доступных средствах их создания, включающих идею и её воплощение, программирование, производство и контроль качества.

Если поставлена только цель новой разработки и нет чёткой концепции самого проекта, то с выбором идеи лучше всего может помочь та модель ИИ, которая всесторонне «образована» и лучше всего «знает» общие вопросы.

На следующем этапе имеет смысл обратиться к «узким специалистам». В последние годы появилось множество так называемых платформ искусственного интеллекта (Artificial Intelligence Platform – AIP), которые предлагают свой собственный набор сервисных функций и уникальных инструментов для автоматизации и решения конкретных технических задач.

Перечисление всех известных ИИ-платформ выходит за рамки целей этой статьи.

Согласно данным, опубликованным в статьях [1–6], наиболее популярными в 2024–2025 годах были следующие ИИ-платформы:

- Google Cloud AI – решение для интеграции ИИ в облачные сервисы, совместимость с BigQuery, CI/CD, Vertex AI для MLOps;

- Gemini – мультимодальность, генерация схем;
- Claude – программирование ES, работа с большими контекстами;
- Open Brain-Computer Interface – инструменты для сбора и анализа биосигналов;
- Industrial Operations X – промышленная инструментальная система, объединяющая искусственный интеллект, IoT, 3D-модели, редактор Mendix;
- IBM Watson – мощные средства визуализации экспериментальных данных, позволяющие генерировать интерактивные схемы, диаграммы и графики с выявлением мельчайших закономерностей;
- DataRobot – решение для автоматизированного машинного обучения;
- Google Vertex AI – комплексная платформа, объединяющая инструменты искусственного интеллекта Google для масштабируемого машинного обучения и анализа данных;
- Databricks Lakehouse Platform – решение для объединения файловых хранилищ на нескольких серверах;
- NVIDIA Omniverse – моделирование в реальном времени, 3D-проектирование, создание цифровых двойников.

Следует особо подчеркнуть то, что перечень компаний в этом списке не соответствует какому-то реальному рейтингу компаний, а отражает лишь совокупную точку зрения авторов перечисленных выше публикаций.

Все эти ИИ специализируются преимущественно на определённых приложениях. В том случае, когда точно известна конкретная тема разработки, чётко обозначенная в ТЗ, целесообразно обратиться к одной из конкретных вышеперечисленных платформ.

Рассмотрим для примера случай, когда не указаны точные технические условия, а заказчик высказал только общие пожелания к разработке. В этом случае практичнее воспользоваться услугами наиболее всесторонне «образованной» поисковой платформы. Вероятно, на сегодняшний день в общих вопросах лучше всего разбирается Google AI [7].

Впервые Google анонсировала создание Google AI Platform в апреле 2019 года как сквозную платформу, предназначенную для управления моделями машинного обучения.

Важной составляющей AI Platform является система непрерывной интеграции и непрерывного развёртывания (CI/CD). Эта опция широко используется в разработках программного обеспечения и позволяет автоматизировать процессы сборки, тестирования и развёртывания кода.

Особого внимания заслуживает интеграция AIP с Google Cloud Platform – GCP. Эта облачная инфраструктура позволяет разрабатывать, развёртывать и масштабировать приложения, веб-сайты и сервисы с использованием той же инфраструктуры, что и у Google.

Среди других ключевых возможностей следует отметить возможность прямой интеграции с BigQuery, TensorFlow и Kubernetes [8].

Обновлённая система Google Cloud, получившая название Vertex AI, предназначена для управления жизненным циклом ML-моделей. Несомненным преимуществом этой платформы является поддержка инструментов MLOps для автоматизации процессов разработки и развёртывания различных приложений [9].

Последняя из разработанных концерном Google ИИ платформ Google Agentspace была представлена на состоявшемся 13 декабря 2024 года пресс-релизе как новая универсальная инструментальная система, широко использующая ИИ-агентов (рис. 1).

Стоит отметить, что ИИ-агент может в соответствии с поставленной задачей собирать и анализировать всю имеющуюся по данному направлению информацию и самостоятельно выбирать способы и инструменты, необходимые для достижения конечной цели (рис. 1). Ключевое слово здесь – «самостоятельно». Таким образом, ИИ-агент должен, не запрашивая разрешения на каждом последующем шаге, исходя только лишь из первоначально поставленной цели, решать сложные поисковые задачи. Это требует тщательного планирования, глубокого исследования и анализа всех возможных путей решения.

Характерными известными примерами ИИ-агентов являются: чат-боты, отвечающие на запросы клиентов; роботизированные автомобили без водителей, которые используют датчики для навигации и принятия решений в реальном времени; виртуальные помощники, помогающие с планированием выполнения задачи и поиском оптимального пути её решения.

AI-агенты могут быть разными по сложности и функциям, но все они способны работать автономно, что делает их полезными для автоматизации и оптимизации различных процессов.

Как отметил Саураб Тивари, вице-президент и генеральный менеджер Google Cloud AI, основными компонентами новой платформы будут новые модели Gemini и новый аппаратный комплекс NotebookLM Plus. Платформа Google Agentspace, по существу, представляет собой мультимодальный поисковый ИИ-агент, который позволяет находить информацию из структурированных (таблицы) и неструктурированных (документы и электронные письма) данных, а также из часто используемых сторонних приложений, таких как Google Drive.

Кроме того, эта AIP позволяет использовать ИИ-агентов для автоматического выполнения таких рутинных функций, как, например, поиски новых публикаций и составление контента по заданной тематике, ответы



Рис. 1. Различного рода ИИ-агенты предоставляют интеллектуальную поддержку на всех этапах разработки нового проекта

на стандартные вопросы, а также другие повторяющиеся задачи [10].

Мозгом этой системы является семейство больших языковых моделей Gemini. В отличие от традиционных алгоритмических систем, Gemini обучалась на огромных массивах текстовых данных и программного кода. Это позволяет Gemini не только воспринимать запросы на естественном языке, но также обрабатывать ежедневно миллионы промежуточных программных операций, необходимых для формирования подробных отчетов с анализом и рекомендациями. Примечательно, что процессы, происходящие внутри такой модели, при выполнении этих миллионных операций зачастую непостижимы даже для её разработчиков [11].

Если сравнивать с другими LLM-моделями, то Gemini имеет преимущество в универсальности своего «образования».

Наибольший объем контекста в этом семействе LLM может анализировать в реальном времени Gemini 1.5 Pro. Эта модель может удерживать в памяти и одновременно обрабатывать несколько очень больших массивов

информации, таких, например, как технические руководства (Datasheets), содержащие десятки страниц текста, таблиц, формул и графиков.

В 2025 году пользователи получили возможность экспериментировать с новой MIM-моделью Gemini 2.0 Flash Native Image Generation, которая, помимо обычных текстовых функций, способна генерировать изображения, что позволяет создавать принципиально новые и функциональные схемы различных электронных устройств. Эта модель доступна на сегодняшний день через Google AI Studio и Gemini API. Для использования Gemini в полном объеме с доступом к большому количеству приложений нужно сгенерировать ключ API [12].

Важной составляющей платформы Google Agentspace является NotebookLM – ассистент на базе искусственного интеллекта, разработанный специально для работы только с теми документами, которые ему предоставили. Основная область применения этого ассистента связана с анализом различных текстов. Например, автор корректирует свою рукопись и просит найти и исправить орфографические

и грамматические ошибки или удалить определённые фразы или целые отрывки. При этом можно загружать файлы, содержащие до 500 000 слов или ограниченные суммарным объёмом до 20 МБ.

В другом случае NotebookLM может сделать обзор литературы по представленному ему списку сайтов в Интернете.

Поскольку NotebookLM умеет находить общие отрывки и темы в нескольких предоставленных ему документах, он является очень мощным инструментом в борьбе с плагиатом.

ИИ-ассистент NotebookLM доступен для пользователей старше 18 лет более чем в 180 регионах мира там, где поддерживается Gemini API, например, в Google One AI Premium, Google Workspace и Google Cloud. В тестовом режиме ассистентом NotebookLM в данный момент пока ещё можно пользоваться в свободном доступе через Google AI Studio [13].

Таким образом, поиск идеи для новой разработки можно начать с вопроса к Gemini. В случае необходимости можно будет дополнительно обратиться к отмеченным выше специализированным платформам.

Автор данной статьи задал Gemini следующий вопрос: «Предложи темы реальных проектов для малого бизнеса из области современной электроники, которые будут актуальны для жителей РФ со средним уровнем дохода в ближайшем будущем».

Модель ИИ Gemini предложила следующие темы проектов.

- Интеллектуальные системы энергосбережения для жилых помещений – разработка и изготовление комплексных решений по оптимизации энергопотребления в квартирах и частных домах.

- Локальные системы автономного питания и резервного энергоснабжения – разработка и изготовление портативных систем электропитания на базе солнечных панелей и ветрогенераторов малой мощности для частных домов и дач, интеллектуальные блоки бесперебойного питания для критически важных домашних систем.

- Интеллектуальные круглогодичные теплицы для загородных домов – разработка конструкции и систем автоматического поддержания климата для теплиц, работающих при температурах до -40°C.

Имеет смысл остановиться на проекте всесезонной «умной теплицы» (УТ) в качестве примера использования искусственного интеллекта в новых разработках электронных систем. Этот проект позволит владельцам небольших участков выращивать собственные продукты питания круглый год, независимо от погодных условий. Идея объединить решение энергетических проблем с продовольственной безопасностью очень актуальна не только для современной России, но также и для многих других стран мира.

Кроме того, проект умной теплицы может включать в себя и другие варианты, предложенные Gemini.

Напомним, что цель этой статьи заключается в том, чтобы показать максимум возможностей ИИ в разработках новой техники.

Так, в качестве первого пробного этапа Gemini предложила выращивать овощи и зелень на утеплённых лоджиях и балконах городских квартир с использованием современных гидропонных систем. Так, минимальный макет системы с контролем температуры может быть опробован на утеплённой лоджии в квартире. В этом варианте в качестве устройства, отслеживающего температуру, предлагается использовать, например, программируемый терморегулятор W1209, коммутирующий нагрузку до 20 А / 220 В. Цена такого устройства на маркетплейсах составляет около 300 руб. В качестве контроллера влажности подойдёт ХН-W3005 стоимостью около 500 руб.

Для дальнейшего развития проекта ИИ предложил схему оборудования для умной теплицы, работающей под управлением микроконтроллера Arduino Uno, включающую систему регулирования таких параметров, как: температура и влажность воздуха; освещённость; кислотность, влажность и электропроводность почвы (рис. 2). При этом были предложены различные конкретные варианты конструкций теплиц для загородного участка, которые можно эксплуатировать как в теплое время года, так и при отрицательных температурах.

Из предложенных вариантов для Подмосковья имеет смысл более подробно остановиться на проекте, набирающем популярность в северных провинциях Канады и получившем название Chinese Solar Greenhouse.

Особенности этой односкатной конструкции заключаются в ориентации с востока на запад и северной утеплённой непрозрачной стене, изготовленной из теплоаккумулирующего материала (деревянный брус, кирпич, бетон). В качестве одного из вариантов используется конструкция, в которой северная стена совмещена со стеной дома или бани. Вход в теплицу расположен на этой северной стене (рис. 3). Южная наклонная стена полностью прозрачная.

В качестве покрытия ИИ предлагает использовать воздушно-пузырьковую плёнку с инфракрасным барьером Solawgar толщиной 16,8 мм (6,6 дюймов) [14] или поликарбонат толщиной 15 мм.

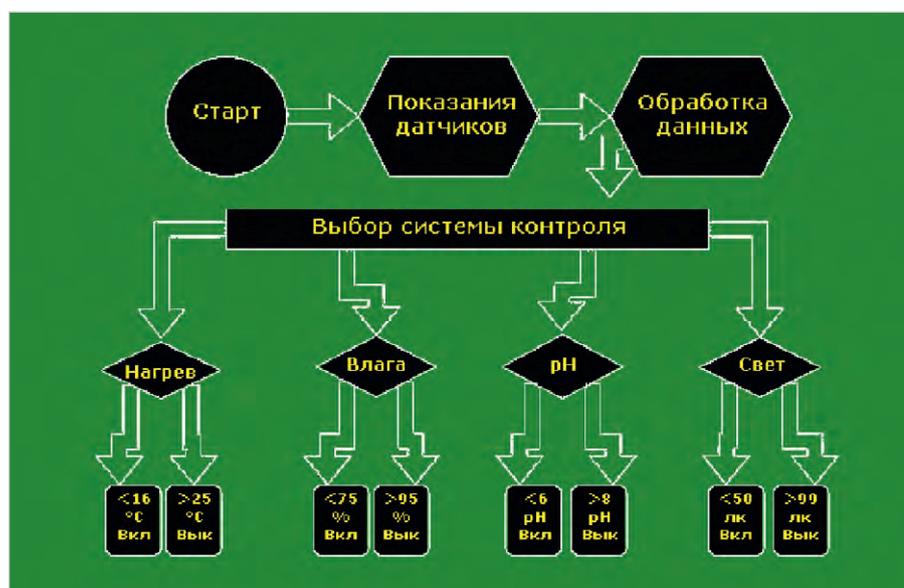


Рис. 2. Структурная схема управления теплицей с датчиками температуры, влажности, освещённости и pH

Исследования, проведённые в университете Манитобы (University of Manitoba), показали, что такие теплицы с покрытием из двух слоёв 16 мм поликарбоната с воздушной прослойкой между ними могут выдерживать большие нагрузки слоёв снега и способны поддерживать положительную температуру больше +10°C даже при температурах наружного воздуха -40°C [15].

Опытные пользователи систем искусственного интеллекта советуют проверять сообщения одной модели с помощью другой, аналогичного класса. Поэтому вопрос об оценке описанного выше проекта был задан LLM Grok. Эта модель ИИ высоко оценила результаты работы Gemini и со своей стороны добавила, что существенным улучшением теплоизоляции могли бы стать: использование одной из стен жилого дома в качестве северной стороны теплицы; тёплый пол и использование водяного отопления с антифризом от котла жилого дома; использование нагревательных кабелей на южной стороне теплицы; специальный блок автоматического включения дополнительного отопления с учётом прогноза погоды.

По последним данным ВЦИОМ (2024 год) дача или земельный участок есть у каждого второго горожанина, то есть примерно у 52% жителей крупных городов. Из них четверть (25%) имеют жильё с возможностью круглогодичного проживания, а остальные – в основном дачи для сезонного использования или просто земельные участки [16].

Дачи традиционно играют важную роль в производстве пищи для многих российских семей, обеспечивая значительный вклад в их продовольствен-

ную безопасность, особенно в периоды экономических колебаний.

В зависимости от того, насколько сложным будет выбран конечный вариант конструкции теплицы, в ней можно выращивать самые разнообразные продукты: от свежей зелени до помидоров, клубники и даже грибов [17].

В качестве одного из аргументов обоснования своего проекта Gemini привела экзотический пример по выращиванию деликатесных улиток в Московской области [18].

Насколько сложно и дорого будет отапливать подобную теплицу зимой, мы попросили оценить LLM Claude, которая, по мнению экспертов, считается одной из лучших в решении простых дифференциальных уравнений [19].

При расчётах использовались следующие параметры.

- Конструкция – односкатная, ориентация с востока на запад, северная утеплённая непрозрачная сторона примыкает к жилому дому или котельной.
- Покрытие наклонного ската и боковых стенок – поликарбонат, листы с размерами 2050×3050 мм производства российско-израильской фирмы Uni-Plast [20].
- Утеплённый фундамент.
- Размеры: 4×4×2 м (ширина, длина, высота).
- Суммарная площадь поверхностей теплицы – 34 м<sup>2</sup>.
- Площадь пола – 16 м<sup>2</sup>.
- Северная сторона теплицы, совмещённой с домом, не учитывается.
- Коэффициент теплопередачи для крыши из двухслойного поликарбоната 16 мм с воздушным зазором –  $k \approx 1,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ .



Рис. 3. Вариант конструкции зимней теплицы с северной стеной, совмещённой с тёплым домом

- Коэффициент теплопередачи для пола с утеплённым фундаментом –  $k \approx 0,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ .
- Объёмный расход воздуха: 15 м<sup>3</sup>/ч. Для приблизительных оценок использовалась простая модель теплового баланса теплицы, которая описывалась с помощью простого дифференциального уравнения:

$$C \times dT/dt = Q_{\text{вход}} - Q_{\text{выход}},$$

где:

C – теплоёмкость воздуха в теплице;  
T – температура воздуха в теплице;  
t – время;

$Q_{\text{вход}}$  – мощность нагревателя;

$Q_{\text{выход}}$  – теплопотери через конструкцию и воздухообмен.

Результаты расчётов приведены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, с увеличением толщины поликарбоната наблюдается снижение теплопотерь и, соответственно, требуемой мощности нагревателя. Каждые дополнительные 5 мм толщины поликарбоната дают снижение мощности примерно на 13%. Максимальный эффект (около 38%) даёт использование двойного слоя 15 мм с воздушным зазором по сравнению с одинарным слоем 15 мм. Двойной слой поликарбоната 15 мм позволяет сэкономить до 50–53% энергии по сравнению с одинарным слоем 5 мм в рассмотренном диапазоне температур окружающего воздуха.

Дополнительное снижение мощности нагревателя возможно за счёт тёплого пола с водяным обогревом от котла жилого дома. Тёплый пол площадью 16 м<sup>2</sup> практически сможет обеспечить большую часть необходимой тепловой мощности без дополнительных радиаторов.

Принимая доказательства того, что в целом проект «Умная теплица» может

Таблица 1. Результаты расчётов мощности системы обогрева теплицы для разных значений температуры окружающего воздуха и разных вариантов покрытия односкатной крыши

Температура внешнего воздуха (°C)	Мощность системы внутреннего обогрева теплицы, Вт			
	Поликарбонат 5 мм	Поликарбонат 10 мм	Поликарбонат 15 мм	Двойной слой поликарбоната 15 мм
-20	9100	7902	6944	4310
-10	6825	5927	5208	3233
-5	5687	4939	4340	2694
0	4550	3951	3472	2155
5	3412	2963	2604	1616
10	2275	1976	1736	1078
15	1137	988	868	539



модели могут быть встроены внутри таких редакторов кода, как, например, VS Code, Visual Studio, JetBrains IDE и других. В мае 2025 года OpenAI объявила о крупнейшем в своей истории приобретении – покупке платформы Windsurf (ранее Codeium) за \$3 млрд, что значительно усилит позиции компании на рынке ИИ-ассистентов для программирования [22] (рис. 5).

В свою очередь, каждый из этих двух классов включает как проприетарные модели (Claude, Grok, ChatGPT), так и модели с открытым кодом (Open Source/ Open Weights – Llama, Deepseek и др.).

В том случае, когда используются модели в диалоговом режиме, пользователь задаёт вопросы, описывает проблему или определяет необходимые действия на естественном разговорном языке, а LLM отвечает пояснениями, формулами и фрагментами кода.

Как правило, основные LLM-модели этого класса поддерживают большинство языков программирования общего назначения: Python, JavaScript (включая Node.js для бэкенд-разработки), Java, C# (фреймворк .NET), C++, C, Go (Golang), Ruby, Swift (для разработки iOS/macOS), Kotlin (для разработки Android), Rust, TypeScript.

Кроме того, поддерживаются традиционные языки веб-разработки; низкоуровневые языки ассемблера; языки функционального программирования; языки запросов к базам данных; предметно-ориентированные языки; языки для научных расчётов и многое другое.

Большие языковые модели LLM могут: писать, отлаживать и оптимизировать код; объяснять концепции, характерные для конкретного языка; помогать с фреймворками, библиотеками и инструментами, связанными с этими языками; поддерживать работу с регистрами микроконтроллеров или написание драйверов (низкоуровневое программирование).

Поэтому диалоговый режим предпочтителен для начинающих специалистов, которым предоставляется возможность пошагового обучения основам программирования на перечисленных выше языках.

Кроме того, мощные LLM-модели «знают» электротехнику, математику и физику на уровне университетской программы.

В процессе диалога они могут рассчитывать сложные цепи, используя такие инструменты, как комплекс-



Рис. 5. Диалоговые модели ИИ могут генерировать визуальное представление кодов для конкретного языка при программировании электронных устройств

ные переменные, интегрирование, дифференцирование, разложение в ряды и т.д.

В качестве примера можно привести рассмотренную в предыдущем разделе схему «умной теплицы», в которой климатические параметры поддерживаются с помощью контроллера Arduino.

Если у начинающего инженера-электронщика вообще нет никакого опыта подобной работы, то ему для самостоятельного создания программы управления понадобится как минимум несколько часов.

Если воспользоваться помощью одной из LLM-моделей, например Claude или Grok, то для решения задачи нужно всего лишь написать: «Создать код для поддержания заданных климатических параметров с помощью контроллера Arduino и подключённых к нему датчиков SEN0161, VME280, BH1750, а также вентилятора, нагревателя, системы поддержки влажности, системы управления шторами». В течение нескольких секунд Claude создаст код для их управления. Для примера ниже приведён фрагмент такого кода.

```
{ // Опрос датчиков
  float temperature = bme.
  readTemperature();
  float humidity = bme.
  readHumidity();
  float soilpH =
  map(analogRead(SEN0161_SOIL_
  SENSOR_PIN), 0, 1023, 0, 14) /
  10.0;
  float lightLevel = lightMeter.
  readLightLevel();
  // Вывод на экран
  Serial.println("Температура: "
  + String(temperature) + " °C");
  Serial.println("Влажность: " +
  String(humidity) + "%");
  // Включение исполнительных
  устройств по заданным условиям
  if (temperature > 20 &&
  temperature < 30) {
    digitalWrite(VENTILATOR_PIN,
    HIGH); // Включаем вентилятор }
    else {
    digitalWrite(VENTILATOR_PIN,
    LOW); // Выключаем вентилятор
  }
  if (soilpH > 6 && soilpH <
  8) {
    digitalWrite(WATER_VALVE_
    PIN, HIGH); // Включаем полив
```

```

}
  if (lightLevel > 50 &&
lightLevel < 100)
{   analogWrite(CURTAIN_PIN,
128);   // Шторы полуоткры-
ты }

```

Если нужно контролировать процесс через Serial Monitor, ИИ предложит последовательную проверку как схемы подключения, так и загруженных в микроконтроллер вручную строк кода. Кроме того, при желании можно попросить ИИ добавить обработку данных, их хранение и вывод результатов на дисплей. Если потребуется особая точность измерений температуры и влажности, то можно добавить механизм обработки ошибок, который включает функцию повторных попыток чтения при сбоях.

Также легко программировать с помощью ИИ на других языках, включая Python, JavaScript, C++ и другие.

Искусственный интеллект экономит время разработки, позволяя сосредоточиться на творческих аспектах проекта, а не на рутинном написании кода. Также Claude предоставляет пояснения к коду и рекомендации по его оптимизации.

Этот пример демонстрирует, как быстро можно получить работающий код с помощью ИИ, не вдаваясь в излишние технические детали, но сохраняя суть работы системы управления теплицей.

Среди новых диалоговых языковых моделей в данном разделе можно выделить Claude 4 Sonnet/Opus, обученную на миллиардах диалоговых примеров, что позволяет работать с расширенным контекстом, необходимым для анализа больших электронных схем и



Рис. 6. Модели ИИ Anthropic – Claude особенно эффективны при программировании «встраиваемых систем» (Embedded Systems – ES)

специальной документации, включая современные технические требования и юридические ограничения [23].

Эти модели особенно эффективны при программировании «встраиваемых систем» (Embedded Systems – ES), которые подразумевают специализированные компьютерные системы, созданные для выполнения определенных функций в рамках более крупного механического или электронного устройства. Такие системы состоят из микроконтроллера или микропроцессора, памяти, интерфейсов ввода/вывода, программного обеспечения, написанного специально для выполнения конкретных задач, а также исполнительного устройства.

В качестве хорошо известных примеров ES можно указать: контроллеры бытовой техники (рис. 6); автомобильные системы управления; промышленные контроллеры, переносные медицинские устройства.

Модели Claude зарекомендовали себя как комплексное решение для работы со встраиваемыми системами (Arduino, ESP32, STM32). Их функциональность охватывает весь цикл разработки: от написания и отладки кода до объяснения принципов работы различных компонентов. Особую ценность Claude представляет при проектировании, помощи в выборе компонентов, составлении технических требований с учётом законодательства, разработке тестовых сценариев и анализе результатов контроля качества. Поддержка интерфейсов I<sup>2</sup>C, SPI, UART в сочетании с глубокими знаниями из области математики и естественных наук делает Claude универсальным помощником для разработчиков электронных устройств различной сложности [24].

Модель Claude 4 может удерживать большой контекст (до 200 000 токенов), что позволяет загружать полные спецификации микроконтроллеров, документацию и части кодовой базы одновременно. Это особенно ценно при работе со сложными встраиваемыми системами, где важно учитывать множество взаимосвязанных компонентов.

Интерфейсы пользователя API Claude позволяют интегрировать его в существующие инструменты разработки [25].

Так, использование GitHub предоставляет доступ к проектам Claude в рабочих процессах разработки [26].

В режиме диалога работает достаточно много современных LLM. Ещё раз отметим, что данная статья не претендует на полный обзор всех существующих на сегодняшний день моделей ИИ. Ниже приведены только примеры диалоговых моделей, имеющих особые характерные черты.

Диалоговая система с доступом к Интернету Perplexity AI может: искать актуальную документацию микроконтроллеров и электронных компонентов; объединить поиск информации и генерацию кода в одном интерфейсе; использовать новые или малоизвестные электронные компоненты [27, 28].

Модель Grok (от xAI), имеющая доступ к актуальной информации через Интернет, специализируется на сложных технических вопросах и расширенном программировании [29, 30].

Специализированная модель DeepSeek Coder предназначена для программирования с открытым исходным кодом. Этот ИИ поддерживает более 40 языков программирования, имеет версии разной мощности (от 1,3 млрд до 33 млрд параметров) и особенно эффективен для работы с ассемблером и языками низкого уровня. Следует подчеркнуть, что DeepSeek обладает знаниями о различных процессорах и микроконтроллерах, разработанных в Китае (Huawei, Cambrian), что может оказаться крайне важным для российских инженеров и программистов [31–33].

Семейство моделей с открытым исходным кодом Mistral AI и Mixtral, ориентированное для работы с ограниченными ресурсами, может быть локально развернуто для работы без Интернета [34–36].

Однако существуют некоторые минусы диалогового режима, в частности, это относится к необходимости ручного копирования и вставки кода в редактор. Кроме того, затруднительным представляется процесс кодирования в реальном времени.

Крупные разработчики ИИ выпускают свои собственные специализированные инструменты и платформы.

Так, Core AI (подразделение Microsoft) разработало GitHub Copilot – один из самых популярных и мощных ИИ-ассистентов для программистов, интегрированный с платформой GitHub и поддерживаемый различными средами разработки [37].

В основе GitHub Copilot лежит модель OpenAI, обученная на миллионах репо-

зиториев GitHub. Другие решения предлагают Claude, ChatGPT и др.

Мощная модель искусственного интеллекта OpenAI Codex была разработана специально для генерации программного кода на основе естественного языка. Это программное обеспечение является преемником GPT-3 и поддерживает более десятка языков программирования, включая Python, JavaScript, Go, Perl, PHP, Ruby, Swift и Typescript. В мае 2025 года OpenAI представила исследовательскую предварительную версию Codex, интегрированную непосредственно в ChatGPT. Эта интеграция, значительно упрощает доступ к возможностям генерации кода через знакомый интерфейс ChatGPT [38].

Важно, что GitHub Copilot предлагает не отдельные токены или строки, а целые функции, классы и даже алгоритмы на основе комментариев, имён функций и окружающего кода. Важным аспектом GitHub Copilot является его способность учиться на контексте текущего проекта. При этом Copilot также предлагает функции интеллектуального тестирования: он может автоматически генерировать модульные тесты для написанного кода, помогая обеспечить его надёжность и соответствие требованиям.

GitHub Copilot интегрируется в редактор кода (VS Code, Visual Studio, JetBrains и др.) и работает в контексте кода, в отличие от диалоговых ИИ-ассистентов (Claude, ChatGPT). Немаловажно то, что GitHub Copilot понимает русский язык в комментариях. Предположим, что инженеру ставится та же задача, что и выше: создать драйвер для датчика DHT22.

Для этого он создаёт файл с комментарием: «//Класс для работы с датчиком температуры и давления DHT22».

Основываясь на этом комментарии и структуре проекта, Copilot генерирует полный класс с методами инициализации, чтения температуры, влажности, преобразования единиц измерения и обработки ошибок.

Инженер добавляет, например, ещё такие комментарии:

«//Должен иметь методы для инициализации, чтения температуры и влажности.

//Должны обрабатываться ошибки чтения и обеспечиваться возврат структуры с данными».

Учитывая это, Copilot автоматически распознаёт шаблон и предлагает ана-



Рис. 7. В режиме «МоЕ» вместо полной вычислительной мощности большой LLM модели используется только несколько небольших специализированных блоков, называемых «эксперты»

логичную, но адаптированную структуру для нового устройства.

Инженер может либо принять предложенный вариант кода (Tab), либо продолжить модернизировать драйвер, добавляя новые комментарии (Esc).

В новых версиях появился Copilot Chat, который ближе к диалоговому формату. Он позволяет задавать вопросы о коде, запрашивать объяснения и генерировать код через расширенные варианты комментариев [39–41].

Последняя версия «GitHub Copilot X» поддерживает расширенный вариант комментариев внутри редактора кода, который хотя и ближе к диалоговому формату, но всё же ориентирован на решение достаточно сложных задач программирования.

Модель GitHub Copilot в первую очередь ориентирована на задачи программирования высокого уровня, такие, например, как: Python, JavaScript, C++. Поэтому её использование для программирования приложений низкого уровня не будет рентабельным.

Необходимо также отметить специальный тип архитектуры боль-

ших моделей ИИ, получивший название Mixture of Experts – MoE. В этом варианте вместо полной вычислительной мощности большой модели используется несколько только меньших специализированных блоков, называемых Experts (эксперты). Каждый «эксперт» лучше справляется с определёнными задачами, и система решает, какой эксперт или комбинация экспертов лучше подходит для конкретного запроса (рис. 7).

Наиболее эффективно архитектура MoE проявляется в модели DeepSeek R1. Эту опцию используют также и другие модели, такие как Mistral-7B; Grok 3 mini; Google Switch Transformer; Google GShard; Meta NLLB.

При работе в режиме MoE отмеченные модели экономят вычислительные ресурсы за счёт того, что используют только часть своих параметров в каждый определённый момент времени. Например, для того чтобы обработать конкретный запрос, модели DeepSeek R1 не нужно задействовать всех 256 экспертов, которые у неё есть, а достаточно подключить в работу только 8 из них. Это свойство карди-

нально экономит задействованные ресурсы памяти, что очень важно для моделей с открытым кодом, таких как Mistral, DeepSeek и др. Сегодня внедрение проприетарных систем ИИ сдерживается из-за нежелания компаний отправлять конфиденциальную информацию на сторонние серверы. Для того чтобы организовать свой собственный ИИ, необходимо кроме открытого ПО, например DeepSeek, иметь сервер с графическими процессорами, обладающий достаточным объёмом памяти.

В качестве такого устройства можно будет использовать настольный профессиональный компьютер Mac Studio – M3 Ultra 512GB [42].

На сегодняшний день это самый мощный компьютер Apple, который может быть использован для задач, связанных с ИИ.

Оперативная память 512 ГБ (RAM) в Mac Studio позволяет работать с очень большими массивами данных, такими, которые используют ИИ-модели с миллиардами параметров (например, DeepSeek R1) [43].

Ожидается, что, по сравнению с серверами на базе процессоров NVIDIA H100, стоимость полностью готового к работе комплекта Mac Studio будет, по крайней мере, в пять раз меньше.

В конце марта 2025 года на платформе X.com появилось сообщение о том, что Anthropic использует чипы Amazon Trainium 2 для обучения своих следующих моделей. Для замены одного процессора NVIDIA H100 необходимо три чипа Amazon. Планируется, что Anthropic будет иметь в своём распоряжении около 400 000 таких процессоров в рамках проекта Amazon Rainier [44].

Комбинация Open Source – LLM, которые поддерживают технологии MoE, с новыми техническими решениями типа Mac Studio, Amazon Trainium 2 и другими позволит небольшим компаниям создавать свои собственные локальные системы искусственного интеллекта, предназначенные для обслуживания конкретных приложений.

Более подробно инновационные аппаратные решения в области искусственного интеллекта будут рассмотрены в следующей части статьи.

## Использование искусственного интеллекта в медицине, фармакологии и микробиологии

Рассмотренный в первом разделе статьи проект «умной теплицы» был

использован для того, чтобы на простом примере показать все этапы участия ИИ в новых разработках, начиная от обоснования базовой идеи и заканчивая практической реализацией.

Вместе с тем существуют технические решения, в которых уникальные возможности искусственного интеллекта используются для решения конкретных задач, требующих углублённой экспертизы и огромных вычислительных мощностей, обеспечивающих правильное решение там, где традиционные методы достигли своих пределов. Наиболее успешные разработки в приборах и оборудовании за последние несколько лет были реализованы с помощью больших мультимодальных моделей.

Для того чтобы продемонстрировать ещё одну функцию генеративной модели Grok-3, мы проанализировали с её помощью публикации, посвящённые использованию ИИ в различных областях науки и техники за последние пять лет (2020–2025 гг.). Первичные оценки были сделаны на основе исследования ведущей мировой базы данных цитирования Web of Science Core Collection, содержащей информацию о тысячах научных журналов, книг, книжных серий и конференций [45].

Кроме того, учитывались материалы, доступные на сайте AI Index Report, которые представляют собой самые обширные и глубокие аналитические ежегодные отчёты о развитии аппаратного обеспечения ИИ [46].

Также были приняты во внимание статьи, опубликованные на сайтах таких ведущих журналов, как: Artificial Intelligence; Journal of Artificial Intelligence Research (JAIR); AI Magazine; IEEE Intelligent Systems; IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems; Nature Machine Intelligence; IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (TPAMI); Science; Proceedings of the National Academy of Sciences.

Согласно AI Index Report, за 2020–2025 годы ежегодно публиковалось в среднем около 300 тысяч статей по ИИ. Таким образом, ИИ Grok проанализировал около двух миллионов публикаций. Эта оценка включает статьи, препринты и материалы конференций из указанных источников.

С помощью большой генеративной модели Grok 3 был выполнен автоматизированный анализ метаданных и

содержания публикаций с использованием методов обработки естественного языка. Результаты этих оценок приведены в табл. 3.

Оставшаяся доля публикаций (20%) распределяется примерно равными частями между другими областями, главными из которых являются: бизнес, торговля, картография и навигация, а также городское и коммунальное хозяйство. Следует подчеркнуть, что приведённые оценки являются приблизительными и зависят как от метода анализа, так и от использованных данных.

Особый интерес представляют разработанные с помощью ИИ приборы и оборудование для медицинских и микробиологических приложений. Недоступные человеку свойства ИИ, такие как, например, способность распознавать мельчайшие детали изображения, запоминать их и мгновенно сравнивать с миллионами других аналогичных визуальных образов, помогли создать действительно уникальное оборудование.

Сегодня мы можем наблюдать, как искусственный интеллект коренным образом изменяет традиционный процесс проектирования электроники, создавая более точные, эффективные и персонализированные решения. Важную роль на этапе проектирования играет создание прототипов в форме 3D-моделей с помощью ИИ.

Например, генеративный ИИ может анализировать биомеханические данные пациента, оптимизируя их форму, вес и прочность для разработки персонализированных ортопедических протезов. Также генеративный ИИ способен моделировать сложные биологические процессы, такие как кровотоки в сосудах и их состояние, для проектирования в особо сложных случаях кардиологических стентов или катетеров с улучшенной функциональностью.

Использование ИИ значительно улучшает диагностическую визуализацию. Современные кардиографы с интегрированным ИИ используют нейронные сети и алгоритмы машинного обучения для автоматической расшифровки ЭКГ. Они анализируют большие объёмы данных, включая необработанные сигналы, и выявляют паттерны, которые могут быть незаметны человеку.

Например, врачебные ошибки диагностики инфаркта миокарда на осно-

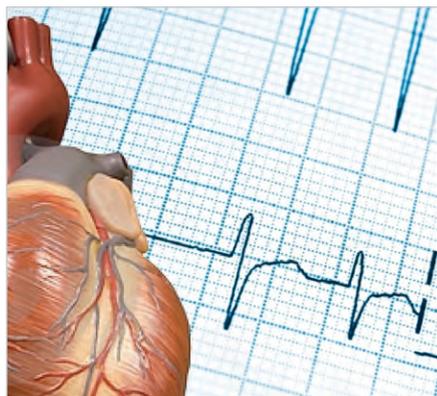


Рис. 8. Врачи скорой помощи могут анализировать кардиограмму только «на глаз», упуская характерные особенности сердечной деятельности конкретного человека

вании только первого измерения, проведённого с помощью классического кардиографа с самописцем, по данным исследований превышают в ряде случаев 30%. Врачи скорой помощи могут анализировать кардиограмму только «на глаз», упуская характерные особенности сердечной деятельности конкретного человека (рис. 8).

Современные диагностические комплексы с искусственным интеллектом, обученным на примерах сотен тысяч кардиограмм, способны выявить мельчайшие признаки заболевания даже при первом измерении [47, 48].

Исследования Первого Московского государственного медицинского университета имени И.М. Сеченова показали, что ИИ, используя корреляционный анализ частот колебаний сигнала, которые фактически недоступны человеческому глазу, позволяет выявить снижение диастолической функции миокарда с точностью до 94%. В то же время точность ручной интерпретации в таких критических случаях не превышала 60% [49].

В первом разделе статьи на простом примере была показана важность использования специализированных медицинских платформ для проектирования электронного оборудования. Кроме отмеченных в первом разделе ИИ-платформ широкого диапазона действия существуют и узкоспециализированные ИИ-платформы, такие как, например: Autodesk, TensorFlow, PyTorch, OpenBCI [50–52]. Эти платформы значительно упрощают разработку новых моделей медицинского оборудования.

В качестве примера можно привести проект с открытым исходным



Рис. 9. Мобильный вариант «Ganglion» аппаратной части платформы «OpenBCI» выполнен на базе компактной 4-канальной платы

кодом Open Brain-Computer Interface – OpenBCI, созданный с помощью ИИ GitHub для интерфейсов «мозг–компьютер». Открытая платформа OpenBCI, предназначенная для разработки интерфейсов мозг–компьютер, предоставляет медикам инструменты для сбора и анализа биосигналов, таких как электроэнцефалография (ЭЭГ), электромиография (ЭМГ) и электрокардиография (ЭКГ). Платформа включает аппаратное обеспечение (микроконтроллеры и сенсоры) и программное обеспечение (графический интерфейс, библиотеки для Python, Node.js и других языков).

Существует две базовые модели OpenBCI. Расширенный вариант Cyton на базе 8-канальной платы с возможностью расширения до 16 каналов с модулем Daisy предназначен для высококачественной записи биосигналов с низким уровнем шума. Мобильный вариант Ganglion выполнен на базе компактной 4-канальной платы (рис. 9) [52].

Модуль Wi-Fi Shield позволяет передавать данные на высоких скоростях (до 1000 Гц), что особенно важно для исследований, требующих высокой точности [53]. С помощью адаптера cEEGrid Adapter можно проводить суточное мониторирование ЭЭГ [54]. Программное обеспечение OpenBCI GUI предназначено для визуализации и обработки данных в реальном времени с поддержкой Mac, Windows, Linux. Библиотеки Python/Node.js позволяют разработчикам интегрировать данные OpenBCI в свои приложения, включая обработку с помощью ИИ GitHub. Поддержка протоколов LSL (Lab Streaming Layer) даёт



Рис. 10. Компьютерная томография с использованием ИИ даёт возможности диагностики опасных заболеваний головного мозга

возможность синхронизации с другими устройствами и программами. Это позволяет комбинировать данные ЭЭГ, например, с данными от глазных трекеров или датчиков сердечного ритма [55] (рис. 10).

Взрывной характер разработок с использованием ИИ в компьютерной томографии, наблюдавшийся в период пандемии COVID-19 (2019–2023 гг.), привёл к тому, что в настоящее время это одно из наиболее развитых направлений в современной медицине [56].

Анализ в реальном времени мультимодальных данных, использующий визуализацию микроаномалий, а также их компьютерную обработку с помощью ИИ, позволяет диагностиро-

Таблица 3. Распределение количества публикаций по областям применения за период 2020–2025 гг.

№ п/п	Область использования ИИ	Количество публикаций за период 2020–2025 гг., %
1	Медицина, включая микробиологию	30%
2	Робототехника, включая БПЛА, а также морской и наземный беспилотный транспорт	20%
3	Электроника, включая разработку и производство электронных компонентов	15%
4	Квантовые вычисления, включая квантовые компьютеры и разработку новых материалов с помощью квантовой физики и химии	10%
5	Фармакология, включая разработку новых лекарственных препаратов, действующих на молекулярном уровне	5%

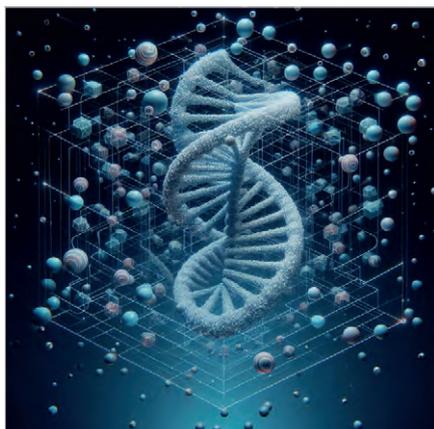


Рис. 11. В модели AI ATOM-1 используется метод «химического картирования» молекул РНК

вать начало таких заболеваний головного мозга, как, например, деменция, аневризмы и метастазы [57] (рис. 11).

В качестве одного из успешных реализованных проектов необходимо отметить также российский Медицинский цифровой диагностический центр (MDDC), который предоставляет практикующим врачам услуги по установлению диагноза с помощью искусственного интеллекта и современного медицинского оборудования. При этом можно поставить диагноз удалённо, пересылая в реальном времени полученные в своей клинике инструментальные данные измерений, анализов, аудио- и текстовых заключений. Кроме того, можно провести в центре MDDC и дополнительное непосредственное обследование. Так, с помощью комплексного оборудования компьютерной томографии, включающего ИИ, в клинике SberMedAI имеется возможность выявлять ранние симптомы раковых заболеваний с очень высокой точностью.

Другое быстроразвивающееся направление связано с использованием ИИ в молекулярной биологии. Такие разработки позволяют создавать новые биологические электронные компоненты, такие как, например, молекулярные транзисторы [59], квантовые точки на органических молекулах [60], биосенсоры [61].

С другой стороны, внедрение ИИ в молекулярную биологию ускоряет создание абсолютно нового класса лекарств на основе РНК (рибонуклеиновая кислота) [62].

Огромный объём информации, которую ИИ способен обрабатывать за секунды, миллиарды токенов, усвоенных моделью в период обучения, а так-



Рис. 12. Китайский БПЛА Wing Loong II, созданный и эксплуатируемый с помощью ИИ

же доступ к дата-центрам позволяют искусственному интеллекту предсказывать структуры органических молекул с заданными свойствами за считанные минуты. Для проведения подобных исследований с использованием только современных традиционных методов поиска, таких как рентгеновская кристаллография, ядерный магнитный резонанс или криоэлектронная микроскопия, потребовались бы недели и месяцы.

Таким образом, ИИ помогает в создании молекул для новых медикаментов, оптимизируя процесс их проектирования. Это направление, получившее название De Novo Design, использует глубокие нейронные сети для проектирования молекул с заданными свойствами.

С помощью генеративного моделирования ИИ может предлагать химические структуры, которые затем будут тестироваться в реальных лабораториях. Такие системы уже успешно применялись для разработки молекул, способных взаимодействовать с определёнными биологическими мишенями. Например, с помощью искусственного интеллекта были спроектированы ингибиторы DDR1 с таргетной активностью на уровне наномолярных единиц [63].

Особые свойства ИИ позволили создать лекарственные препараты, работающие даже на генном уровне. В конце 2023 года была опубликована статья с описанием нового проекта компании Atomic-1 – платформы «AI ATOM-1», предназначенной для разработки лекарств на основе РНК (RNA) [64]. Для предсказания структуры и функции РНК в модели ATOM-1 используется метод визуализации

пространственного распределения химических элементов, получивший название «химическое картирование» – ХК [65].

Без углубления в детали отметим, что ХК позволяет получать образы химических элементов, распределённые в определённой координатной системе, в частности, связанной с векторными или другими физическими координатами [65] (рис. 12). Использование искусственного интеллекта позволило компании Atomic AI разработать ряд РНК-лекарств с уникальными свойствами [66].

Дополнительную информацию на эту тему можно найти в обзорах [67, 68].

### Использование ИИ в электронике и робототехнике

С точки зрения использования в современной электронной промышленности наиболее интересны ИИ класса CV&IG (Computer Vision & Image Generation – компьютерное зрение и генерация изображений). В той или иной мере этими качествами обладают последние варианты отмеченных выше таких платформ и моделей, как, например, Google AI Platform, OpenAI Grok, Claude, DeepSeek, GPT-4 Vision, Microsoft Copilot, Google DeepMind Gato, Gemini 2.5 и другие.

Модели класса CV&IG могут анализировать технические чертежи, распознавать компоненты, оказывать помощь в отладке схем и даже давать рекомендации по ремонту неисправной платы на основе анализа её фотографии [69].

Типичным примером специализированных CV&IG является Stable Diffusion

XL. Из характерных особенностей этой модели можно выделить: открытый исходный код; возможность локального запуска; модели специальных технических задач. В качестве примера практического использования можно попросить Stable Diffusion сгенерировать изображения электронных компонентов с точными спецификациями [70].

Другой ИИ этого типа DALL-E 3 отличаются такие черты, как: точное следование текстовым описаниям; понимание технической терминологии; высокая степень детализации; точность в создании технической документации; профессиональное восприятие схем и чертежей; возможность создания 3D-моделей. Кроме того, она может создавать визуализации печатных плат или другие документы. Например, DALL-E 3 в состоянии разработать инструкцию по сборке электронных устройств с пошаговыми иллюстрациями [71].

Новая версия модели AI Midjourney V6 представляет собой профессиональный инструмент, который может генерировать расширенные реалистичные изображения, близкие к фотографии. Максимальное выходное разрешение увеличилось до 2048×2048 пикселей, что почти вдвое больше, чем у других моделей этого класса. Ещё одной характерной особенностью Midjourney V6 является улучшенное понимание и согласованность подсказок, что позволяет точно следовать более длинным и сложным инструкциям. Кроме того, версия V6 имеет новые функции, которые позволяют пользователям многократно редактировать изображения и текстовые подсказки и создавать различные вариации из существующих изображений. Поэтому эта модель может быть использована в качестве незаменимого помощника конструкторов и дизайнеров электронного оборудования [72].

Системы искусственного интеллекта класса CV&IG могут оказаться крайне полезными в тех приложениях, где одновременно нужно наблюдать за процессом, учитывать показания контролируемых датчиков и мгновенно реагировать в реальном времени на критические отклонения ситуации от заданной инструкции.

Анализируя обширные комбинации элементов дизайна, алгоритмы ИИ оптимизируют производительность, надёжность и безопасность наиболее сложных устройств, контроль работы

которых крайне затруднён обычными средствами в реальном времени.

Например, компания Synopsys предлагает разработчикам услуги по оптимизации с помощью специализированного ИИ процессов разработки микросхем [73].

В качестве другого примера можно привести платформу Cadence JedAI Platform, которая значительно ускоряет создание энергоэффективных чипов. Эта платформа, разработанная Cadence для повышения производительности, уменьшения энергопотребления и площади, позволяет инженерам использовать возможности и знания специально обученного ИИ для совершенствования собственных разработок. Это особенно важно для успешных компаний-стартапов, переходящих от опытных разработок к массовому производству [74].

Искусственный интеллект играет очень важную роль в процессах создания прототипов и прогнозирования их работы при различных режимах эксплуатации. Анализ режимов работы реального устройства позволяет искусственному интеллекту вносить динамические изменения параметров в математическую модель прототипа, корректируя её в соответствии с различными критическими ситуациями и тем самым максимально приближая её описание к материальному образцу. Такой подход позволяет прогнозировать и предотвращать аварийные ситуации при опасном совокупном изменении параметров, фиксируемых ИИ и недоступных даже опытному оператору. Кроме того, постоянный контроль параметров работы производственного оборудования предсказывает с помощью ИИ необходимость профилактического обслуживания и замены критически важных компонентов всей системы [75].

Системы искусственного интеллекта, использующие алгоритмы обработки изображений на основе свёрточных нейронных сетей (CNN), нашли широкое применение в оборудовании для высокоточного контроля качества. Эти системы способны выявлять микроскопические дефекты в различных деталях, платах и электронных компонентах с точностью, превосходящей человеческие возможности. Например, система машинного зрения In-Sight, разработанная компанией Cognex, может проводить контроль продукции с разрешением 1600

на 1200 пикселей. Встроенный в систему ИИ анализирует данные с камер высокого разрешения, обнаруживая трещины, неровности или отклонения в размерах, что обеспечивает 99% соответствия заявленным в технической документации параметрам [76].

Одной из наиболее распространённых в промышленных приложениях платформ искусственного интеллекта является Insights Hub, которая образовалась в 2021 г. на базе открытой облачной операционной системы Интернета вещей MindSphere, разработанной Siemens для промышленных приложений. В настоящее время Insights Hub является частью более широкой экосистемы Industrial Operations X, которая объединяет искусственный интеллект, IoT, 3D-модели (цифровые двойники) и редакторы программирования промышленных микроконтроллеров (Mendix).

Из основных областей применения Insights Hub можно отметить: сбор и обработку данных с оборудования, датчиков и систем управления; использование продвинутой аналитики и ИИ для оптимизации производственных процессов; разработку прикладного программного обеспечения и цифровых двойников с помощью ИИ и платформы Mendix; сбор и анализ данных для предиктивной аналитики; генеративное проектирование, предлагающее альтернативные схемы компоновки электронных устройств на основе заданных критериев.

Платформа Insights Hub связывает проектирование с производством через интеграцию с системами Siemens, такими как Teamcenter (PLM) и Simatic IT (MES). Так, например, данные о проектировании платы в Teamcenter могут быть переданы в Insights Hub для анализа, а затем использованы для настройки производственных линий.

Важно то, что Insights Hub поддерживает интеграцию с инструментами машинного обучения, такими, например, как InstantML от Tangent Works, что позволяет разрабатывать целевые ИИ-модели для специфических задач. Кроме того, эта платформа обеспечивает доступ к MindSphere Store и сообществу разработчиков, где можно найти готовые приложения и ресурсы.

Интеграция с Siemens Xcelerator предоставляет разработчикам возможность связи с другими инструментами, в том числе NX для САПР [77, 78].

Автономные транспортные системы и робототехнику на базе ИИ можно рассматривать как отдельный вид моделей класса MMM AI с продвинутыми перцептивными возможностями.

Искусственный интеллект (ИИ) значительно трансформирует процессы проектирования и эксплуатации БПЛА, обеспечивая автоматизацию, оптимизацию и повышение безопасности. На этапе проектирования ИИ применяется для моделирования аэродинамики и оптимизации конструкции, например, через программное обеспечение Siemens Fibersim, которое сокращает вес и затраты на производство за счёт точного расчёта композитных материалов [79].

В последние годы стремительно развиваются во всём мире проектирование и производство беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с использованием искусственного интеллекта. В процессе эксплуатации ИИ обеспечивает автономное управление полётом и обработку данных. При этом специально обученный ИИ позволяет выполнять разведку и наведение с высокой точностью и минимальным участием оператора [80].

Ещё одно приложение, широко использующее MMM AI, связано с системами управления беспилотного транспорта на базе ИИ, которые разрабатывает Google DeepMind [81].

Кроме того, Google DeepMind разработала модели искусственного интеллекта Gemini Robotics и Gemini Robotics-ER для роботов. Эти модели позволяют роботам понимать и взаимодействовать с физическим миром, выполняя сложные задачи, требующие точной моторики.

В отличие от традиционного программирования, где каждое действие робота строго определено, подход DeepMind основан на создании систем, способных самостоятельно адаптироваться к новым задачам. Модели, обученные в симуляциях, успешно переносят полученные навыки в реальный мир, демонстрируя гибкость и универсальность [82].

Компания OpenAI также активно развивает направление роботизированных систем (Multifunctional Robots – MFR), объединяя достижения в области обработки языка и компьютерного зрения с робототехникой.

В 2018 году OpenAI представила систему Dactyl – роботизированную руку, способную манипулировать объ-

ектами с высокой ловкостью. Система была обучена полностью в симуляции с использованием метода Domain Randomization, что позволило успешно перенести навыки в реальный мир без дополнительной настройки [83].

Компания фокусируется на создании роботов, способных воспринимать естественные команды человека и выполнять сложные многоэтапные задачи. Особое внимание уделяется обучению роботов через демонстрацию – система наблюдает за действиями человека и способна повторить их, адаптируясь к конкретным условиям.

Система использует две нейросети: одна анализирует визуальные данные, другая – имитирует действия. Это позволяет роботам воспроизводить задачи в различных начальных условиях, даже если они отличаются от демонстрации [84].

OpenAI также экспериментирует с переносом навыков между роботами различной конфигурации, что позволяет ускорить обучение и повысить универсальность систем. Передача навыков между симуляцией и реальностью показала, как можно обучать роботов в симуляции с последующей успешной передачей навыков в реальный мир. Методика включает случайную настройку параметров симуляции, что обеспечивает устойчивость алгоритмов к различиям между симуляцией и реальностью [85].

Недавно компания Figure в сотрудничестве с OpenAI представила гуманоидного робота, способного понимать и выполнять команды на естественном языке. Робот может описывать свои визуальные наблюдения, планировать действия и объяснять свои решения, что стало возможным благодаря интеграции MMM-моделей OpenAI [86].

Приведённые в этой статье примеры далеко не полностью охватывают весь спектр приложений, которые используют возможности искусственного интеллекта для проектирования и создания различных электронных устройств, приборов и оборудования. Однако даже те случаи, которые были отмечены в статье, позволяют понять ту огромную роль, которую играет ИИ в современной и будущей электронике.

## Литература

1. Materials Today Electronics, Volume 11, May 2025, 100136. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772949425000026>.

2. Electronics 360, 20 January 2025. URL: <https://electronics360.globalspec.com/article/21814/ai-driven-electronics-design>.
3. Aimagazine, November 01, 2024. URL: <https://aimagazine.com/top10/top-10-ai-platforms>.
4. Litslink 12 Apr, 2025. URL: <https://litslink.com/blog/3-most-advanced-ai-systems-overview>.
5. Pieces for Developers. Feb 20, 2025. URL: <https://pieces.app/blog/top-10-ai-tools-for-developers>.
6. Best AI Platforms of 2025. URL: <https://thectoclub.com/tools/best-artificial-intelligence-platform/>.
7. Google AI Platform. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/exploring-google-clouds-ai-platform-saurabh-anand-vy40e>.
8. Google AI Platform. URL: <https://cloud.google.com/ai-platform/docs>.
9. Vertex AI. URL: <https://cloud.google.com/vertex-ai?hl=ru>.
10. Google Unveils Enterprise AI Platform With Search and Agents. URL: <https://www.pymnts.com/news/artificial-intelligence/2024/google-unveils-enterprise-ai-platform-with-search-agents>.
11. On the Biology of a Large Language Model. URL: <https://transformer-circuits.pub/2025/attribution-graphs/biology.html>.
12. Google AI Studio. URL: [https://aistudio.google.com/prompts/new\\_chat](https://aistudio.google.com/prompts/new_chat).
13. NotebookLM. URL: <https://notebooklm.google.com/>.
14. SOLAWRAP Canada. URL: <https://solawrap.ca/>.
15. Performance of Chinese Solar Greenhouses in Northern Climates. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095311923001234>.
16. Сезон у дачи. URL: <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor-sezon-u-dachi>.
17. Садовый эксперт. URL: <https://bit.ly/3YqnL8i>.
18. Экодевушка. URL: <https://ecoderevushka.ru/snail>.
19. Anthropic Education Report. URL: <https://www.anthropic.com/news/anthropic-education-report-how-university-students-use-claude>.
20. Uni-Plast. URL: <https://uni-plast.ru/zakaz-zvonka>.
21. XEBELI. URL: <https://www.hevelsolar.com/catalog/solnechnye-moduli/modul-fotoelektricheskii-hvl-395hjt/>.
22. OpenAI agrees to buy Windsurf. URL: <https://www.reuters.com/>

- business/openai-agrees-buy-windsurf-about-3-billion-bloomberg-news-reports-2025-05-06/.
23. Anthropic – Claude – LLM. URL: <https://www.anthropic.com/claude>.
  24. API – Claude. URL: <https://docs.anthropic.com/claude/>.
  25. Getting Started With The Api. URL: <https://docs.anthropic.com/claude/reference/getting-started-with-the-api>.
  26. Anthropic Cookbook. URL: <https://github.com/anthropics/anthropic-cookbook>.
  27. Perplexity. URL: <https://www.perplexity.ai/>.
  28. API. URL: <https://docs.perplexity.ai/>.
  29. Grok x.ai. URL: <https://grok.x.ai/>.
  30. API. URL: <https://x.ai/api>.
  31. Deepseek. URL: <https://www.deepseek.com/>.
  32. GitHub repos. URL: <https://github.com/deepseek-ai/DeepSeek-Coder>.
  33. API. URL: [https://platform.deepseek.com/api\\_reference](https://platform.deepseek.com/api_reference).
  34. La Plateforme. URL: <https://console.mistral.ai/>.
  35. API: <https://docs.mistral.ai/>.
  36. GitHub – mistralai. URL: <https://github.com/mistralai>.
  37. GitHub Copilot. URL: <https://github.com/features/copilot>.
  38. Codex in ChatGPT. URL: <https://m.youtube.com/watch?v=hhdnpbfH6NU>.
  39. GitHub Copilot features: URL: <https://github.com/features/copilot>.
  40. Education github URL: <https://education.github.com/pack>.
  41. Arduino IDE github. URL: <https://github.blog/2023-06-27-how-to-use-github-copilot-in-arduino-ide/>.
  42. M3 Ultra 512GB Mac Studio. URL: <https://www.apple.com/ru/newsroom/2025/03/apple-unveils-new-mac-studio-the-most-powerful-mac-ever>.
  43. Mac Studio, March 5, 2025. URL: <https://www.apple.com/mac-studio/specs/44>.
  44. Amazon Web Services. URL: <https://aws.amazon.com/about-aws/whats-new/2024/11/amazon-trainium2-accelerators-anthropic-ai-training/>.
  45. Web of Science Core Collection. URL: <https://webofscience.help.clarivate.com/Content/wos-core-collection/wos-core-collection.htm>.
  46. HAI ai-index. URL: <https://hai.stanford.edu/ai-index/2025-ai-index-report>.
  47. The LANCET, Volume 6, Issue 10E729-E738 October 2024. URL: [https://www.thelancet.com/journals/landig/article/PIIS2589-7500\(24\)00191-2/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/landig/article/PIIS2589-7500(24)00191-2/fulltext).
  48. Transforming Cardiovascular Care With Artificial Intelligence. European Heart Journal, 2025. URL: <https://www.jacc.org/doi/10.1016/j.jacc.2024.05.003>.
  49. Старая добрая электрокардиограмма и искусственный интеллект. URL: <https://www.sechenov.ru/pressroom/news/staraya-dobraya-elektrokardiogramma-i-iskusstvennyy-intellekt/>.
  50. Leveraging Generative AI For Breakthroughs In Medical Device Design. URL: <https://www.forbes.com/councils/forbesbusinessdevelopmentcouncil/2024/05/02/leveraging-generative-ai-for-breakthroughs-in-medical-device-design/>.
  51. How to Use AI in Medical Devices. URL: <https://achievion.com/blog/how-to-use-ai-in-medical-devices-a-step-by-step-guide.html>.
  52. Openbci. URL: <https://openbci.com/>.
  53. OpenBCI\_WIFI. URL: [https://github.com/OpenBCI/OpenBCI\\_WIFI](https://github.com/OpenBCI/OpenBCI_WIFI).
  54. Openbci-ceegrids. URL: <https://github.com/MKnerim/openbci-ceegrids>.
  55. OpenBCI\_GUI. URL: [https://github.com/OpenBCI/OpenBCI\\_GUI](https://github.com/OpenBCI/OpenBCI_GUI).
  56. Artificial intelligence for the detection of COVID-19. URL: <https://www.nature.com/articles/s41467-020-17971-2>.
  57. 3D Foundation AI Model, 4 Feb 2025. URL: <https://arxiv.org/abs/2502.02779>.
  58. SberMedAI. CT Lungs. URL: СберМедИИ, URL: <https://sbermed.ai/>.
  59. Current state and perspectives of nanoscale molecular rectifiers. URL: <https://arxiv.org/pdf/2205.05538>.
  60. Quantum Dot–Organic Molecule Conjugates as Hosts for Photogenerated Spin Qubit Pairs. URL: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jacs.2c11952>.
  61. Real-Time Detection of CA125. Biosensors 2025, 15, 268. URL: <https://www.mdpi.com/journal/biosensors>.
  62. Frameworks for transformational breakthroughs in RNA-based medicines. Nature Reviews Drug Discovery volume 23, pages421–444 (2024). URL: <https://www.nature.com/articles/s41573-024-00943-2>.
  63. Artificial intelligence in molecular de novo design: Integration with experiment. ScienceDirect, 2023. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959440X23000490>.
  64. ATOM-1: A Foundation Model for RNA Structure. URL: <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2023.12.13.571579v1>.
  65. Nvidia Developer. URL: <https://bit.ly/4jlxzJb>.
  66. Atomic.ai. URL: <https://bit.ly/42LumXS>.
  67. Application of artificial intelligence in medical technologies. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10359663/>.
  68. Wang X.-W., Wang T., & Liu Y.-Y. (2024). Artificial Intelligence for Microbiology and Microbiome Research. arXiv preprint. URL: <https://arxiv.org/html/2411.01098v1>.
  69. DeepMind Gato. URL: <https://content.techgig.com/technology/gato-by-deepmind-a-single-transformer-to-rule-them-all/articleshow/91785212.cms>.
  70. Stable Diffusion XL. URL: <https://stability.ai>.
  71. DALL-E 3. URL: <https://openai.com/dall-e-3>.
  72. Midjourney V6. URL: <https://midjourneyv6.org/mastering-midjourney-v6/>.
  73. Synopsys.ai. URL: <https://www.synopsys.com/ai.html>.
  74. Cadence JedAI Platform. URL: [https://www.cadence.com/en\\_US/home/ai/overview.html](https://www.cadence.com/en_US/home/ai/overview.html).
  75. The Role of Artificial Intelligence in Predictive Maintenance. URL: <https://bit.ly/4iBgvOv>.
  76. Cognex. URL: [https://www.cognex.com/products/machine-vision?utm\\_content=chat](https://www.cognex.com/products/machine-vision?utm_content=chat).
  77. Insights Hub. URL: <https://plm.sw.siemens.com/en-US/insights-hub/>.
  78. Industrial IoT. URL: <https://github.com/mindsphere>.
  79. Siemens NX Fibersim. URL: <https://plm.sw.siemens.com/en-US/nx/products/fibersim-composites/>.
  80. Wing Loong II Drone. URL: <https://www.nsin.us/wing-loong-ii/>.
  81. Google DeepMind Multifunctional Robots. URL: <https://deepmind.google/discover/blog/building-robots-that-can-perceive-learn-and-understand>.
  82. Gemini Robotics brings AI into the physical world. URL: <https://deepmind.google/discover/blog/gemini-robotics-brings-ai-into-the-physical-world/>.
  83. Learning dexterity. URL: <https://openai.com/index/learning-dexterity/>.
  84. OpenAI leaning into AI Humanoid Robots. URL: <https://michaelparekh.substack.com/p/ai-openai-leaning-into-ai-humanoid>.
  85. An Efficient Learning Control Framework With Sim-to-Real. URL: <https://arxiv.org/html/2405.10576v1>.
  86. Figure's Humanoid Robots Now Have Brains Powered by OpenAI. URL: <https://www.marketingaiinstitute.com/blog/figure-robots-openai>.



# О, чудо: Интернет, который построила BBN

Эрик Гиллиам

Многие из нас слышали, что «DARPA изобрела Интернет». Но мало кто знает о компании BBN, подрядчике, внесшем наибольший вклад в создание ARPAnet. Эта статья познакомит вас с историей и уникальной организацией компании BBN. То, что именно BBN выиграла основной контракт на проект ARPAnet, стало одной из ключевых причин успешной реализации проекта. BBN олицетворяла золотую середину между академией и коммерческим миром. Её модель управления стала идеальным ориентиром для тех, кто ищет способы эффективно организовать исследовательские проекты в рамках фирмы. С такой структурой, как у BBN, многие сложные проекты становятся возможными. Ну а теперь к делу.

## Введение

У DARPA нет лабораторий, исследовательских центров или штатных учёных, занимающихся наукой. Вместо всего этого у неё есть подрядчики. DARPA использует экосистему подрядчиков для реализации любых идей, которые решит профинансировать её офис. В этой статье рассказана история, пожалуй, самого известного её проекта с точки зрения менеджеров проектов (PM) и директоров офисов DARPA. Это самый правильный взгляд на вещи, поскольку именно менеджеры проектов либо офисные директора обычно несут ответственность за продвижение проектов. Проекты выбираются, финансируются и координируются офисом DARPA, но идеи полностью реализуются подрядчиками.

Во многих случаях тот факт, кто именно выиграет контракт, может оказать лишь умеренное влияние на экономическую эффективность, скорость выполнения и общие результаты проекта. В таких ситуациях подрядчику – будь то университетская исследовательская лаборатория, частная компания или некоммерческий институт вроде RAND (research and development – исследования и разработки, американская некоммерческая исследовательская организация) – бывает сложно доказать, что он действительно является лучшим из лучших. С другой стороны, бывают случаи, когда многие компании вообще не подают заявки на контракт, потому что считают исходные спецификации проекта заведомо невыполнимыми. В таких случаях, чтобы справиться с задачей, необходим высокий уровень мастерства и решимость. Именно в эту категорию попал знаменитый проект ARPAnet. Как известно большин-

ству читателей, ARPAnet стал предшественником Интернета. Именно в качестве главного подрядчика этого проекта исследовательская фирма, основанная преподавателями MIT (Массачусетский технологический институт), Bolt, Beranek, & Newman (BBN), навсегда вписала своё имя в историю.

## Немного о BBN

Звёздные результаты BBN в проекте ARPAnet не стали неожиданностью для многих в сообществе вычислительной техники, поскольку в конце 1960-х годов компания уже была признана особенной. Это был уникальный вид исследовательской фирмы, который в наше время встречается не так часто. Сотрудники BBN были неотъемлемой частью элитного исследовательского сообщества Кембриджа, штат Массачусетс, несмотря на статус фирмы как коммерческой организации. Компания привлекала лучших исследователей-теоретиков из Кембриджа – бывших профессоров Гарварда и MIT – а также первоклассных инженеров, которые часто переходили из крупных вычислительных проектов при Лаборатории Линкольна MIT.

Многие из них переходили в BBN потому, что считали, что именно здесь можно решать большие проблемы более интересными способами, чем в Лаборатории Линкольна. Теоретики, вроде Роберта Кана, считали, что это отличное место для проведения серьёзных исследований в прикладном контексте. Великие инженеры, которые меньше интересовались теорией, например ведущий инженер проекта Фрэнк Херт, находили здесь идеальную структуру для работы над реализацией реальных технологий, имевших высокий уровень новизны.

BBN была компанией, в первые десятилетия своего существования находившей способы получать прибыль и расти значительными темпами – по 26% ежегодного роста. Однако фирма прилагала усилия и для того, чтобы её сотрудники были довольны своей работой: компания стремилась решать интересные проблемы только при условии, что могла покрыть затраты и зарплаты проекта с помощью какого-либо финансирования.

Роберт Кан и Дж.С.Р. Ликлайдер – два известных имени, которые на какое-то время стали частью BBN. Как руководитель IPTO (Information Processing Techniques Office) и известная фигура в сообществе исследователей вычислительных систем своего времени, Кан имел глубокое понимание того, что происходило в каждом важном исследовательском центре по компьютерным вычислениям в мире. Поэтому его похвала фирме BBN в этот период имеет особое значение:

*«BBN была своего рода гибридом Гарварда и MIT в том смысле, что большинство людей там были либо действующими, либо бывшими преподавателями этих университетов. Если вы когда-либо бывали в этих местах, то вы представляете, насколько уникальной организацией была BBN. Многие студенты из этих университетов также проводили время в BBN. Это был своего рода суперзаряженный союз преподавателей и учеников, но без необходимости беспокоиться о классах и преподавании. Вы могли просто сосредоточиться на исследованиях. Это было как превосходный коньяк в исследовательском бизнесе. Миссия BBN в то время заключалась в том, чтобы делать интересные вещи и двигаться к следующей интересной вещи. Тогда было больше стимулов придумывать интересные идеи и исследовать их, чем пытаться капитализировать их после того, как они были разработаны».*

Как мы увидим далее, некоторые в фирме всё же пытались использовать большие идеи в коммерческих целях. Однако не это было основной целью компании.

С юридической точки зрения в первые десятилетия BBN была организована как партнёрство – аналогично юридической

фирме, прежде чем стать публичной в 1966 году. Команды в BBN не были постоянными. Людей часто набирали потому, что они считались способными внести вклад в предстоящий проект или просто повысить средний уровень компетенции фирмы.

Культура компании больше напоминала университетскую лабораторию, чем традиционную фирму вроде Honeywell. Если талантливый исследователь находил интересную и перспективную область для исследования, компания старалась найти средства для этого исследования. Например, так было с молодым Дж.С.Р. Ликлайдером, который стремился исследовать мир интерактивных персональных вычислений на очень дорогой машине. Болт и Беранек не сказали «нет». Напротив, они сказали «да», купили машину и нашли способ профинансировать проект через грант Фонда Форда. Объёмистый исследовательский отчёт, позже ставший книгой, «Библиотеки будущего» Ликлайдера и других сотрудников BBN, был гораздо большим, чем кажется на первый взгляд. Это был не просто прогностический анализ того, как могут выглядеть цифровые библиотеки для некоммерческих организаций, исследующих информацию. В отчёте содержалась значительная часть ранних технических исследований, которые стали наследием Ликлайдера.

Помимо того что BBN полностью приняла на себя роль исследовательской фирмы, её структура, как «фирмы», позволяла выполнять большие, сложные проекты вроде ARPAnet, которые не подходили для чисто академической лаборатории. Опыт фирмы в области первых вычислительных систем, накопленный благодаря контрактным исследовательским проектам и предшествующему опыту команды в местах вроде Лаборатории Линкольна, позволил продвигать технологии вперёд, используя самофинансирование. Например, в 1960-е годы фирма разработала, реализовала и обслуживала одну из первых коммерческих систем разделения времени для не инженеров. Этот проект дал Массачусетской общей больнице вычислительную систему с разделением времени, которая позволила ей справиться с администрированием пациентов и автоматизировать часть анализа данных в исследованиях.

Проект ARPAnet стал ещё одним примером реализации, идеально подходящим для уникальной структуры и состава

ва BBN. Но, чтобы полностью понять, как фирма стала такой, какой стала, давайте начнём с самого начала, потому что BBN не начиналась как исследовательская фирма в области вычислений. Болт и Беранек не были учёными в области вычислительной техники. Это были профессора акустики, которые, будучи поглощёнными контрактными исследовательскими работами в 1940-е годы, начали ощущать свою перегрузку этим трудом.

### Знакомство на почве акустического профиля

BBN начала свою деятельность в стиле, схожем со многими компаниями MIT, возникшими в начале XX века. Команда профессоров и аспирантов активно занималась консультациями и контрактной работой. Со временем и по мере работы «сарафанного радио» спрос на их услуги рос. Некоторое время аренда дополнительной комнаты в лаборатории и найм новых аспирантов были достаточными для удовлетворения растущего спроса, но в конце концов молодой компании пришлось арендовать собственные помещения и нанимать штатных сотрудников.

В случае с BBN её основатели были вовлечены в относительно молодую область психоакустики. После Второй мировой войны Ричард Болт стал директором новой акустической лаборатории в Институте, чтобы продолжить несколько исследовательских направлений, финансируемых в основном Военно-морским флотом США. Свой вклад в контрактные работы компании вносили преподаватели и сотрудники с бэкграундом в области физики, электротехники, архитектуры, машиностроения, аэрокосмической инженерии и психологии. В эти послевоенные годы в лабораторию был приглашён Лео Беранек из лаборатории электроакустики Гарварда, который также получил преподавательскую должность.

С момента запуска Технологического плана MIT в 1920 году Институт активно способствовал заключению исследовательских контрактов с преподавателями. Зарплата профессора в учебный период покрывала только четыре дня работы в неделю, оставляя прочее время свободным для работы над контрактами. Преподаватели могли полностью посвящать своё время контрактной работе, практически не сталкиваясь с бюрократическими препятствиями или необходимостью получения раз-

решений от MIT. В отличие от таких мест, как Гарвард, MIT в этот период поощрял такой двойной образ жизни своих преподавателей. Минимальные объёмы бумажной волокиты с просьбами о разрешениях позволяли преподавателям заниматься заказной работой для промышленности, не отвлекаясь на административные сложности. Таким образом, они не только следили за последними тенденциями в отрасли, но и решали проблемы промышленности, знакомили своих студентов с современными веяниями и одновременно приносили деньги в институт.

В период расцвета этой схемы MIT регулярно получал запросы от промышленности на помощь в решении различных проблем, в том числе и в области акустики. Когда приходили запросы по акустике, они направлялись к Ричарду Болту. В 1946 году один из таких запросов поступил от архитектурной фирмы, которая занималась строительством штаб-квартиры ООН в Нью-Йорке. Болт подал заявку и выиграл контракт. В 1948 году пришли чертежи, и фирма запросила начало акустического консультирования. Увидев масштаб проекта, Болт понял, что это работа не для одного человека. Он предложил Лео Беранеку присоединиться и работать над проектом в команде. Оба оформили партнёрство, так и появилась фирма Bolt & Beranek.

По этому первому контракту Болт и Роберт Ньюман (который вскоре по окончании учёбы стал партнёром) – один из четырёх аспирантов, нанятых под проект, – занимались разработкой акустических решений для здания ООН. Беранек взял на себя более сложную задачу проектирования звуковой системы и выбора оборудования для нестандартного здания. Несмотря на трудности, проект имел большой публичный успех. Беранек писал, что имя фирмы стало известно архитекторам по всему миру, и бизнес пошёл в гору.

До этого времени офис фирмы располагался в комнате в Акустической лаборатории MIT. Как описывал Беранек:

*«Фирма Bolt & Beranek имела поддержку нового президента MIT, Джеймса Киллиана. Он предложил нам помочь начать работу и арендовал два помещения в Акустической лаборатории MIT, но предупредил, что если нам потребуется больше места, мы должны будем искать его сами вне MIT».*

К концу первого года работы офис уже был переполнен оборудованием, закупленным для обслуживания растущего

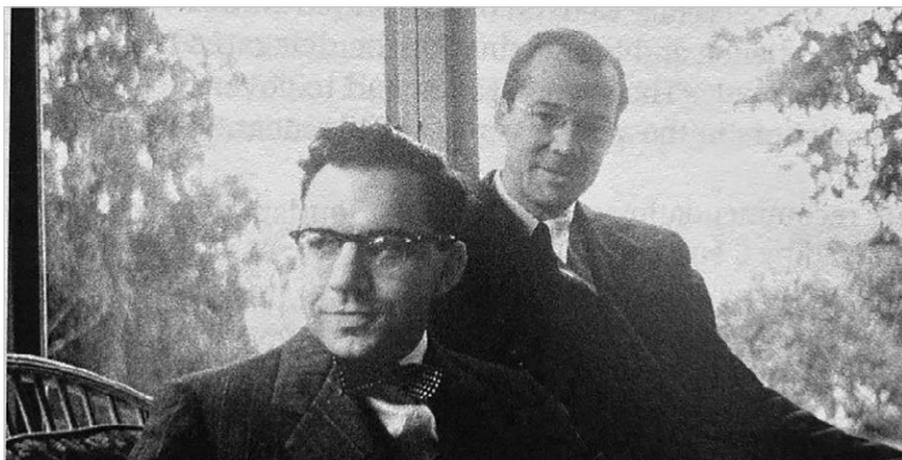


Рис. 1. Лео Беранек (слева) и Ричард Болт (справа). Фото из архива Лео Беранека

числа контрактов. Это заставило молодую фирму в конце 1949 года перебраться на новый адрес в Кембридже. Но постепенно растущей компании вскоре опять стало не хватать места, в 1951 году фирма вновь переехала, заняв два помещения и подвал в жилом здании на улице Элиот. К 1956 году ориентированная на акустику компания уже насчитывала 50 штатных сотрудников, многие из которых были бывшими аспирантами Кембриджа, а также открыла дополнительный офис в Лос-Анджелесе, считавшемся центром архитектурной мысли. Всё это удалось «провернуть» без внешнего финансирования, если не считать кредитной линии в местном банке.

В этот период к партнёрству присоединились два других аспиранта, Джордан Барух и Самуэль Лабате, которые впоследствии работали в фирме многие годы и также защитили дипломные работы в областях, связанных с деятельностью компании. Кроме того, в 1953 году BBN была зарегистрирована как корпорация, чтобы защитить себя от возможных юридических последствий, связанных с растущей частью бизнеса по контролю за шумом от самолётов. Национальный консультативный комитет по авионавигации и компании, производившие реактивные двигатели, привлекали фирму для решения проблем, связанных с проектированием конструкций для минимизации шума при испытаниях двигателей. Результаты этих проектов имели множество практических применений и при этом затрагивали передовые области акустики, профессионально волновавшие исследователей. Задачи такого рода приветствовали также участие психологов, поскольку в таких проектах, как уменьшение шума или проектиро-

вание концертных залов, часто важным моментом была не только физическая громкость звука, но и субъективное восприятие этого шума.

Всё это происходило на фоне того, что Беранек постепенно снижал свою преподавательскую нагрузку в MIT – до 75% в 1951 году, 50% в 1953 году и так далее. В 1958 году он ушёл с должности профессора с постоянным контрактом. Работы стало поступать всё больше – от государственных контрактов, частных компаний и исследовательских грантов. По мере роста бизнеса MIT и Гарвард стали предоставлять фирме множество аспирантов для работы. Иногда людей нанимали, потому что их знания были крайне необходимы, а в других случаях фирма просто видела талантливо-го человека и находила для него место.

По мере роста бизнеса, как по размеру, так и по масштабам, Беранек решил сосредоточиться на создании сильной базы в области вычислений (рис. 1). Ещё во время войны Беранек заметил, что многие работы его лаборатории, как в Гарварде, так и в партнёрской лаборатории по психоакустике, были связаны с задачами обработки информации на военных кораблях. BBN уже использовала психологические данные в акустике, например, решая проблемы восприятия шума пилотами в кабинах. Расширение деятельности в область человеко-машинных систем показалось логичным шагом. Для Беранека это было захватывающее направление с потенциалом для приложения усилий.

### Вхождение BBN в бизнес вычислений

Кредо Беранека при найме сотрудников в компанию было таким: «Каждый новый человек, которого мы нанимаем, должен повышать средний уровень

компетенции фирмы». В своей основе это была исследовательская фирма, и при подборе персонала Беранек считал важным, чтобы нанимались только те, кто был компетентнее его самого. С его интересом теперь и к вычислениям у него, казалось, был только один человек на примете, чтобы возглавить усилия компании в этом направлении: Дж.С.Р. Ликлайдер.

Во время войны Ликлайдер был молодым исследователем в Психоакустической лаборатории Гарварда. Беранек был настолько впечатлён им, что вскоре после своего приглашения в MIT он настоял на том, чтобы и Ликлайдер был трудоустроен там. Теперь же он собирался убедить Ликлайдера отказаться от его должности профессора MIT и присоединиться к BBN. С обещанием щедрых опционов на акции, пониманием того, что компания занимается передовыми исследованиями, и титулом «вице-президент по человеко-машинным и информационным системам» в 1957 году Ликлайдер присоединился к компании.

Один из коллег Ликлайдера сказал о его переходе, что «в то время он был очарован компьютерами и считал, что может лучше всего заниматься этими интересами именно в BBN». Впоследствии Ликлайдер привлёк к сотрудничеству с BBN многих своих бывших друзей и коллег из аспирантуры, факультетов MIT и других мест своих академических путешествий. После перехода в компанию некоторые из них продолжили свою работу по заранее выигранным исследовательским контрактам, оплачивающим их услуги. Некоторые были вовлечены в регулярные операции BBN, другие нашли контракты для выполнения необычных задач, таких как написание учебников с использованием уникального оборудования компании.

Но прежде чем началось это «коллекционирование сотрудников», Ликлайдер был единственным из MIT, кто присоединился к компании. Руководством BBN ещё не был утверждён формальный план, а Ликлайдер уже начал действовать. Беранек описывает его первые месяцы в компании так:

*«Лик, он настоял, чтобы мы называли его так, был общительным и всегда на грани улыбки; он заканчивал почти каждое второе предложение лёгким смехом, как будто только что сказал что-то смешное. Он ходил мягким шагом, часто с бутылкой Coca-Cola в руке, и всегда находил время, чтобы выслушать новые идеи. Лик легко впи-*

**PDP-1 (Programmed Data Processor-1)** – это один из первых компьютеров семейства PDP, разработанных компанией DEC в 1960 году. PDP-1 был значительным шагом в развитии вычислительной техники и оказал важное влияние на будущее развитие компьютеров, включая создание персональных компьютеров и развитие Интернета. У PDP-1 был 18-битный процессор, что было нетипичным для большинства компьютеров того времени, которые чаще использовали 24 или 36 бит. Память объёмом до 4 Кбайт с использованием магнитных сердечников была очень приличной для того времени. Как одна из первых коммерчески доступных машин с возможностью интерактивного программирования, PDP-1 сыграл ключевую роль в развитии технологий, которые позже нашли своё применение в ARPAnet и Интернете. Один из известных примеров – это использование PDP-1 для создания первой компьютерной игры «Spacewar!» в 1962 году, которая стала одной из первых видеоигр и стала популярной среди программистов, а затем повлияла на развитие индустрии видеоигр. На PDP-1 были созданы первые операционные системы и языки программирования, которые стали основой для более сложных вычислительных платформ. PDP-1 был популярен в научных и исследовательских учреждениях для решения различных задач, включая математические вычисления, управление данными и исследования в области физики и инженерии.

*сался в уже существующее талантливое сообщество BBN. Мы с ним хорошо работали вместе: я не помню случая, когда бы мы были не согласны друг с другом».*

Ликлайдер проработал в фирме всего несколько месяцев, когда осенью 1957 года сообщил Беранеку, что хочет, чтобы BBN купила цифровой компьютер для его группы. Когда Беранек напомнил, что у них уже есть перфокарточный компьютер в финансовом отделе и несколько аналоговых машин в группе экспериментальной психологии, Ликлайдер ответил, что эти машины его не интересуют. Он мечтал о современной цифровой машине, произведённой компанией Royal McVee, дочерним предприятием Royal Typewriter.

– Сколько это будет стоить? – спросил Беранек.

– Около \$30 000, – спокойно ответил Ликлайдер, добавив, что это уже со скидкой, о которой он договорился.

– BBN никогда не тратила такую сумму на одну единицу исследовательского оборудования. Что ты с ним будешь делать? – воскликнул Беранек.

– Не знаю, – ответил Лик. – Но если BBN собирается стать важной компанией в будущем, она должна начать работать с компьютерами.

Хотя Беранек сомневался изначально: \$30 000 за компьютер, который пока не имел явного применения, казалось слишком рискованным шагом – он сильно доверял убеждениям Ликлайдера и в конечном итоге согласился, что BBN должна рискнуть этими средствами. Он представил запрос Лабате и Баруху, и с их одобрения Ликлайдер перевёл BBN в цифровую эпоху. Ликлайдер проводил за этим компьютером много часов каждый день, буквально монополизировав машину. Он увлёкся программированием.

Этот поворот событий, вероятно, не был сюрпризом для Беранека. Ликлайдер был глубоко вовлечён в работу с компьютерами в MIT через его связи с

проектами вычислений Лаборатории Линкольна, а также через взаимодействие с Уэсом Кларком и другими гуру на заре компьютерной эры. Именно в MIT Ликлайдер, будучи технически ориентированным психологом, стал пропагандировать работу, которую мы сегодня отнесли бы к категории взаимодействия человека с компьютером. Но Ликлайдер обошёлся дороже, чем Беранек ожидал вначале. Объёмы контрактов и экспертизы в области вычислений в BBN постепенно росли, и через два года после покупки первой машины Ликлайдер «раскрутил» фирму на приобретение у компании Digital Equipment Corporation первой PDP-1.

После описания покупки Royal McVee в своей главе из «Культуры инноваций» – внутренней истории BBN, написанной бывшими сотрудниками компании, – Беранек описал следующий шаг:

*«Затем Лик и я отправились в Вашингтон, чтобы искать исследовательские контракты, которые позволили бы использовать эту машину, цена которой составила \$150 000 (~\$1,5 миллиона сегодня). Наши визиты в Министерство образования, Национальные институты здравоохранения, Национальный научный фонд, NASA и Министерство обороны подтвердили правильность взглядов Лика, и вскоре мы заключили несколько важных контрактов».*

Когда речь шла о талантливых исследователях и инженерных кадрах, инстинкты BBN как исследовательской фирмы часто оказывались правильными. Компания была коммерческой фирмой и поэтому не любила тратить деньги на работу без отдачи, но если талантливая группа исследователей и инженеров считала область исследования многообещающей, BBN могла вложить в это деньги, если только руководство считало, что компания сможет вернуть эти деньги впоследствии.

Случай с покупкой PDP-1 был более рискованным шагом, чем обычно пред-

принимала компания. Но риск быстро оправдался, так как BBN быстро заключила контракты с правительством в таких областях, как человеко-машинные интерфейсы и компьютерное обучение. Однако главный грант, поддерживавший работу Ликлайдера с компьютерами в компании, не был государственным. Это был грант, оказавшийся достаточно футуристичным, чтобы поддержать грандиозные амбиции Ликлайдера, и поступил он от неожиданного грантодателя (рис. 2).

## Библиотеки будущего

Совет по библиотечным ресурсам был создан Фондом Форда для исследования «библиотек будущего». Фонд Форда был своего рода аналогом современного Фонда Билла и Мелинды Гейтс, финансирующего широкий спектр инициатив. В частности, контракт по «библиотекам будущего» стал следствием растущей «проблемы информации», о которой активно говорили в исследовательском сообществе в 1960-х годах. Проблема заключалась в том, что работ публиковалось гораздо больше, чем любой исследователь физически мог бы использовать. Ликлайдер и BBN были приглашены для исследования того, может ли современная вычислительная техника как-то помочь решить эту проблему.

Контракты, подобные этому двухлетнему, не стали основным источником дохода для BBN. Однако такие проекты – или проекты, как тот, где NASA заплатило компании за исследования и создание учебника, – позволили BBN финансово поддержать исследования, которые её сотрудники уже хотели провести.

Выходя за рамки того, что Совет по библиотечным ресурсам, вероятно, ожидал, команда Ликлайдера использовала этот контракт как повод для исследования технологий завтрашнего дня. Например, Ликлайдер и его команда посвятили большую часть второй



Рис. 2. Джей Си Р. Ликлайдер (и его фирменная улыбка) со своей женой Луизой. Фото любезно предоставлено из личной коллекции Лео Беранека

половины отчёта техническим исследованием, предполагая, что будущие посетители библиотек могли бы взаимодействовать с библиотекой как с хранилищем знаний, оснащённым интерфейсом для вопросов и ответов, а не просто как с местом для выдачи книг.

Проект явно помог компенсировать расходы на различные исследования сотрудников BBN. Ниже сотрудник BBN Джон Суэтс описывает задачу, над которой работал Фишер Блэк – математик, известный благодаря модели Блэка-Шоулза:

*«Фишер Блэк, аспирант по математике в Гарварде и сотрудник BBN, создал серию систем вопросов и ответов, использующих символическую логику и компьютерное программирование, включая одну, в которой вычислительная система впервые решала “задачу аэропорта”, предложенную Джоном Макафи. На основе данных о местоположении человека, транспортных ресурсах и местной географии система отвечала на вопрос, как доехать до аэропорта».*

В проекте также принимали участие будущие лауреаты премии Тьюринга Джон Макафи и Марвин Мински, которые работали над проектом «Библиотеки будущего» неполный день (рис. 3).

Другие идеи, зафиксированные в отчёте, включали:

- важность улучшения произвольного доступа для оптимального поиска информации в больших наборах данных – таких, как база научных статей;
- систему вопросов и ответов Блэка, которая успешно использовала исчисление предикатов первого порядка для представления информации;
- несколько прототипов методов индексирования и итеративных методов извлечения информации для поиска научных статей;
- многие качественные аспекты пользовательского опыта ПК, которые стали известными благодаря Ликлайдеру.

Многие идеи в отчёте не были новыми сами по себе. Однако их применение, описанное в нём, представляет собой новаторские, практические достижения, которые не только выполняли обязательства BBN по контракту, но и соответствовали исследовательским амбициям её сотрудников. Отчёт даёт поразительно пророческое представление о том, как персональные компьютеры в конечном итоге организуют знания и будут взаимодействовать с пользователями. Читая этот отчёт, можно легко узнать многие идеи, которые Ликлайдер впоследствии воплотил в реальность в ходе начала революции ПК.

В этот период BBN также работала над более инженерно ориентированными вычислительными проектами. Практический опыт и кадры, приобретённые фирмой в ходе выполнения этих проектов, дали ей необходимый опыт и компетенции, которые понадобились позже для завершения проекта ARPAnet. Возможно, самым важным из таких проектов была работа BBN по разработке малых систем с разделением времени для больниц.

### Системы с разделением времени для больниц

Прежде чем заняться собственным бизнесом в 1958 году, Эд Фредкин недолго проработал в Лаборатории Линколь-

на. Чтобы приобрести себе машину Royal McBee, он начал искать контракты, так как у него не было средств на покупку компьютера. Для начала он проконсультировался с друзьями Фрэнком Хертом, который тогда работал в Лаборатории Линкольна, и Томом Мэррилом, недавно ушедшим из Линкольна в BBN, чтобы узнать, есть ли у них клиенты. Мэррил посоветовал Фредкину узнать, заинтересована ли BBN в сотрудничестве с его фирмой. Вскоре Фредкин договорился о встрече с новым директором по вычислениям в BBN, уже знакомым вам Дж.С.Р. Ликлайдером. Встреча закончилась тем, что Ликлайдер предложил Фредкину «прийти работать в BBN». При этом Ликлайдер убедил партнёров купить компьютер Royal McBee как часть соглашения по найму. Таким образом, Фредкин присоединился к растущей команде инженеров по вычислениям Ликлайдера.

Создание вычислительной команды Ликлайдера всё ещё было на стадии становления, как вспоминает Фредкин. Если кто-то произносил слово «компьютер», собеседник отвечал: «Аналоговый или цифровой?», чтобы показать, что хотя бы что-то понимает в вычислениях. По мнению Фредкина, даже Ликлайдер ещё только осваивался в этой сфере. Было ясно, что его амбициозные идеи были фантастическими. Однако, как инженер, Фредкин говорил о нём следующее:

*«Я ничем не мог помочь Лику стать хорошим программистом. Он настаивал на том, чтобы быть кодером, и имел замечательные идеи на высоком уровне, но то, что он всегда выбирал для кодирования, для меня не имело смысла. Я пытался несколько раз наставить его, но не мог добиться успеха. Просто в тот момент у него не было склонности к программированию, ни в стиле кода, – ни в тех задачах, которые он выбирал для кодирования».*

Короче говоря, по мнению Фредкина, Ликлайдер в то время был скорее «птицей, чем лягушкой»<sup>1</sup>. Но Фредкин придерживался высоких стандартов. Ликлайдер называл Фредкина «молодым гением» и говорил, что решение привлечь его для усиления вычислительных усилий компании было оче-

<sup>1</sup> Фримен Дайсон в своей статье о двух типах мыслителей использует метафору, сравнивая математиков с птицами и лягушками. Он пишет: «Некоторые математики – это птицы, другие – лягушки. Птицы высоко парят в небесах и исследуют абстрактные области математики, которые находятся далеко за пределами известных горизонтов. Их увлекают концепции, способные объединить и упростить множество различных проблем. Лягушки, напротив, обитают в болотах и концентрируются на ближайших деталях, на цветах, растущих прямо перед ними. Они черпают вдохновение из конкретных объектов и решают одну задачу за раз».

видным. Ликлайдер вспоминал: «Он переживал множество психологических проблем по поводу выполнения работы». Поэтому BBN договорилась с Фредкиным о такой форме работы, при которой в конце месяца решалось, какая будет его зарплата за этот месяц. Для Лика это было просто одно из множества «фантастически интересных и гибких соглашений», которые компания заключала с талантливыми сотрудниками.

Фредкин сыграл ключевую роль в убеждении BBN купить первый компьютер PDP-1 и привлечении профессоров Марвина Минского и Джона Макафи в качестве сотрудников на неполный рабочий день. Вскоре после этого Фредкин удивил Макафи, заявив, что, по его мнению, некоторые концепции разделения времени, предложенные Макафи, можно реализовать на достаточно компактной PDP-1. Комбинация инженерных навыков Фредкина и его профессиональных связей из Лаборатории Линкольна помогла продвинуть эту работу. Как вспоминает Макафи:

*«Фредкин спроектировал архитектуру системы прерываний и контрольную систему для барабана, чтобы использовать его в очень эффективном режиме обмена данными. Затем он убедил Бена Гурли, главного инженера D.E.C., изготовить это оборудование».*

Фредкин и его коллеги внесли несколько технических улучшений, включая изобретение концепции барабана для обмена данными, чтобы доказать, что идеи Макафи можно реализовать на такой маленькой машине. В 1961 году Фредкин покинул фирму, а Макафи взял на себя руководство некоторыми проектами по системам с разделением времени. Однако именно усилия Фредкина сыграли важную роль в начале инженерных усилий BBN в области разделения времени.

Эта ранняя работа по временному разделению в конечном итоге и привела к тому, что BBN была избрана для проведения масштабного исследования по инженерии. Работы начались, когда Джордан Барух, один из партнёров BBN, занимался акустическими исследованиями для Клинического центра НИН (Клинический центр Национального института здравоохранения). Его проект включал разработку приборов для сотрудников-кардиологов и неврологов. Во время своих еженедельных поездок в НИН Барух часто заходил в дом директора Клинического центра, Джека Масура, где они обсуждали различ-

ные темы, включая вычисления в здравоохранении, так как Масура попросили выступить с речью на эту тему. Барух использовал эту возможность, чтобы поделиться своими взглядами на возможности использования компьютеров для обработки медицинских карт пациентов. Масур использовал многие из идей Баруха в своей речи. После того как речь имела успех, Масур позвонил Баруху и сказал: «Ты должен это сделать». Масур порекомендовал Баруху подать заявку на грант от Отдела общей медицины НИН для создания системы. BBN подала заявку и выиграла грант на \$1 миллион (~\$10 миллионов сегодня) сроком на три года.

Контрактное сотрудничество продолжалось в течение нескольких лет, начиная с прототипа для проверки концепции и до создания реальной системы, внедрённой в больнице. Основная цель проекта заключалась в разработке компьютерной системы, которая бы автоматизировала сбор, обработку, хранение и извлечение информации. Работы продолжались, и BBN установила терминалы в Массачусетской общей больнице (MGH), которые были подключены к компьютеру в BBN, использующему систему разделения времени. Первоначальные приложения включали регистрацию пациентов, выписку, заказы на лекарства, заказы на тесты и отчётность по тестам.

По мере развития проекта медицинские профессора в MGH начали использовать систему и для некоторых видов интерактивного (хотя и примитивного) анализа данных для своих медицинских исследований. Сотрудники BBN, со своей стороны, работали с ними над развитием этих возможностей в системе. Как отметил бывший менеджер проекта Пол Кастельман: «На конференции RAND/SDC по передовым системам управления данными в 1965 году система BBN для исследований в больнице была единственной, которая работала в интерактивном режиме, а не в пакетном».

Через четыре года после начала проекта в MGH работа начала медленно сворачиваться. Как технологическое доказательство концепции проект был успешным. Однако оказалось, что развёртывание системы в учебной больнице встретило трудности из-за некоторых (видимо, многочисленных) скептически настроенных профессоров. Вот что вспоминает участник проекта Билл Манн:

*«Отношения в MGH колебались от “ужасно интересно” до “это может*

*убить моих пациентов, уберите это отсюда”, с явным преобладанием последнего».*

В середине 1960-х годов, когда Джордан Барух покидал BBN для того, чтобы создать совместное предприятие с GE, основанное на этом проекте под названием Medinet, сама система MGH была передана больнице для эксплуатации. В этот период в BBN пришёл Фрэнк Херт, ставший вице-президентом, отвечающим за управление техническими инженерными проектами, с особым интересом к вычислительным системам в области биологических наук. Херт в свой первый год работы помог BBN возглавить вычислительные усилия в различных областях биомедицинских исследований.

Однако вскоре после прихода Херта стало известно, что Ларри Робертс был приглашён в ARPA для того, чтобы организовать контракт, который был настолько увлекательным инженерным вызовом, что команда BBN просто не могла его пропустить. Херт и несколько других бывших сотрудников Лаборатории Линкольна, пришедших в BBN в этот период, идеально подходили для выполнения этого проекта. У них уже был инструментальный набор, который в то время был уникален в исследовательской экосистеме вычислений, а также глубокий опыт в проектировании и реализации систем реального времени.

## Контекст и начало ARPAnet

В команде экспертов по вычислителям, подобранной BBN, были несколько специалистов из небольшой общи-

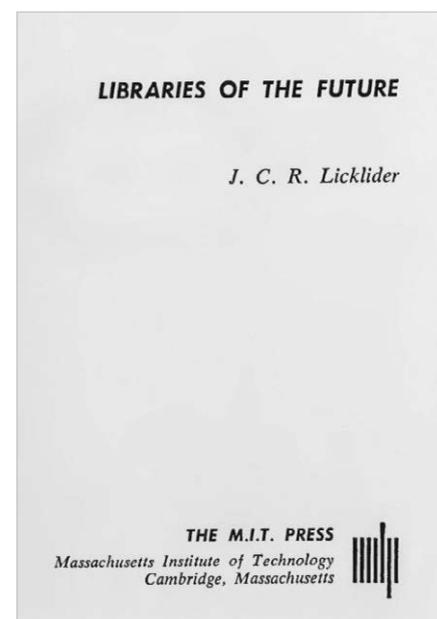


Рис. 3. Отчёт «Библиотеки будущего»

ны, специализирующейся на системах реального времени. В одном из своих устных интервью Фрэнк Херт объяснил, почему так мало людей в вычислительном сообществе имели опыт работы с реальным временем:

*«Знаете, в тот период компьютерный мир был действительно разделён на тех, кто понимал системы реального времени, и тех, кто их не понимал. Были люди, которые строили компьютерные системы, используя операционные системы, а были и те, кто разрабатывал очень точно настроенные программы на машинном языке для работы с телефонными линиями. И эти два лагеря не сильно пересекались. Поэтому мир не был полон людей, которые умели заставить компьютеры работать в реальном времени и были способны подключить их к реальным системам. Мы не были единственной группой, но это была довольно маленькая вселенная».*

Создание компьютеров, работающих через коммуникационные линии, было непростой задачей. Ларри Робертс, РМ IPTO (Project Manager Information Processing Techniques Office – Руководитель проекта Отдела технологий обработки информации), который курировал проект ARPAnet, столкнулся с трудностями реализации этой технологии ещё в Лаборатории Линкольна. В своей последней фазе исследований в Лаборатории Линкольна, перед тем как присоединиться к ARPA, Робертс пытался очертить открытые проблемы в области компьютерных коммуникаций, стоявшие на пути достижения практической связи между компьютерами. Как вспоминал Робертс, результаты его работы с Томом Мэррилом показали:

*«Компьютеры могли работать друг с другом, это мы выяснили, но нам никак не удавалось наладить связь между ними».*

Проблема межкомпьютерных сетей была основной задачей, для решения которой Робертс был приглашён в ARPA директором IPTO Робертом Тейлором. Робертс, который сначала отклонил предложение Тейлора, так как наслаждался жизнью исследователя в Лаборатории Линкольна, в конце концов был уговорён сотрудниками Линкольна. В начале 1966 года он отклонил предложение Тейлора, но, не найдя кандидата, который мог бы заменить Робертса, Тейлор задействовал «план Б». Тогда директор ARPA Чарльз Херцфельд по просьбе Тейлора позвонил директору Лаборатории Линкольна, чтобы напомнить, что

ARPA является источником 51% финансирования Линкольна. Херцфельд снова подчеркнул, как сильно они хотят привлечь Робертса. Робертс наконец согласился. Тейлор говорил об этом: *«Я шантжом направил Ларри Робертса на путь к славе!»*

Этот общий настрой, в сочетании с открытостью BBN к интересным исследовательским задачам при наличии соответствующего финансирования, частично объясняет, почему фирма была так успешна в привлечении сотрудников Лаборатории Линкольна.

Готовность Робертса посвятить годы своей карьеры решению проблемы построения ARPAnet не является удивительной. Он начал серьёзно думать о проблеме ещё четыре года назад. Событием, которое подтолкнуло Робертса начать фокусироваться на этой задаче, были его беседы на конференции по вычислениям 1962 года, среди прочих с Дж.С.Р. Ликлайдером. О концепциях, возникших в ходе обсуждений, Робертс говорил следующее:

*«Я пришёл к выводу, что следующим шагом было сделать так, чтобы все эти несовместимые компоненты стали совместимыми через некую сеть. Было много разбросанных в пространстве людей, которые делали разные вещи, но не делились своими исследованиями. Ничего из того, что делал я, не могли использовать другие, потому что всё это было на TX-2, уникальной машине. Так что, если программное обеспечение не было переносимым, единственное его применение было – написание технических статей, что происходило очень медленно. Я пришёл к выводу, что мы должны что-то сделать с коммуникациями, так идея глобальной сети, о которой Ликлайдер говорил больше всех, действительно стала важной».*

По словам Роберта Тейлора, недавнее развитие систем разделения времени было причиной, по которой он считал, что его время на посту руководителя IPTO было удачным моментом для продвижения проекта ARPAnet. Тейлор сказал:

*«Что поразило меня в опыте с временным разделением, так это то, что до появления системы разделения времени, скажем, в MIT, было много людей, которые не знали друг друга и занимались вычислениями по-разному. Как только система разделения времени становилась доступной, эти люди начинали знакомиться, делить-*

*ся информацией и спрашивать друг друга: “Как я могу это использовать? Где я могу найти это?” Это было действительно феноменально – увидеть, как компьютер становится центром формирования человеческого сообщества».*

В глазах Тейлора, ARPAnet должна была расширить эту «идею интерактивности» на уровень сообщества университетов.

До прибытия Робертса Тейлор уже получил одобрение финансирования для ранних этапов проекта от директора ARPA Чарльза Херцфельда. Следующим шагом, как это часто бывает в крупных проектах ARPA, было собеседование со всеми из вычислительного сообщества ARPA, кто мог бы быть полезен. Он хотел получить представление обо всех мнениях от ведущих специалистов, прежде чем представить окончательное предложение.

Множество исследователей и инженеров предложили идеи, нашедшие отражение в финальном предложении, например, идеи улучшения хост-хост протоколов сети. Но один исследователь, с которым консультировались на этапе подготовки запроса, оказался особенно важен. Это был Уэс Кларк из Лаборатории Линкольна – человек, который наставлял нескольких сотрудников BBN, когда они работали там. Кларк, которого его современники считали настоящим изобретателем, является несколько незаслуженно забытым героем этой эпохи вычислений благодаря своей работе над созданием ранних малых компьютеров, таких как TX-0, TX-2 и LINC. Мысли Кларка помогли убедить Робертса, что вместо того, чтобы использовать для управления ARPAnet большую машину в центре страны, Робертс должен поставить для этой задачи небольшие компьютеры в каждой точке (сайте). Советы Кларка оказались решающими для определения окончательной архитектуры ARPAnet, которая была поразительно децентрализованной.

Эти небольшие компьютеры, предложенные Кларком, стали известны как IMP (Interface Message Processor). В ARPAnet IMP должны были подключаться как к большим хост-компьютерам на месте, так и к соответствующим IMP на других сайтах ARPAnet. Если их удастся создать, использование IMP значительно упростит задачу подключения хост-сайтов к линиям связи. Вместо того чтобы находить способ подключения напрямую к телефонным линиям каждому сайту, они просто подключа-

лись бы к IMP. Основной задачей подрядчика было сделать IMP надёжным и простым в использовании для работы в составе ARPAnet.

В 1968 году был выпущен запрос на предложение (RFP – Request for proposal), который искал главного подрядчика для проектирования, строительства и установки этих IMP. По сути, тот, кто выиграет контракт, возьмёт на себя основную ответственность за успех или неудачу проекта. Сайты ARPAnet, в основном исследовательские учреждения с большим количеством финансирования от IPTO, получают свои собственные контракты ARPA для выполнения определённого объёма настройки, отладки и исследований на своих местах. Подрядчик по IMP должен был построить IMP, которые могли бы взаимодействовать с большинством крупных компьютеров того времени, изначально не спроектированных для совместимости. Этот подрядчик также должен был убедиться, что IMP могут работать через забытые помехами телефонные линии на больших расстояниях в реальном времени. Это была проблема, которая беспокоила Ларри Робертса ещё в Лаборатории Линкольна на малом масштабе. Это была сложная исследовательская задача, а также тонкая проблема инженерной реализации.

Команда BBN посчитала это захватывающим вызовом. Участники команды – Фрэнк Херт и Северо Орнстайн по аппаратному обеспечению, Дэйв Уолден и Уильям Краутер по программному обеспечению и Роберт Кан по теории – не раз подчёркивали, что проект был не только интересным, но и захватывающей инженерной головоломкой, которую нужно было решить. Некоторые чувствовали, что это было дело большого значения, но большинство не совсем осознавало, насколько значимым проект окажется в будущем. Тем не менее было ясно, что это был контракт, который BBN очень хотела получить. Таким образом, Фрэнк Херт и Роберт Кан, – которые консультировались с Робертсом на стадии подготовки RFP, – возглавили усилия BBN по подготовке предложения. Кан взял на себя концептуальную часть предложения, а Херт, в конечном итоге ставший руководителем проекта, взял на себя более практическую инженерную работу.

Кан, который позже станет руководителем IPTO, пришёл в BBN в то же время, что и Херт. В 1966 году Кан взял отпуск в MIT и присоединился к BBN по реко-

мендации коллеги-инженера. Исследовательский интерес Кана к математическим аспектам связи был очень теоретическим. Несмотря на то что Кан несколько раз работал в Bell Labs во время своей докторской работы в Принстоне, в большей степени он был ориентирован на теоретические задачи. Коллега по работе посчитал, что ему нужно больше практического опыта. Кан назвал этот совет «лучшим советом, который я когда-либо получал». Так он оказался в BBN. Изначально он планировал оставаться там всего год или два, но в итоге проработал около шести лет. В BBN Кан выбрал направление сетевых технологий.

Когда был выпущен запрос на предложение, BBN вложила в подготовку гораздо больше времени, чем было обычно для фирмы. Пять или шесть человек работали над проектом примерно три-шесть месяцев. Как вспоминает Северо Орнстайн: *«Я помню ночи до 3-4 утра, когда мы с Робертом Каном работали над предложением в комнате моего дома в Ньютоне – проектировали систему и обсуждали, как всё будет работать»*. Орнстайн также отметил, что *«BBN было потрачено больше денег на подготовку этого предложения, больше человеко-часов было выделено, чем на любом другом проекте»*.

Для справки, фирма стремилась, чтобы 70% рабочего времени каждого сотрудника оплачивалось через контракты. Это необычное использование времени для одного предложения было исключением. Безусловно, это было частично вызвано пониманием, что контракт может привести к долгосрочным продлениям. Но, похоже, основной причиной того, что команда потратила столько времени, была оценка сотрудниками и руководством BBN проекта как захватывающей технической задачи, в которой фирма имела большой опыт.

## Операции ARPAnet

Первоначальный годовой контракт, который Робертс предоставил BBN, заключался в разработке IMP и создании четырёхузловой сети, соединяющей UCLA (Калифорнийский университет в Лос-Анджелесе), Стэнфордский исследовательский институт, UC Santa Barbara и Университет штата Юта. Сумма контракта составляла около \$1 миллиона в 1969 году (~\$8 миллионов сегодня). Начальная команда, работавшая над этим контрактом в первый год,

состояла из пяти участников, подготовивших предложение, а также троих дополнительных штатных сотрудников, в основном для работы с аппаратным обеспечением, и примерно четырёх дополнительных сотрудников на неполный рабочий день. Несколько новых сотрудников были лучшими студентами Северо Орнстайна с его курса в Гарварде.

Команда, занимающаяся подготовкой предложения, по сути, уже проработала многие проблемы, потратив значительное время на подготовку документа. Поэтому она была готова к быстрой реализации и поставила цель – иметь четырёхузловую сеть в рабочем состоянии к концу года. Скорее всего, Робертс ожидал, что команда может не успеть выполнить задачу в срок. Во многих случаях контракты ARPA устанавливают чрезвычайно амбициозные цели, которые позже уточняются РМ, директорами офисов и подрядчиками. Однако в этом случае этого не произошло.

Команда BBN успешно справилась с задачей и смогла не только выполнить требования, но и завершить проект в срок. Это достижение стало важным шагом на пути к развёртыванию ARPAnet и укреплению доверия к BBN как подрядчику для решения критически важных инженерных и исследовательских задач.

## Другие подрядчики проекта

В проекте ARPAnet участвовало несколько субподрядчиков. Субподрядчиком был каждый из инженерных отделов узлов. В определённой степени эти отделы были ответственны за настройку своих хост-компьютеров с IMP. BBN делала всё возможное, чтобы облегчить этот процесс. Однако с учётом состояния технологий и уровня подготовки персонала в этих узлах это было признано необходимым. Кроме того, ARPA привлекла подрядчика под названием DECCO, который взял на себя логистически сложный процесс закупки времени на телефонных линиях у AT&T. Конечно, DECCO покупала то, что BBN указывала им покупать. Только BBN знала, что нужно для успешного подключения IMP к телефонным линиям. Но можно представить, как BBN была благодарна DECCO за то, что они хотя бы частично избавили их от этого процесса.

Другими важными подрядчиками были Network Analysis Corporation и Network Measurement Center. ARPA хотела, чтобы Network Analysis Corporation

проводила симуляции, помогающие спроектировать оптимальные топологии сети. Теоретически это было разумно. Но, по мнению Фрэнка Херта, эта компания не оказалась столь полезной при определении, какие узлы добавлять в сеть, как ожидалось ARPA. На его взгляд, на то, как будет развиваться сеть, в большей степени влияли практические вопросы, такие как наличие сотрудников в отделах или готовность работать с IMP. Network Measurement Center, возглавляемый Леонардом Клейнроком в UCLA – первом узле ARPAnet, занимался измерениями для изучения сети. С точки зрения Херта, Network Measurement Center носил несколько академический характер и не играл ключевой роли в первоначальной инженерной разработке или проектировании ARPAnet. Тем не менее он оказался полезным для измерений, касающихся устойчивости и эффективности сети на ранних стадиях.

Наконец, субподрядчиком, оказавшим наибольшее влияние на успех контракта, была Honeywell. У BBN не было производственных мощностей, поэтому чтобы воплотить IMP в реальность, нужно было заключить контракт с производителем компьютеров. В то время немногие компьютерные производители занимались такого рода работами. Стандартные процессы производства компании не были рассчитаны на выполнение полностью кастомизированных заказов. Эти процессы были адаптированы для доработки, но не для создания совершенно новых систем. Однако Honeywell недавно приобрела компанию Computer Control Corporation (CCC), что сделало их исключением из этого правила. Команда CCC, как отметил Херт, «понимала, как работать в бизнесе по созданию специальных систем». Это было настолько уникальное умение, что по крайней мере два участника тендера использовали Honeywell в качестве субподрядчика – BBN и Raytheon. Ларри Робертс указал это как одну из причин, почему предложение Raytheon рассматривалось наряду с предложением BBN.

## Некоторые из основных технических проблем

Команда BBN столкнулась с рядом серьёзных технических проблем, которые требовали решения.

Одной из главных проблем, над которой команда работала на начальных этапах, была проблема управления ошибками и их коррекции. Решая эту задачу, команда разработала специаль-

ное аппаратное обеспечение для проверки контрольных сумм, которое должно было быть установлено как на передающем, так и на принимающем концах цепи. Каждый передаваемый пакет информации получал 24-битную циклическую контрольную сумму (CRC), которая затем подсчитывалась аппаратным обеспечением на принимающем конце, чтобы определить, были ли ошибки при передаче. Если ошибки обнаруживались, пакет пересылался заново.

Как узлы адресовались в нужное место, стало наиболее теоретически сложной частью этого инженерного эксперимента. Технологии пакетной передачи данных, знакомые нам сегодня, тогда были ещё слабо проверены. Это была одна из двух областей, где присутствие Роберта Кана оказалось крайне полезным для команды, ориентированной на инженерию. Кан смог быстро объяснить им различные аспекты алгоритмов пакетной передачи данных, когда возникали проблемы. (Другой важной теоретической областью, в которой Кан внёс значительный вклад, были математические аспекты проблем с ошибками на телефонных линиях.) Технические детали изначально развёрнутых командой алгоритмов маршрутизации описаны в отчёте о завершении проекта для ARPA следующим образом:

*«Выбранный подход заключался в использовании распределённого адаптивного алгоритма маршрутизации трафика, который на основе информации от соседних узлов оценивает глобально правильный мгновенный путь для каждого сообщения с учётом изменения входных нагрузок и локальных отказов линий или узлов. Каждый IMP сохраняет таблицы, содержащие оценку выходного канала, соответствующего пути с минимальной задержкой к каждому другому IMP, и соответствующую оценку задержки. Периодически каждый IMP отправляет свои текущие оценки маршрутизации соседям; всякий раз, когда IMP получает такое сообщение, он обновляет свои внутренние оценки. Таким образом, информация об изменениях условий регулярно распространяется по всей сети, и всякий раз, когда пакет трафика должен быть помещён в очередь для выходного канала, IMP использует свою последнюю оценку лучшего пути».*

Другой крупной областью проблем стали технические аспекты интерфейсов между IMP и хостами. Инженеры потратили значительное количество

времени, пытаясь найти способы успешно подключить IMP к различным типам компьютеров, при этом минимизируя количество инженерной работы, которая требовалась от подрядчиков узлов для подключения их машин к IMP.

Решения всех этих проблем должны были работать практически в реальном времени. Люди, работающие с удалёнными машинами, собирались использовать сеть не только для отправки пакетных сообщений вроде электронной почты. Они собирались использовать свои компьютеры для удалённого доступа к другим компьютерам, как если бы вся сеть была одним общим компьютером с разделяемым временем. Чтобы всё это работало с разумными задержками времени, команде BBN пришлось делать такие вещи, как *«писать очень тщательно настроенные программы на машинном языке для оптимизации пропускной способности и низкой задержки канала передачи данных в узле»*. Команда подчеркнула в своём заключительном отчёте, что *«большое внимание уделялось минимизации времени работы внутренних циклов этих программ»*. Многие мелочи оказались критически важны.

Многие проблемы – от проектирования IMP, программного и аппаратного обеспечения для подключения хост-IMP до программного обеспечения для коррекции ошибок – требовали пристального внимания. Все высокоуровневые концепции – отправка сообщений между компьютерами через телефонные линии, соединение двух компьютеров через коммуникационную линию в лабораторных условиях, базовая обработка сообщений через шумные коммуникационные линии и т.д. – уже были реализованы и экспериментально продемонстрированы. Но BBN пришлось изобрести и спроектировать всё, что нужно было для того, чтобы это стало не только технически возможным, но и применимым на практике.

Если не вдаваться в детали, то реализованная технология пакетной передачи данных была основной «новой» концепцией команды. Но, как скажут многие инженеры, такой проект, как этот, всегда полон неизвестных. Это отчасти объясняет, почему промышленность не решилась заниматься такими проектами в своих НИОКР. Однако благодаря непрерывному опыту работы сотрудников BBN с реальными временными системами и коммуникациями для вычислительных машин в

последние годы, они, вероятно, были той командой, которая лучше всего понимала, что могут собой представлять «неизвестные» этого проекта, и как с ними справляться, когда они возникнут.

## Партнёрство с Honeywell

В разработке и производстве IMP команда BBN сильно полагалась на Северо-Восточный Орнстайна. Орнстайн ранее работал с Фрэнком Хертом и другими над различными компьютерными проектами в Лаборатории Линкольна, сотрудничал с Уэсом Кларком по созданию малых компьютеров в WUSTL (Университет Вашингтона в Сент-Луисе) и затем вернулся в Кембридж, чтобы работать в BBN и читать лекции в Гарварде. До начала работы над проектом ARPAnet Орнстайн занимался проектами, связанными с использованием компьютеров в образовании. Его интерес к запросу ARPAnet заставил его посвятить больше времени работе в BBN.

Во время разработки IMP в процессе подготовки предложения Орнстайн оценил, что «мы тогда сделали 90% разработки». Однако, чтобы компьютеры были построены, даже после того как BBN выиграла предложение, Орнстайн продолжал тратить значительные усилия на работу с Honeywell. Орнстайн вспоминает:

*«Человек из Honeywell, которому было поручено создавать интерфейсы по моим чертежам, плохо их понял и не был достаточно внимателен. Мы в итоге вынуждены были переделать большую часть его работы».*

Многое из взаимодействия BBN с Honeywell может поставить под сомнение, что промышленный подрядчик справился бы с этим контрактом так же эффективно, как это сделала команда BBN. Один из примеров, описанных Орнстайном, иллюстрирует, как команда BBN решала запутанную проблему, и помогает понять, почему это так. История освещает характер работ, которыми занимались сотрудники BBN до этапа реализации, и как Honeywell решала возникающие проблемы. Орнстайн объясняет:

*«Они не привыкли делать некоторые из тех вещей, которые делали мы... Например, мы обнаружили дефекты в конструкции машины. Одна из причин, почему мы выбрали Honeywell 516, заключалась в том, что мы считали, что это зрелая машина, которая не доставит нам проблем. Ну, мы ошиблись. Мы сильно нагружали её... и*

*обнаружили баг, в который они едва ли поверили – проблему синхронизатора... Проблемы с синхронизатором очень, очень тонкие. Мы должны были копаться в этом, и наконец из их чулана появился действительно умный парень – они, конечно, имеют пару таких, но было очень трудно его найти. Мы наконец нашли его... Когда он пришёл, и мы сели, я, наконец, нашёл кого-то, с кем можно было поговорить, кто понял бы меня и поверил мне. Это была тонкая проблема. Программа прекрасно работала на машине несколько дней подряд, но в конце третьего или четвёртого дня вдруг машина просто “умирала” без объяснения причин. Это был очень, очень редкий сбой, настолько редкий, что ты не мог увидеть его на осциллографе, только последствия. Нам пришлось разработать специальное оборудование, которое бы “было” по проблемному месту гораздо быстрее, чем обычно. И только тогда, когда в комнате были выключены все огни, мы смогли увидеть на осциллографе редкие сбои. Тогда люди из Honeywell наконец поверили, что это реальная проблема... Мы посоветовали им тривиальное исправление, которое они могли бы внести в машину...»*

Итак, их специалисты не были абсолютного топ-уровня, но тем не менее они были квалифицированными инженерами, в отличие от чисто исследовательских специалистов.

Конечно, в те времена существовали и промышленные операции с рядом исследовательских специалистов, таких как Bell Labs, бывшее место работы Кана, которые имели достаточно «исследовательских» людей. Однако неясно, как компании вроде Raytheon справились бы с такими проблемами. Смогли бы они их решить? Если да, то как быстро? Мы видим, что команда Honeywell отлично справлялась с повторным созданием машин после того, как уже была изготовлена одна. Но определённые принципы и навыки компьютерной инженерии, использовавшиеся в проекте, были намного более знакомы таким командам, как та, что работала в **Lincoln Lab** и с **Wes Clark** в WUSTL, чем большинству других групп. Это было огромным преимуществом BBN.

Несмотря на это, команда инженеров, бывших сотрудниками университетов, всё же воспринимала проект как скорее новаторскую инженерную задачу, чем исследовательскую проблему. Дэйв Уолден, один из двух основных инженеров-программистов проекта, позже ставший

генеральным директором BBN, описал, как команда воспринимала задачу, следующим образом:

*«Моё мнение таково, что в основном мы занимались очень прагматичной инженерией. Мы должны были передать биты по проводам: как добавить заголовок, как добавить хвост. Теория заключалась в том, как наложить коды для исправления ошибок. Роберт Кан знал эту теорию и объяснил нам, что она собой представляет. Были некоторые ограничения: вот как должно происходить подключение к 303 (или 301, или как там называется модем Bell), но после этого всё было довольно прагматично. Теории много не было».*

## Управление командой

Прежде чем погрузиться в детали реализации однолетнего контракта, стоит сначала понять, как в BBN была организована работа команды. Во-первых, команда была гораздо меньше, чем можно было бы ожидать.

В течение первого года работы команда оставалась небольшой – всего около восьми человек. Именно так предпочитал работать Фрэнк Херт. По его мнению, для успешной реализации проекта достаточно было небольшой группы талантливых специалистов в соответствующих областях. Он подробнее описал стиль работы на проекте, сказав:

*«Я считаю, что важные вещи лучше всего делают маленькие группы людей, которые знают всё о проекте. В те времена все программисты что-то знали о железе, а все аппаратчики умели программировать. Это была не группа незнакомых людей, а команда, где каждый знал многое о работе в целом. Я считаю это важным в любых крупных проектах. Так что, если это можно назвать стилем управления, то это то, что я бы сказал. Я также считаю, что это была очень, очень талантливая группа. Я думаю, что дела идут лучше всего, когда над ними работают маленькие группы очень, очень хороших людей – если вы можете это организовать. Не всегда это удаётся. Так что, если хотите, можете назвать это стилем управления – собрать лучших людей в небольшом количестве, чтобы все знали, что делает каждый» (рис. 4).*

Херт был категорически против того, чтобы команда разрослась до такого размера, что коммуникация стала бы осуществляться только через документы. Он предпочитал стиль работы с «очень, очень частыми взаимодействиями по



Рис. 4. Первые авторы IMP (слева направо): Труэтт Тэтч, Билл Бартелл (Honeywell), Дэйв Уолден, Джим Гейсман, Роберт Кан, Фрэнк Харт, Бен Баркер, Марти Торп, Уилл Кроутер, Северо Орнстайн

проблемам». Как вспоминал Уолден: «Я не помню, чтобы у нас были еженедельные совещания по прогрессу. Мы, вероятно, были в курсе прогресса гораздо лучше, чем этого требовало бы обычное совещание; скорее всего, мы обсуждали всё каждый час». Херт и вся маленькая команда старались оставаться технически вовлечёнными в работу друг друга. Херт, как правило, вникал в каждую деталь проекта. Члены команды пытались делать то же самое, что они считали довольно простым, поскольку вся команда работала в непосредственной близости друг от друга в офисах и рабочих местах. Когда возникали вопросы, они просто шли к нужному человеку или устраивали импровизированные собрания.

### Ранние установки узлов

С определёнными трудностями команда BBN преодолевала одну проблему за другой, как это описано, например, в разделах о технических проблемах и партнёрстве с Honeywell. С большой настойчивостью команда построила и отладила указанные в спецификации IMP. К сентябрю 1969 года аппаратное и программное обеспечение для первого IMP было готово к установке.

В отличие от многих подрядчиков ARPA в области вычислений, в UCLA была команда людей, которые были особенно заинтересованы в проекте ARPAnet. Хотя многие профессора, владевшие компьютерами, воспринимали ARPAnet как возможность для ARPA заставить их ещё сильнее делиться временем работы их компьютеров, Леонард Клейнрок и другие в UCLA имели исследовательские интересы, связанные непосредственно с самой сетью.

Клейнрок, в частности, уже писал о теоретических аспектах пакетной передачи в своей предыдущей работе. Ради этого интереса он создал **Network Measurement Center** для мониторинга некоторых аспектов сети в качестве субподрядчика для контракта ARPAnet.

В начале сентября 1969 года BBN отправила свой первый IMP в UCLA (рис. 5). Отправляя готовые IMP на хост-сайты, BBN отправляла с ними сотрудников, чтобы они сопровождали машины на борту самолёта на всякий случай. На места установки этих первых узлов Орнстайн и некоторые программисты, такие как Дэйв Уолден, поехали лично, чтобы подключить IMP к телефонным линиям и решить возникающие проблемы с настройкой. В преддверии отправки машин BBN поделилась набором технических спецификаций с хост-сайтами, чтобы они могли выполнить как можно больше работы заранее. На стороне узлов обычно этой работой руководили люди, отвечающие за аппаратное и программное обеспечение.

BBN, по-видимому, очень эффективно донесла свои технологии до UCLA. UCLA, со своей стороны, похоже, хорошо усвоила информацию и построила всё в соответствии с требованиями. По словам Леонарда Клейнрока, в течение дня после первоначального подключения IMP и SDS Sigma 7 UCLA сообщения начали передаваться туда и обратно.

Это было огромное достижение. Однако многие вопросы оставались без ответа до тех пор, пока не была выполнена вторая установка. Только тогда BBN смогла увидеть, что происходит, когда два узла пытаются общаться друг с другом. В следующем месяце команда BBN установила второй узел в Стэн-

фордском исследовательском институте (SRI) – который также был субподрядчиком ARPA для исследования сети. Как только BBN и SRI подключили IMP, обе исследовательские команды узлов попытались отправить первое сообщение по ARPAnet. Как вспоминает Леонард Клейнрок:

*«29 октября 1969 года я и один из моих программистов, Чарли Клайн, были в комнате, и мы решили войти в систему этой [SRI] машины. Чтобы войти, нужно было ввести „LOG“, и удалённая машина должна была ввести „IN“. Наша задача заключалась в том, чтобы просто ввести „LOG“. На другом конце был ещё один программист, который наблюдал за всем этим. У нас была телефонная связь для общения. Что произошло: Чарли набрал „L“ и спросил: „Ты получил «L»?“ И ответ был: „Получил «L»“. Он набрал „O“ „Ты получил «O»?“ „Получил «O»“. Он набрал „G“ „Ты получил «G»?“ Ого! Система вылетела. Эта машина [SRI] остановилась».*

Таким образом, первое сообщение в Интернете было «LO», как в «**Lo and behold!**» (в переводе «О чудо!»). Лучше и эффективнее сообщение трудно было бы придумать.

Очевидно, команда BBN посчитала достаточным успехом, что хоть какие-то буквы были переданы. Команда продолжила установку новых IMP по одному каждый месяц в течение оставшейся части года, всего установив четыре узла. Проблемы продолжали возникать как в тестировании BBN, так и в тестировании исследователей узлов. BBN решала проблемы по мере их появления. Судя по всему, ни одна из этих проблем не была особенно разрушительной.

Клейнрок с воодушевлением описал организацию работы следующим образом:

*«Итак, у нас была сеть из четырёх узлов, и мы начали тестировать её, выявлять проблемы. Мы могли ломать эту сеть в любой момент, находили дефекты, тестировали их с BBN и так далее».*

По мере устранения проблем было необходимо регулярно вносить изменения в аппаратное обеспечение и выпускать новые версии программного обеспечения. Обновление программного обеспечения происходило в первую очередь так: Дэйв Уолден ездил на каждый из сайтов с бумажными лентами, чтобы запустить новую версию программного обеспечения на машинах. Таким образом, первая партия узлов

стала подопытной и постепенно улучшалась. BBN справилась с этим в рамках бюджета и в пределах годового срока контракта. Ларри Робертс и ARPA, условно, были очень довольны прогрессом. К концу года ARPA заключила новый контракт с BBN на расширение сети до 19 узлов.

Прежде чем обсудить, как проект масштабировался, давайте коротко рассмотрим рабочие отношения Ларри Робертса с командой BBN. Робертс был очень активным менеджером в проекте ARPAnet, а не только его финансистом.

## Работа с Ларри Робертсом

При подготовке запроса на предложение (RFP) для ARPAnet Робертс тщательно изучил множество технических аспектов и проконсультировался с ведущими специалистами вычислительного сообщества. В результате он принял несколько ключевых решений ещё до того, как контракт оказался в руках BBN. Как сказал Фрэнк Херт: «Они [DARPA] выбрали скорость передачи 50 килобит, выбрали сайты, решили вопросы, связанные с контрольными суммами. Множество работы было сделано DARPA заранее».

Как выразился Дэйв Уолден, BBN условно можно считать оператором ARPAnet и основным драйвером инженерных работ, но ARPA была высокоуровневым управляющим. Вся эта операция, сам ARPAnet, была задумана для того, чтобы предоставить новые возможности подрядчикам ARPAnet. Таким образом, постоянное руководство со стороны Робертса было вполне логичным. Кроме того, в ARPA работали некоторые из лучших умов, которые могли подсказать команде BBN технические решения. Поэтому Робертс и ARPA, когда это было необходимо, организовывали встречи между BBN, подрядчиками узлов и другими заинтересованными сторонами. Теперь уже известная **Network Working Group**, которая обсуждала множество идей, относящихся к ARPAnet, таких как будущие протоколы TCP/IP, является плодом таких усилий.

Когда проект был запущен, Робертс в основном оставил принятие ежедневных решений на ответственности BBN. Команда не должна была запрашивать его одобрение по многим вопросам. Однако он продолжал держать руку на пульсе проекта и время от времени высказывал свои возражения. Робертс мог теоретически использовать свою власть как финансирующая сторона

проекта, но на практике такая система не работала. Если Робертс не соглашался с подходом команды к какой-то проблеме, они обсуждали это по телефону или лично, пока не приходили к какому-то соглашению. В случае спорных вопросов это могло занять несколько дней. Но в большинстве случаев соглашение бывало достигнуто достаточно быстро.

Команда BBN проявляла огромное уважение к Робертсу как к инженеру. В свою очередь, Робертс, похоже, также сильно уважал команду BBN. У Робертса была прямая линия связи не только с Хертом, но и с людьми, ответственными за отдельные компоненты технологий в команде, такими как Северо Орнстайн. По словам Херта, обычно не проходило и недели, чтобы Робертс не поговорил с кем-то из команды. Орнстайн, который был особенно непринуждённым, сказал, что он просто беседовал с Робертсом так же, как и с любым другим коллегой.

## Начало масштабирования сети

Первоначальный контракт на создание сети из четырёх узлов оказался успешным (рис. 6). Поэтому ARPA решила предоставить BBN новый контракт для руководства проектом по расширению сети до 19 узлов. А в начале 1970-х годов сама BBN стала пятым узлом ARPAnet, поскольку сеть продолжала расширяться со скоростью примерно один узел в месяц (рис. 7).

## Масштабирование сети

С продолжением проекта по расширению сети возникали новые инженерные проблемы. Несмотря на то что Фрэнк Херт был известен своей крайне осторожной инженерной позицией, нельзя было ожидать, что всё будет работать идеально. Этот проект был экспериментом, уникальной сетью, и в этом контексте можно было быть осторожным только до определённой степени, иначе весь прогресс был бы приостановлен.

Во многих областях команда BBN рассматривала технологии, которые изначально считались вполне достаточными, с пониманием, что они смогут продолжать совершенствовать компоненты технологии в процессе работы. Одним из таких случаев стали сетевые протоколы. Начальные протоколы NCP были признаны Network Working Group недостаточно оптимальными. С годами протоколы NCP улучшались до тех пор, пока не были полностью заменены на

знаменитые теперь протоколы TCP/IP, разработанные Каном и Серфом.

Как отмечается в отчёте о завершении проекта ARPAnet, порой проблемы, возникавшие в рабочей сети, были гораздо более серьёзными, чем просто мелкие сбои. В 1970 году была продемонстрирована серьёзная проблема с управлением потоком IMP и распределением памяти. Если узловые хосты не учитывали ошибки, это могло случайно остановить всю работу сети. Однако несмотря на то что BBN и другие потратили несколько месяцев на решение этой проблемы, ARPAnet продолжал обеспечивать стабильную работу для своих узлов.

Вот как об этом вспоминает Дэйв Уолден:

*«...почти сразу стало очевидно для всех, кто раньше в это не верил, что то, что мы изначально реализовали, было недостаточно. И то, что мы специфицировали для хостов, и что они реализовали, имело много последствий. Теперь это было сделано, но работало не так хорошо. Так что в первые год или два, довольно долгое время, существовали неформальные правила в сети: не закачивайте данные в сеть с хостов слишком быстро, чтобы не “положить” сеть. Потому что мы все знали, что алгоритмы не работали, они явно ломались, когда вы слишком сильно нагружали их. И поэтому это промежуточное решение работало в сети – вот что не могут себе представить те, кто работает над доказательством правильности программ. На самом деле это было довольно полезно в те ранние дни экспериментов, потому что все дого-*

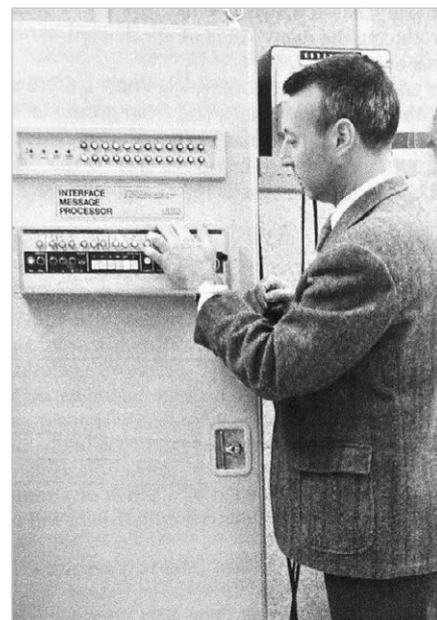


Рис. 5. Фрэнк Херт с одной из первых IMP

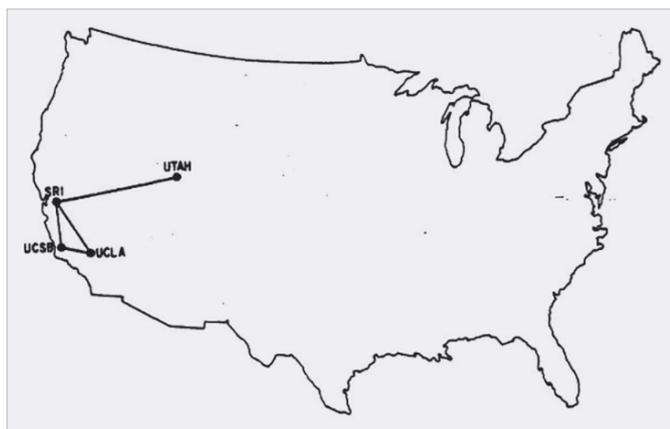


Рис. 6. ARPANet в декабре 1969 года

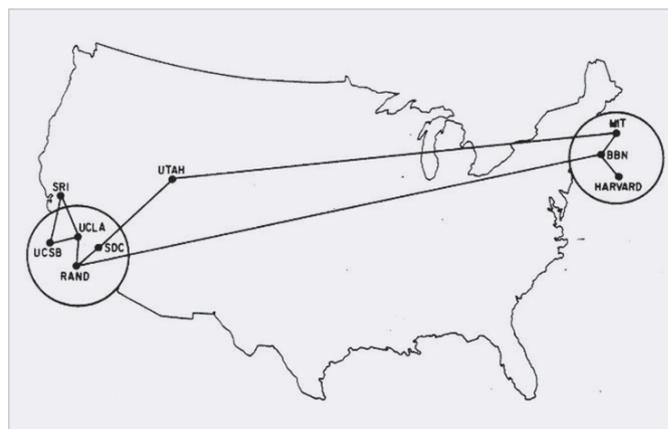


Рис. 7. ARPANet в июне 1970 года

ворились не ломать её. Мы знали, как её сломать, но давайте не будем этого делать. А пока давайте разберёмся, как это починить...»

### Масштабирование сети и расширение возможностей

Поскольку все первые пользователи ARPANet были хорошо обученными и компетентными инженерами и исследователями, команда BBN могла постепенно увеличивать возможности своей службы. Один из примеров этого – Дэйв Уолден, который носился с бумажными лентами для реализации обновлений программного обеспечения. По мере того как сеть расширялась и становилась более надёжной, BBN смогла посвятить больше усилий тому, чтобы сеть начала работать более самостоятельно (рис. 8).

В эти средние годы проекта BBN также начала расширять свои усилия по нахождению более эффективных решений для управления сетевыми проблемами, ответов на вопросы от узлов и т.д. Изначально ответом BBN на эту задачу было привлечение Дэйва Уолдена. Как вспоминает Уолден:

*«До сентября 1970 года у меня был список программ рядом с телефоном дома, и я получал звонки домой всякий раз, когда что-то ломалось. Мой номер телефона был буквально написан на передней панели первых пакетов-выключателей, и они звонили мне домой в Олстон, и я разговаривал с тем, кто был на месте, используя свои списки. Вот так это происходило.»*

С поддержкой ARPA для выполнения этой задачи BBN внедрила Network Control Center (NCC). При создании NCC BBN разработала и внедрила инструменты и программное обеспечение для регулярного пинга сети, отслеживания проблем сети, мониторинга состояния

хостов и т.д. Александр Маккензи стал «универсалом ARPANet», которого BBN сделала ответственным за обслуживание клиентов проекта по мере его роста. Маккензи с гордостью рассказывал истории о том, как он звонил телефонным компаниям и говорил им, что линия вот-вот выйдет из строя... и она действительно выходила. Эти компании были весьма впечатлены, поскольку возможности такой диагностики у них ещё не было.

Начиная с 1972 года BBN создала штат сотрудников для предоставления услуг по отладке и другим сервисным вопросам для узлов сети на постоянной основе – три человека работали в дневную смену, двое – в вечернюю смену и один – в ночную смену. Благодаря усилиям BBN и NCC узлы сети вскоре смогли (в большинстве случаев) автоматически сообщать о своём состоянии. Обслуживание и отладка, как правило, выполнялись удалённо из контрольного центра. С ростом возможностей NCC BBN успешно размещала IMP в местах, где сотрудники имели всё меньше и меньше знаний в области вычислительной техники.

Кроме того, по мере расширения сети BBN проводила исследования с целью расширения типов IMP, а также видов коммуникационных линий, к которым можно было подключать IMP. В 1971 году BBN завершила проектирование своего первого терминала интерфейса сообщения (ТИП). Эти терминалы могли подключаться к ARPANet и работать на хост-машинах ARPANet без необходимости запуска на собственном хост-компьютере. Собственно, ТИП были более дорогими, чем IMP, но эта идея была чрезвычайно захватывающей для ARPA, потому что работающие ТИП означали, что можно было подключиться к ARPANet без наличия крупного компьютера. Первые два ТИП были установлены

в MITRE и в исследовательском центре NASA AMES. В начале 1970-х годов были установлены первые ТИП, IMP подключались к сети через спутниковые технологии, был разработан стандартный IMP, в десять раз более мощный, чем начальные, а также был развёрнут многозадачный процессор Pluribus для IMP, разработанный Орнстайном.

Когда ARPANet достигла масштабов 19 узлов, ARPA уже заключила контракт с компанией BBN на расширение сети до более чем 50 узлов (рис. 9). Первые два года проекта прошли в основном в соответствии с планом и в рамках бюджета. В следующем этапе расширения сеть начала включать узлы из удалённых географических районов, таких как Гавайи и Норвегия. Это потребовало использования новых технологических возможностей проекта, а также первых взаимодействий с зарубежными операторами связи. Хотя эти удалённые узлы часто подвергались сбоям, они в целом оставались работоспособными и продемонстрировали полезность некоторых новых функций (рис. 10).

В течение этого периода настойчивые усилия Ларри Робертса по убеждению персонала узловых сайтов выполнять необходимые шаги для успешной работы оказались крайне полезными для поддержания проекта в нужном русле. Будучи одним из основных источников финансирования вычислительных ресурсов для этих сайтов, он мог легко оказывать на них влияние. К 1975 году проект ARPANet явно стал устойчивым. Поэтому ответственность за него была передана Агентству связи Министерства обороны (DCA). По словам историка DARPA Ричарда Ван Атты, на момент передачи проекта в DCA общие расходы на проект составили 25 миллионов долларов (около 150 миллионов долларов в сегодняшних ценах). Эта сумма покры-

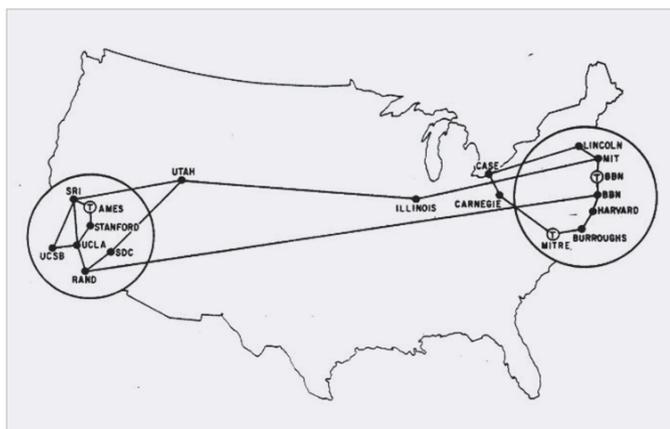


Рис. 8. ARPANet в сентябре 1971 года

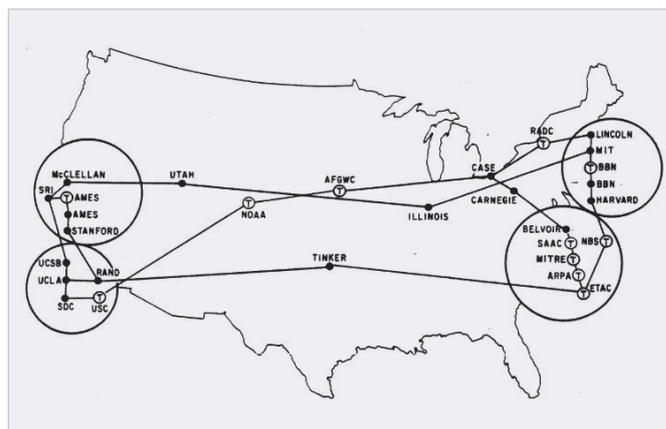


Рис. 9. ARPANet в августе 1972 года

вала весь проект, а не только долю BBN. С любой точки зрения это можно считать исключительно экономичным успехом.

Требует краткого пояснения, как именно внешний мир – в смысле те, кто не был связан с узловыми сайтами ARPANet, – узнал об успехах ARPANet. Даже в 1972 году многие представители коммуникационного сообщества сомневались, что идея создания сети с коммутацией пакетов, охватывающей всю страну, может быть технически реализована в ближайшее время (рис. 11).

Последний проект Роберта Кана в качестве официального члена BBN помог развеять эти сомнения. В октябре 1972 года он устроил масштабную демонстрацию ARPANet на первой Международной конференции по компьютерной связи (ICCC). Эта конференция оказалась чрезвычайно полезным катализатором для BBN и каждого из подрядчиков, работающих с узлами. Она создала предпосылки для тщательной отладки множества технологических решений, закрепления определённых протоколов и т.д.: академики гораздо лучше реагировали на установленные дедлайны или угрозы сокращения финансирования, чем на наличие багов в системе. Кроме того, сама конференция дополнительно простимулировала как можно больше узловых сайтов стать функциональными и работать с максимально возможным числом вариантов использования. На тот момент многие узлы были оснащены оборудованием и программным обеспечением, предназначенным только для некоторых приложений ARPANet.

Десятки узлов предоставили вычислительные хосты для демонстрации. Конференция стала своего рода демонстрацией «сделай сам», где люди могли подключаться к хостам через TTP и рабо-

тать с ними так, как это делали пользователи узлов каждый день. Это могло быть чем-то простым, например, электронной почтой, которая стремительно становилась популярной, или более сложными программами. Как вспоминал Робертс:

*«Я думаю, что это было тем самым поворотным моментом, когда люди вдруг осознали, что коммутация пакетов – это реальная технология. Мы проводили демонстрацию для тысяч людей – точное число мне неизвестно, – но, по крайней мере, тысяча человек посетила этот выставочный стенд».*

Или, как сказано в отчёте о завершении проекта ARPANet:

*«Демонстрация была поистине впечатляющим успехом; всё работало удивительно хорошо, и многие посетители отметили, что технологии ARPANet действительно существуют».*

### Результаты ARPANet

С технической точки зрения эксперимент с ARPANet оказался успешным во многих отношениях. Проект доказал, что можно создать большую сеть, в которой сбои на отдельных узлах локализуются и не приводят к отказу всей сети. Он убедительно продемонстрировал работу адаптивных алгоритмов маршрутизации и теории коммутации пакетов. В значительной степени ARPANet доказал, что децентрализованная сеть может функционировать самостоятельно без централизованного командного пункта. Наконец, с точки зрения пользователя, IMP и TTP оказались достаточно надёжными и простыми в использовании, чтобы обеспечить возможность многозадачности с участием разнородных компьютеров, находящихся на огромных расстояниях друг от друга, для выполнения различных задач. Рабочий ARPANet также успеш-

но выполнил роль тестовой платформы для всего поля исследований в области компьютерных коммуникационных технологий.

Но, конечно, успех проекта ARPANet не ограничивается лишь техническими достижениями. Как отмечается в отчёте о завершении проекта ARPANet от BBN:

*«Проект ARPANET также доказал возможность создания тесно связанных сообществ с техническим интересом на обширной географической территории; возможно, эта демонстрация социальной осуществимости так же важна, как и многие технические демонстрации».*

Возможно, самым ярким показателем этого роста является тот факт, как быстро увеличивался трафик между узлами сети в середине 1970-х годов (рис. 12).

С ростом использования сети BBN беспокоился, что даже новые алгоритмы, используемые для маршрутизации, управления потоком и контроля за перегрузками, могут не справиться с увеличивающейся нагрузкой. Но, как отметили разработчики, «к счастью, улучшения в алгоритмах всё же успевали немного опережать рост размера сети и трафика». По оценке BBN, замедление темпов роста было связано с тем, что на определённом этапе существующие хост-машины, подключённые к сети, просто достигли предела своих возможностей.

В этот период роста острые проблемы, существующие в сети, начали уменьшаться, BBN улучшала свои процессы, спрос на сеть рос, а также увеличивалось количество исследований, которые так или иначе зависели от сети. Несколько сотрудников BBN в своих интервью с энтузиазмом рассказывали о том, как сеть постепенно становилась «коммунальной услугой». Ког-

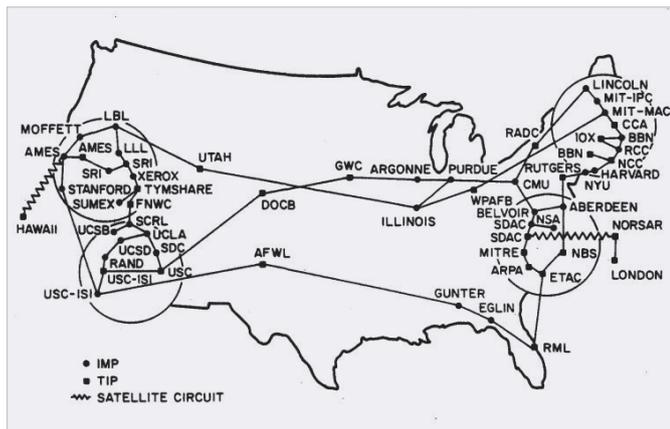


Рис. 10. ARPANet в июле 1975 года. Все эскизы ARPANet предоставлены в отчёте о завершении разработки ARPANet

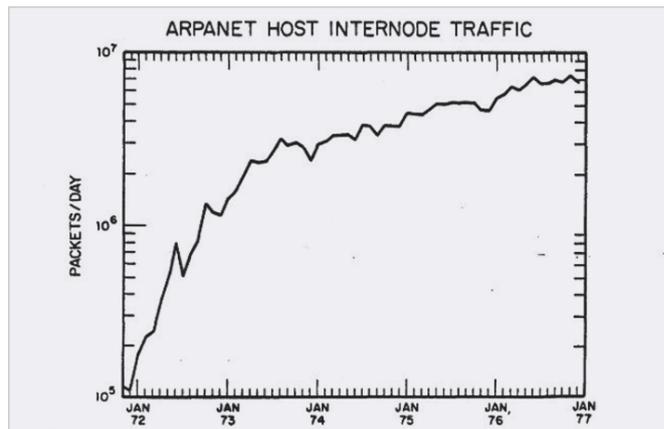


Рис. 12. Любезно предоставлено отчётом о завершении работы ARPANet



Рис. 11. Ранняя версия NCC (Network Control Center). Джим Пауэрс на фото – стоим

да интервьюер попросил их объяснить это, Херт сказал:

«Коммунальная услуга – это то, на что люди полагаются. Это как электричество, телефоны, освещение, железные дороги или самолёты. Да, это была коммунальная услуга. Это удивительный сюрприз. Всё начиналось как эксперимент, чтобы соединить четыре сайта, а стало коммунальной услугой гораздо быстрее, чем кто-либо мог предположить. Люди начали зависеть от неё. И это стало проблемой [для нас], потому что, когда ты что-то меняешь или возникают проблемы, все начинают злиться. Так что это был обоюдоострый меч. Но это было и очень захватывающе».

Александр Макинзи отметил, что, хотя ARPANet никогда не была настолько надёжной, как энергоснабжающая

компания, команде в конце концов удалось поддерживать работоспособность IMP на уровне 98–99% времени. По мере того как сеть превращалась в «коммунальную услугу», всё большее внимание уделялось деятельности в стиле NCC. Исследовательская и операционная деятельность, направленная на повышение надёжности сети, постепенно становилась приоритетной по сравнению с исследованиями сети, которые порождали знания, но мешали обслуживанию. Это, вероятно, разочаровало некоторых сотрудников BBN, но также может рассматриваться как симптом успеха проекта.

Сеть становилась настолько удобной, что значительная часть трафика в сети была внутрисетевым трафиком. Компьютерные hosts на одном сайте стали общаться друг с другом на той же локации. Иными словами, для многих задач общение через ARPANet стало предпочтительнее, чем хождение к соседу в офис.

В 1972 году BBN даже начала попытки создать дочернее предприятие для коммерциализации технологии на более широком рынке. ARPA поддерживала эту инициативу на моральном уровне, хотя и не финансировала её. На самом деле, помощь в создании этой фирмы, Telenet, стала первой задачей Ларри Робертса после его ухода из ARPA. Он пришёл в ARPA, чтобы сделать межкомпьютерные сети реальностью, а теперь, покидая её, он примерял роль, где мог попытаться предоставить эту технологию как можно большему количеству пользователей. Telenet в дальнейшем добилась некоторого успеха как растущий поставщик сетевых услуг, но не стала «сногшибательным» успехом. Тем не менее тот факт, что технология, финансируемая ARPA, показала

коммерческий потенциал всего лишь через шесть лет после первоначального финансирования проекта, следует считать большим достижением.

Если придирается, можно отметить, что первоначальная цель ARPA при реализации сети заключалась в снижении вычислительных затрат. Однако эта цель так и не стала основной при использовании сети. По мере того как вычислительные затраты постепенно снижались, это конкретное использование ARPANet стало далеко не самым важным. Сеть нашла себе более интересные и полезные применения.

### Уроки ARPANet

Из отчёта можно извлечь множество уроков, имеющих отношение к управлению проектами в малом масштабе. Например, очень важным решением стало поддержание BBN тесных связей с академическим сообществом и реализация решений без излишних задержек. Сетевой рабочей группе, ориентированной на академические исследования, в первые годы её существования не удалось прийти к единому мнению о том, какие протоколы лучше использовать. Команда BBN могла бы бесконечно стремиться к совершенству и потратить слишком много времени, чтобы получить идеальный набор рекомендаций по протоколам от этой группы. Вместо этого BBN реализовала протоколы NCP и постепенно, основываясь на большом количестве отзывов от группы, перешла к значительно улучшенным протоколам TCP/IP. Ещё один интересный урок – это использование Робертсом демонстрации в качестве инструмента давления с целью заставить все узлы стремиться к оснащению полным набором возможностей ARPANet.

Однако, помимо этих мелких уроков, необходимо полностью осознать, насколько важно для успешного выполнения проекта было иметь именно такого подрядчика, как BBN. Им были выполнены успешно и в срок не только исследовательская и прототипная стадии этого сложного проекта, но и его полноценный перевод в статус коммунальной услуги. Важным уроком является понимание того, как и почему это удалось.

Команда BBN состояла из лучших умов, глубоко погружённых в научную деятельность, но при этом работавших в структуре компании. Дэйв Уолден, объясняя, почему именно BBN заслужила прозвище «третий университет Кембриджа», подчёркивал следующее:

*«BBN предоставляла поддержку исследователям-одиночкам, которые могли и хотели найти спонсоров для намеченных ими исследований. Работа не направлялась сверху вниз; старшие исследователи были свободны в широких рамках в выборе своих интересов, если они могли найти необходимое финансирование».*

Дополняя это, надо отметить, что BBN также имела нужный персонал, опыт и подходящую структуру для успешного управления крупными масштабируемыми проектами вплоть до внедрения. Работы компании в области временного деления ресурсов для больниц – один из примеров того, как BBN управляла проектом с использованием передовых технологий.

Проект ARPAnet продемонстрировал все сильные стороны BBN. Когда команде даётся подходящая задача и правильные условия, модель BBN помогает достичь невероятных результатов. ARPAnet, как и лампочка Эдисона 90 лет назад, стала как полем для научных экспериментов, так и изменившей мир коммерческой технологией. Хотя коммерческий интерес и стремление к прибыли часто сбивают с курса компании, занимающиеся действительно амбициозными исследованиями, BBN в эти годы была менее подвержена этому.

Если бы в каждой научной и коммерческой сфере существовала такая, как BBN, небольшая исследовательская компания, масштабы того, что можно было бы достичь с помощью финансирования по типу ARPA, значительно расширились бы.

BBN создала такую убедительную прикладную среду для проведения

исследований, что убедила многих профессоров из MIT работать в компании. Компания точно знала, как использовать эти яркие личности. Дэйв Уолден подчёркивает, насколько важен был «естественный ум» первоначальной технической команды, к которой он присоединился, – Фрэнка Херта, Северо Орнштейна и Уилла Кроутера – для успеха проекта:

*«Они умные ребята. В том, как строить сеть с пакетной коммутацией, не было много теории. Была теория коммуникаций, но она была довольно абстрактной. Всё, что теперь преподаётся на курсах по сетям и протоколам, мы в основном (как часть всего сообщества хостов) изобретали. Академический анализ часто приходил позже».*

В заключение можно привести слова Фрэнка Херта, описывающего организацию в статье «Культура инноваций»:

*«Прежде всего, BBN была отличным местом для технических специалистов, и большинству людей очень нравилось работать там. Это было нечто среднее между академической средой и коммерческим миром, с меритократией и индивидуальной свободой академической среды, а также возможностью получения вознаграждения и потенциалом влияния на мир коммерческих предприятий. В случае с ARPAnet и последующим взрывом сетевой активности это была исключительно уникальная возможность для технического человека «купить билет на ракету изменений в мире»».*

## Вклад в будущие технологии

Вклад компании BBN в создание ARPAnet оказал значительное влияние на современную инфраструктуру Интернета. Вот основные аспекты этого влияния.

Одним из ключевых достижений BBN было внедрение технологии пакетной передачи данных, которая позволила передавать информацию через сеть в виде пакетов, а не непрерывных потоков данных. Эта технология лежит в основе всех современных сетей, включая Интернет. Разделение данных на пакеты делает коммуникацию более эффективной, устойчивой к сбоям и позволяет адаптировать сети к различным типам трафика.

В процессе разработки ARPAnet команда BBN разработала алгоритмы маршрутизации, которые были важны для передачи данных по сети. Это решение позволило создать сеть, которая

могла адаптироваться к изменениям и проблемам в инфраструктуре, перенаправляя трафик через другие доступные пути. Эти принципы маршрутизации для управления трафиком и обеспечения его стабильности применяются в Интернете и сегодня.

Работая над ARPAnet, BBN разработала несколько протоколов, позднее ставших основой для стандарта TCP/IP, который лежит в основе современного Интернета. Эти протоколы обеспечивают стандартизированный способ связи между различными устройствами и сетями, что является основой функционирования глобальной сети.

В отличие от ранних попыток построить централизованные вычислительные системы, проект ARPAnet, реализованный с использованием технологии IMP (Interface Message Processor), стал основой для создания децентрализованной сети. Каждый узел сети ARPAnet имел возможность взаимодействовать с другими, что обеспечивало более гибкую и устойчивую архитектуру. Эта концепция децентрализации теперь является основой для работы Интернета, где независимые узлы и сети соединяются друг с другом посредством стандартизированных протоколов.

Вклад BBN также состоял в демонстрации потенциала использования вычислительных систем для обмена информацией между удалёнными точками. Это стало основой для развития таких технологий, как электронная почта, передача файлов и другие виды интернет-коммуникаций.

Работа BBN на ранних этапах создания ARPAnet, включая создание IMP, совершенствование сетевых протоколов и разработку инструментов для передачи данных, положила основу для нынешней интернет-архитектуры. Стандарты и технологии, созданные в процессе работы над ARPAnet, продолжали развиваться и совершенствоваться, став теми основами, на которых построен современный Интернет.

По большому счёту, BBN создала культуру, ориентированную на исследования и инновации, что позволило компании привлекать талантливых учёных и инженеров. Это стало основой для дальнейших научных и технологических достижений в области Интернета и вычислительных технологий. Таким образом, подход BBN к инновациям стал образцом для будущих научных исследований и корпоративной культуры в технологической сфере.



# Тенденции в области автоматизации и цифровизации в 2025 году

Андрей Кашкаров

Одним из факторов успеха компаний является способность предвидения трендов ближайшего будущего. Компетентные аналитики всё более ценятся; с учётом их рекомендаций о том, каких результатов можно добиться от внедрения тех или иных инициатив, руководители принимают наиболее взвешенные решения. Автоматизация производства как инструмент для успешного реагирования на вызовы времени в 2025 году в данном случае соответствует новым тенденциям. О том, что может быть интересно разработчикам РЭА и руководителям в производственной сфере, поговорим в статье.

## Помехи внедрения ИИ

Набирает скорость развитие аддитивных технологий, к примеру, сокращение высококвалифицированного персонала с перспективой его оттока и замены роботизированной техникой. Эта серьёзная проблема связана с тем, что в традиционных отраслях промышленности есть большое недоверие к информационным технологиям в целом. Инвестиционный климат способствует появлению новых требований, к примеру, чтобы отдача от инвестиций происходила в ближайшие два года. И это связано с экономическим давлением в контексте сложившейся геополитической ситуации. Поскольку инвесторы желают получать эффект от реализации инновационных идей в краткосрочной перспективе, срок окупаемости технологий даже в три-четыре года стал фактором отказа от новых креативных инициатив, направленных на повышение эффективности и рентабельности производства. Недоверие к вариативным цифровым инструментам

связано с тем, что люди боятся потерять рабочие места. Это особенность менталитета «привычного управления», с которой желательно работать. На предприятиях КНР, США и Европы такая проблема решается заранее, поэтому оказывает давление на сотрудников и руководителей в меньшей степени.

Проблемой остаётся весьма низкая производительность труда отечественных компаний относительно зарубежных конкурентов. Это последствия условного недомыслия, проявленного в минувшее десятилетие 2010–2020 годов. Западные компании сделали упор на внедрение технологий и получили результат ещё лучше, чем прежде. В то время как (в некоторых примерах) отечественные компании, с одной стороны, новые технологии не покупали, с другой, доступ к ним, кроме отечественных разработок, был закрыт или стал нерентабельным.

Одна из проблем малых компаний в том, что ИТ-подразделения не рекламируют работу среди сотрудников,

фактически не «продают» свои обобщённые достижения и труд по автоматизации и цифровизации. Среди причин подобного явления – вполне реальные опасения коммерческой разведки конкурентов. Уже несколько лет в Интернете заметен тренд на ограничение технической информации: на сайтах компаний много общих слов о перспективных разработках, но почти ничего из технических подробностей, весьма важных для заказчиков и потенциальных партнёров. Таким образом решается отчасти проблема утечки данных и повышается информационная безопасность компании, однако среди недостатков ограничения информации также стоит отметить, что не только сотрудники, но и менеджмент иногда не представляет, каких результатов можно добиться от внедрения разработок компании, полезных инициатив и технических решений.

Квалификация сотрудников предприятий – производителей РЭА заметно повысилась, а с другой стороны, почти полностью ликвидировано «низовое звено». Таким образом, открывается новая проблема «синих воротничков»: кто будет работать на высокотехнологичном оборудовании, на которое затратят 2/3 инвестиционного бюджета, если все станут управлять и распоряжаться? Такая перспектива в 2025 году ещё не актуальна, но в начале 30-х годов XXI века она видится более чем реальной.

Человеческого ресурса не хватает. Чтобы не допустить коллапса, производства пытаются применять технологии в помощь сотруднику для управления сложной и компьютеризированной установкой и страховать его на случай возникновения критических ситуаций. Такие системы, как элемент цифровизации производства РЭА, уже появляются, позволяют не только управлять станками дистанционно, но и оперативно подсказывать решения.

Недоверие к системам с ИИ поддерживается их пока не гарантируемым совершенством. То есть людям всё рав-



Рис. 1. Иллюстрация взаимосвязей ИИ в технологических процессах



Рис. 2. Типичные риски работы системы информационной безопасности

но приходится контролировать ИИ, причём довольно существенно. Когда возникает необходимость проверить все решения, выданные нейросетью, на память приходит диалог из мультфильма «Чебурашка»:

- Гена, давай я тебе помогу!
- Как, Чебурашка?
- Я понесу чемодан, а ты понесёшь меня!

## Цифровая трансформация производства в новых реалиях

Цифровизация производства стала ключевым трендом последних лет. На практике по разным причинам эти процессы идут слабо. Математические модели и предиктивные системы управления производством позволяют выполнять аналитику посредством ИИ и затем принимать выверенные решения на основе статистики. На этом пути сначала внедряют ИИ в конкретные технологические процессы (рис. 1). ПО с интегрированным ИИ наблюдает за тем, как работает оператор, какие решения принимает. На следующем этапе «умная система» работает вместе с оператором, рекомендуя конкретные действия. Это может работать как подстраховка «электронного наставника» для стажёров. Затем обученная система с ИИ трансформируется в сервис предиктивного управления [3]. Нечто похожее по функционалу называют «цифровым

двойником». На самом деле это математические модели, позволяющие отрабатывать решения человека-оператора перед тем, как они будут реализованы на практике. И снова речь идёт о предиктивной аналитике и подстраховке. Причём каждое действие как человека, так и электронной системы фиксируется в электронной памяти. Крупные производители РЭА работают с большими объёмами данных, трудовых ресурсов и получают значительное преимущество от цифровых и роботизированных технологий. Малым же компаниям пока легче справиться с процессами традиционно: вручную.

Для более эффективной передачи знаний действуют «музеи цифровизации», где сотрудники и даже учащиеся по специальности узнают о новых перспективных технологиях в своей отрасли.

Вопросы импортонезависимости и переориентации на альтернативных поставщиков в условиях санкционных ограничений остаются актуальными, в области развития промышленной автоматизации и диспетчеризации инженерных систем в концепции Industry 4.0 – особенно: ПО, техническое оборудование, машинное обучение и внедрение роботизированных технологий на основе ИИ. Сюда же относят развитие «промышленного» IoT, называемого IIoT, облачные технологии и алгоритмы для решения задач управления производством.

## В сегменте IIoT и информационной безопасности

Рынок промышленного Интернета вещей (IIoT, в том числе IIoT в сегменте оборудования для RFID) в России начал расти после падения в 2022 году. Теперь, по оценкам аналитиков, он увеличился на 5, до 144,4 млрд руб., а к 2026 году составит 188,9 млрд руб. В 2024 году приблизительно 36,7% отечественных компаний использовали IIoT- и IIoT-решения. Дальнейший рост будет обеспечен активизацией спроса предприятий на автоматизацию производств на фоне дефицита кадров и отчасти инициативами, заложенными в нацпроект «Экономика данных». Не все эксперты согласны с абсолютной оценкой рынка, но в целом подтверждают тенденцию к росту. Затормозить её может отсутствие альтернатив относительно многих зарубежных решений. На рис. 2 представлены типичные угрозы и риски работы системы информационной безопасности.

По данным отчёта аналитической компании TelecomDaily о развитии IIoT в России, представленного 17 января 2024 года на «Дне цифры» в рамках выставки «Россия», подтверждена импортонезависимость решения Nexign IoT Connectivity Platform для автоматизации основных бизнес-процессов операторов связи, когда компоненты платформы включены в единый реестр ПО отечественной разработки. Акцент сделан на обеспечении безопасности даже SIM-карт: реализован модуль многопрофильной диагностики состояния, добавлены гибкие настройки для управления. Количество подключённых SIM по технологии M2M (Machine-to-Machine)/IIoT в России неуклонно растёт. Это означает, что, несмотря на санкционные ограничения, уход иностранных вендоров, отдельные трудности с логистикой, темпы роста фактически остались прежними. На рис. 3 показан прогноз развития рынка IIoT/M2M в России.

В конце 2023 года рынок IIoT составил 170 млрд руб. с тенденцией к росту до 350 млрд руб. к 2033 году, а количество подключённых устройств превысило 80 млн [6]. Спрос на NB-, IIoT-решения будет устойчиво расти. В 2024 году объём рынка достиг 2,1 млрд руб., в 2025 году составит примерно 3,8 млрд руб., а в 2026 прогно-



Рис. 3. Прогноз развития рынка IoT/M2M в России

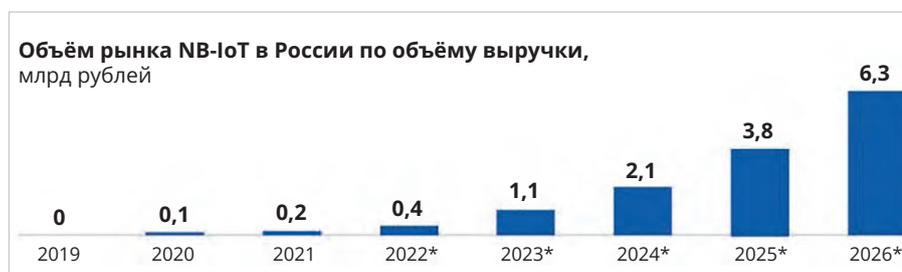


Рис. 4. План-график расширения российского рынка NB/IoT

зируется на уровне 6,3 млрд руб. При этом примерно 21% всех подключений в области IoT придётся именно на сегмент NB-IoT. Таким образом, по прогнозам аналитиков, рост соответствующего рынка с 2022 по 2026 год составит до 18% относительно текущего времени [7]. В условиях импортозамещения и увеличения интереса к IoT и PoT-технологиям важно выводить на рынок полностью импортонезависимые продукты, разработанные без использования зарубежных компонентов. На рис. 4 показан план-график расширения российского рынка NB-IoT.

При анализе сегмента учитывался объём рынка оборудования для промышленного IoT, ПО для него, профильных услуг, в том числе затраты на проектно-испытательные работы и сетевое обеспечение технологии.

Качество информационной безопасности на промышленных объектах также остаётся на повестке дня, но выше мы показали, что в этой сфере скорее нужен разумный баланс, чем следование ангажированным интересам соответствующих отделов. Кибербезопасность – важнейшее направле-

ние в деятельности компаний в части противодействия DDoS-атакам, причём длительность DDoS-атаки может превышать 30 дней при скачивании или повреждении значительного объёма данных, а скорость «атакующего» с трансляцией данных при благоприятных условиях может составлять до 1,5 Тбит/с [8].

### Революция в создании и поддержке рабочих мест

Вполне возможно, что к 2030 году такие реализованные в массовом порядке инновации станут основой сетей будущего и изменят IT-сферу так же, как когда-то оптоволоконные линии связи пришли на смену проводам с медными жилами.

Многие привычные обывателю IT-платформы, различные и количественно бесчётные информационные системы, такие как видеонаблюдение, сфера ЖКХ, документооборот предприятий и многие другие уже связаны с вычислительными мощностями в центрах обработки данных (ЦОД). Облачных сервисов будет всё больше, и для некоторых из них окажется критичной задержка прохождения сигнала

или задержка отклика – на стороне пользователя.

Не всем известно, но с этой статьёй мы частично заполним информационный вакуум, что в перспективе, возможно, более поздней, чем 2025 год, будет совершена революция относительно компьютеризированных рабочих мест пользователей. Таков путь создания сети в виде больших дата-центров обработки данных (ЦОД). В реальности они пока мало распространены, загружены, но специалисты о них осведомлены, и работа в этом направлении ведётся активная. Почему это важно?

Многие привыкли, что есть ПК на рабочем месте, подключённый к локальной сети, за пределами офиса установлены сервера, а высококвалифицированные специалисты помогают сотрудникам переустановить ПО при необходимости. Но в ближайшем будущем подобная модель перестанет существовать. Взамен приходят VDI-системы как принципиально иной подход к построению сети. В таком случае на рабочем месте устанавливаются не компьютер, а только периферийное устройство: экран (дисплей), в том числе сенсорный, мышь, клавиатуру – всё по необходимости. Эти периферийные электронные устройства через защищённый канал связи подключены к серверной. Поскольку сервера требуют периодического обновления, обслуживания и поддержки, не для каждого офиса или отдела нужен собственный IT-специалист, в идеальном формате серверная находится не в офисе и даже не на предприятии, а в больших компаниях-коммуникаторах, по соответствующим договорам отвечающим за хранение данных и их безопасность. Поэтому небольшим компаниям-производителям РЭА или бизнесменам в других сегментах товарно-делового оборота, не имеющим профильного направления, нет необходимости обслуживать сервера и затрачивать на это большие средства.

Работоспособность расширенной системы будут обеспечивать один-два человека, в компетенции которых обслуживание одновременно десятков и сотен компаний. Такая модель в обозримом будущем и пятилетней перспективе может получить распространение.

В контексте развития видеоаналитики (рис. 5) это становится ещё более

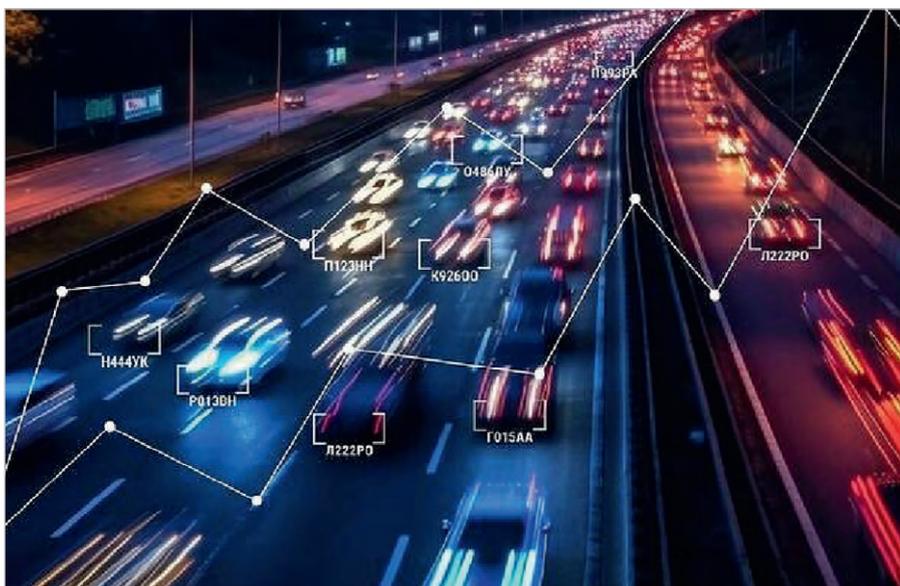


Рис. 5. Иллюстрация развития видеоаналитик на дорогах общего пользования

прорывным шагом, когда несколько миллионов видеокамер разного назначения уже установлены и отслеживают перемещение людей по всей стране, доступ к которым почти моментально может иметь любой (с соответствующим допуском) аттестованный сотрудник правоохранительных органов и контрразведки.

### В области тотального видеоконтроля и социальных сетей

Министерство внутренних дел России (МВД) улучшает возможности поиска правонарушителей с помощью современных нейросетей. В 2024 году ведомство планировало проведение научно-исследовательской работы, а в 2025 году запустят сразу две (и более) смарт-технологии в помощь работникам органов правопорядка в поиске потенциальных правонарушителей. Одна разрабатываемая система, которую по плану вводят в действие в 2025 году, получила предварительное название «Конъюнктура»; в её задачи войдёт прогнозирование разных чрезвычайных ситуаций и негативных происшествий и моделирование сценариев реагирования на них [9]. Другая система, «Клон», нужна для выявления фактов подделки видеозаписей, в интересах правоохранительных органов. К конкурентам «Клона» за рубежом относят сервис Deepfake Detection Challenge за авторством Microsoft и Amazon и других американских компаний. Он служит для выявления поддельных видеозаписей, в работе применяет алгоритмы ИИ.

Западный аналог «Конъюнктуры», имеющий схожие возможности, – это сервис Watson OpenScale ушедшей из России компании IBM с задачей мониторинга и управления ИИ-моделями. Обучаются российские нейросети на отдельных наборах данных. Их МВД тестирует и запустит как систему в 2025 году.

### Рост посещаемости и эффективности выставок и мероприятий

В 2024 году по всей стране было организовано несколько знаковых выставок достижений в области электроники. Одна из профессиональных площадок обмена идеями и опытом в производственной и инновационной сфере дала огромную пользу разработчикам отрасли. В ноябре в Москве в МВЦ «Крокус Экспо» прошла международная выставка-форум «Электроника России 2024». Новейшие достижения российских производителей электроники – от компонентов до готовой продукции – стали доступны вниманию и обсуждению широким кругам заинтересованных лиц [5]. На рис. 6 дана иллюстрация с выставки «Электроника России 2024» с участием ООО «СТА-ПРЕСС». Ещё одно знаковое событие состоялось весной 2025 года: 15–17 апреля в МВЦ «Крокус Экспо» одновременно на одной площадке с ExproCifra – выставкой информационных технологий и решений для цифровой трансформации – прошла уже XXVII Международная выставка электроники ExproElectronica 2025 – самая посе-

щаемая выставка электронной отрасли России и ЕАЭС. Особенный интерес представляет сегмент робототехники.

Мероприятие прошло под эгидой привлечения внимания к развитию сегмента отечественного производства компонентов и технологий, материалов и оборудования, встраиваемых систем и конечных решений. Это крупнейшая по количеству участников и посетителей в России и ЕАЭС международная выставка электроники, представляющая достижения по всей цепочке производства от изготовления компонентов до разработки и сборки конечных электронных систем.

В целом по стране ежегодно проходит более 30 таких мероприятий, способствующих развитию бизнеса, упрочнению репутации компаний, а это стимулирует разработку новых решений и удовлетворяет потребности всех отраслей промышленности, поскольку электронное оборудование задействовано в любой из них. Выставки под эгидой «Передовые технологии автоматизации» проходят в 2025 году в развивающихся деловых и производственных центрах: Екатеринбурге (20 февраля), Казани (12 апреля), Санкт-Петербурге (27 мая), Челябинске (24 сентября) и Новосибирске (29 октября) [2]. Профессиональным организатором выставок и конференций по автоматизации, встраиваемым системам и автоматизации зданий является «Экспотроника».

### Итоги прошлого года и перспективы в 2025

Разумеется, у российских компаний есть свои успехи. Не отстают разработчики и производители электротехники в столичном регионе, где создают инновационную продукцию постоянно. Московские промышленники поставили заказчикам контрольно-измерительной аппаратуры, электродвигателей, кабелей, аккумуляторов и другой востребованной продукции более чем на 143,3 млрд рублей [4]. На рис. 7 представлена иллюстрация сборки модуля РЭА.

В столице успешно развивается ОЭЗ «Технополис Москва» – признанный флагман высокотехнологичной промышленности, а также сформированы четыре крупных межотраслевых кластера, объединяющие ведущие компании в сферах фармацевтики, микроэлектроники и фотони-



Рис. 6. Иллюстрация с выставки «Электроника России 2024» с участием ООО «СТА-ПРЕСС»

ки, беспилотной авиации и электро-мобилестроения. Инжиниринговая компания «Тайтэн Пауэр Солюшн» поставила более 15 тыс. «суперконденсаторных систем» гарантированного запуска ДВС, в первую очередь такими устройствами оснащают спецтранспорт. Конденсаторная система гарантированного запуска двигателя, рассчитанная почти на миллион циклов заряда-разряда, помогает автомобилю завестись даже при разряженном аккумуляторе или в условиях экстремальных температур от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+65^{\circ}\text{C}$ . Небольшой модуль весом в 2,5 килограмма подключается к АКБ автомобиля, выполняя функции запуска двигателя.

Компания «Связь инжиниринг-М» два десятка лет выпускает в столице автоматизированные системы коммерческого учёта энергоресурсов. Совместно с партнёрами сотрудники предприятия установили 96 зарядных станций для электромобилей у трансформаторных подстанций, расположенных в жилых кварталах столичного мегаполиса. Также востребована линейка программно-аппаратных комплексов информационной безопасности в системах контроля доступа и видеонаблюдения от производителя «АТБ Электроника» (Москва). Они востребованы в учреждениях здравоохранения, транспортном комплексе, промышленности, энергетике и других областях [1]. И это только отдельные примеры, всех перспек-

тивных достижений по стране и не считаешь.

### Экономические реалии

Разработчикам, производителям и дистрибьюторам электроники, непосредственным пользователям, сервисным организациям и интеграторам, заинтересованным в продвижении и закупках соответствующей продукции, важно знать, что начинают действовать государственные экономические программы инвестиций в производство радиоэлектроники. При общей, пока ещё не очень высокой эффективности, льготное финансирование – лишь один из инструментов стимулирования разработчиков и производителей РЭА. Из-за большой и продолжающейся рост ключевой ставки ЦБ даже льготные программы финансирования достигают далеко не всех производителей, особенно малых и средних компаний. Рост курса СКВ выгоден для российских экспортёров. Осенью 2024 года курс доллара превысил 103 руб., на бирже Forx его стоимость достигла 105 руб. Ослабление рубля одновременно с ростом ключевой ставки ухудшает положение предприятий, работающих на внутреннем рынке. Доля рубля в платежах за экспорт с Европой поднялась до исторического максимума: 67%. В расчётах с Азией и Африкой на российскую национальную валюту приходится 80% и 84% соответственно. Главная причина сложившейся ситуации внутри страны – относительно высо-

кий уровень инфляции, бьющей в первую очередь по людям и компаниям с небольшими доходами, когда текущие расходы тоже привязаны к инфляции. Это зарплата, компоненты, используемые для производства РЭА; они растут, как правило, быстрее инфляции. В конце 2024 года ключевая ставка находилась на уровне 21% – самый высокий показатель с момента введения критерия в 2013 году.

Согласно стратегии развития до 2030 года программы будут направлены на поддержку инвестиционных проектов в научно-технической деятельности, производственном бизнесе, IT, сфере станкостроения и робототехники, а также в туризме. На их развитие в 2025 году выделяют 2,5 трлн руб. Также планируется запустить льготные кредиты для резидентов особых экономических зон (ОЭЗ) и предпринимателей из моногородов [1].

Новые программы предлагаются на фоне прекращения самой популярной программы «1764». В связи с ростом ключевой ставки Минфину становится невыгодно в массовом порядке субсидировать кредиты. Но хотя льготного финансирования сейчас станет меньше, поддержка бизнеса вряд ли сократится, в частности, приоритетная отрасль радиоэлектроники получит больше помощи. Кому же хочется зарезать курицу, несущую золотые яйца? Не исключено, что льготы станут более выгодными, чем сейчас.

### Выводы

Конкуренция в производстве или услугах всегда приводит к росту качества, в том числе услуг, либо к снижению их стоимости. В этом смысле крупные производства РЭА и консолидированные компании будут ещё более расширяться, но это не означает, что не останется малых. Останется выбор. На простом примере это можно отвлечённо пояснить так. Есть большие транспортные автомобили, фуры, грузовые самолеты и корабли, они доставляют товары до больших терминалов, но не могут заехать условно во двор старого жилого квартала, в малую бухту или приземлиться на сельском аэродроме в провинции. Для этого существуют малый транспорт, лодки и вертолеты. Примерно так же работает телекоммуникационный рынок в любой стране мира. Поэтому «падать раньше выстрела» в условиях новых вызовов времени и перспектив всё-таки не стоит.



Рис. 7. Иллюстрация сборки модуля РЭА на производстве

Уже есть системы для писателей и журналистов, которые могут не только быстро переводить озвученный текст (такие электронные девайсы нередко используются туристами или на спонтанных международных встречах, где экономят на услугах переводчика), но уже есть системы, преобразующие голос в текст, с помощью которых можно быстро написать статью, составить протокол совещания (и не только – что

уместно применять даже в судах специальной и общей юрисдикции) или создать презентацию, преобразовав голос в текст. За подобными нейрошлюзами будущее цифровой электроники. ПО для работы со звуком, текстом, изображением постоянно совершенствуется. Загружают голосовой формат файла и получают расшифрованный текст не только с основными тезисами, но даже с учётом пауз и интонации.

С учётом развития производства, насыщения рынка отечественными технологиями производства печатных плат и модулей с использованием высокотемпературного (HTCC) и низкотемпературного (LTCC) режима в ближайшие несколько лет вырастет экономическая целесообразность проектов по цифровизации. Уже сформированы компетенции и есть наработки, которые можно адаптировать для решения разных задач на разных типах производств. Новые тенденции определяются тем, что важно обеспечить вклад малых и средних предприятий, мотивировать к переходу в более высокие категории, а потому и расширить их участие в обеспечении технологического суверенитета страны. Комплексные электронные и под управлением ИИ системы – наше будущее.

Интересно всё, что связано с соблюдением техники безопасности. К примеру, решения, помогающие отслеживать использование сотрудниками средств индивидуальной защиты или их проникновение в опасную зону.

**innodisk**

Industrial  
**SATADOM-MV**  
3ME4 Series

**SATADOM — ИДЕАЛЬНОЕ ЗАГРУЗОЧНОЕ РЕШЕНИЕ**

Компактные твердотельные накопители с интерфейсом SATA III с высокой скоростью передачи данных

**PROSOFT®**

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

(495) 234-0636  
INFO@PROSOFT.RU

[WWW.PROSOFT.RU](http://WWW.PROSOFT.RU)



Реклама

Производителям РЭА интересны решения, которые позволяют под- считывать объёмы готовой продукции. Это актуально для компаний, которые имеют площадки в разных регионах, и когда необходимо проконтролировать, что вся отгруженная в больших объёмах продукция доставлена заказчику. Третьим популярным направлением разработок можно назвать контроль и повышение качества продукции.

Несмотря на растущий спрос на отечественные решения по автоматизации и цифровизации, конверсия запросов в реальные проекты пока небольшая. Причина, по которой это происходит, финансовая, все считают деньги: если решение позволяет улучшить показатель эффективности производства на 40%, компания отказывается от внедрения инноваций, потому что такой результат видится малым. А иногда заказчик соглашается на проект, который способен улучшить показатель всего на 3%, но с учётом оборотов это позволит производителю экономить каждый квартал миллионы рублей [3].

Чтобы не только идти в ногу со временем, но и предвидеть завтрашний день, кроме прочего, необходимо рассматривать два независимых пути:

вспомнить, как развивалось кризисное управление в прошлом (в этой теме найдутся профессионалы, которые посетуют: «У нас кризис и не проходил»), переложив опыт на реальные достижения научно-технического прогресса, и второе – внимательно смотреть на опыт зарубежных коллег, учитывая опять же в реалиях России то, как в других странах справляются с вызовами времени. А поскольку пока ещё много зарубежных технологий опережают в эффективности отечественные, понять по проанализированному опыту, какие вызовы и как удобнее трансформировать в отечественных решениях.

## Литература

1. Власти запустят пять новых программ кредитования для МСП. Кому они будут доступны? URL: <https://www.dk.ru/news/237213112>.
2. Выставки электронных технологий в 2025 году. URL: <https://www.pta-expo.ru/>.
3. «Компьютер будет думать за меня, а меня уволят»: что мешает внедрению ИИ на заводах? URL: <https://www.dk.ru/news/237212751>.
4. Московские производители электротехники создают инновационную продукцию. URL: <https://riam.ru/news/ekonomika/moskovskie-proizvoditeli-elektrotehniki-sozdajut-innovatsionnuju-produktsiju/>.
5. Первый день работы выставки «Электроника России 2024»: «СТА-ПРЕСС» приглашает гостей на свой стенд E519. URL: <https://www.cta.ru/news/soel/180834.html>.
6. Плюс индустриализация всего Интернета: промышленный IoT вернулся к росту. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/6455358>.
7. IoT-платформа от Nexign полностью перешла на импортнезависимые технологии. URL: <https://rozetked.me/news/35809-iot-platforma-ot-nexign-polnost-yu-pereshla-na-importnezavisimye-tehnologii>.
8. Рынок России IoT и M2M. Обзор TAdviser. URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F%D0%98%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B5%D1%82\\_%D0%B2%D0%B5%D1%89%D0%B5%D0%B9\\_IoT\\_M2M\\_\(%D1%80%D1%8B%D0%BD%D0%BE%D0%BA\\_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8\)](https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F%D0%98%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B5%D1%82_%D0%B2%D0%B5%D1%89%D0%B5%D0%B9_IoT_M2M_(%D1%80%D1%8B%D0%BD%D0%BE%D0%BA_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8)).
9. Как «умнеют» российские города. URL: [https://www.cnews.ru/news/top/2024-01-11\\_iskusstvennyj\\_intellekt](https://www.cnews.ru/news/top/2024-01-11_iskusstvennyj_intellekt).

## НОВОСТИ МИРА. ЧИТАЙТЕ НА ПОРТАЛЕ WWW.CTA.RU

### Гибридно-плёночные DC/DC-преобразователи с повышенным входным напряжением для электроники специального назначения

Использование в аппаратуре специального назначения сетей повышенного напряжения (до 400 В) позволяет сократить массу и объём энергетического оборудования.

Для применения в такой аппаратуре предлагаются модульные гибридные DC/DC-преобразователи напряжения, рассчитанные на бортовые сети с напряжением 160, 270, 300 В.

Модули серий HFL160S29, HOL160S28, HOL270S28 и HOL300S24 способны работать в диапазоне входного напряжения 110–300 В, 160–400 В и 240–330 В и допускают переходное отклонение входного напряжения до 450 В длительностью 1 с. Устройства оснащены следующими сервисными функциями и комплексом защит: подстройка выходного напряжения; выносная обратная связь по напряжению для компенсации падения напряжения на соединительных проводах; вход дистанци-

онного включения/выключения, согласованный по параметрам с ТТЛ-уровнем с открытым коллектором; защита от перегрузки по току, короткого замыкания, превышения выходного напряжения (все виды защит – самовосстанавливающиеся).

Модули HOL270S28 и HOL300S24, кроме указанных выше функций, отличаются возможностью параллельной работы, которая используется в высоконадёжных системах для уменьшения возможности появления отказов (N+1 резервирование).

Основные технические характеристики DC/DC-преобразователей приведены в таблице на сайте.



Для обеспечения соответствия дополнительным требованиям по электромагнитной совместимости рекомендуется применять на входе помехоподавляющий фильтр HFME270-461, который обеспечивает ослабление помех на 50 дБ на частоте 500 кГц.

Конструкция модулей представляет собой герметичный корпус с габаритами 76,7×38,6×10,66 мм и весом 90 г, выполненный из холоднокатаной стали. Основание корпуса покрыто никелем, крыш-

ка выполнена из железо-никелевого сплава 4J42. Медные выводы покрыты золотом, корпус герметизирован параллельной шовно-роликовой сваркой в инертной среде.

DC/DC-преобразователи разработаны и производятся Восточно-китайским научно-исследовательским институтом микроэлектроники в соответствии с требованиями национальных производственных стандартов:

- GJB 548C-2021 «Методы и процедуры испытаний микроэлектроники» (соответствует MIL-STD-883 «Test Methods and Procedures for Microelectronics»);
- GJB 2438B-2017 «Технические требования к гибридным микросхемам. Общая спецификация» (соответствует спецификации MIL-PRF-38534 «Hybrid Microcircuits, General Specification For»). Модули способны работать в диапазоне температур от –55 до +125°C (на основании корпуса), диапазон температуры хранения от –65 до +150°C.

Предназначены для использования в аппаратуре специального назначения наземного и морского базирования и других применениях в условиях воздействия жёстких климатических и механических факторов.



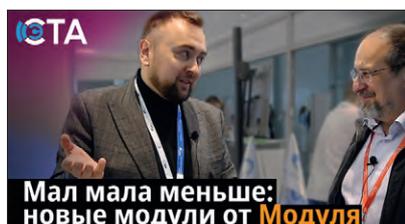
Интервью с Михаилом Нагорским, техническим директором Концерна Гудвин (Гудвин Европа)



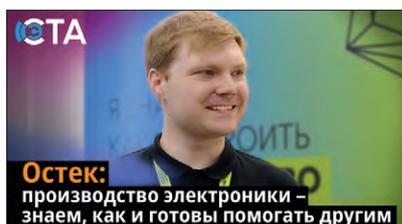
Интервью с Артёмом Рябокулем – управляющим партнёром, коммерческим директором Акметрон и Русланом Тюкаевым – директором направления контрольно-измерительного оборудования Акметрон



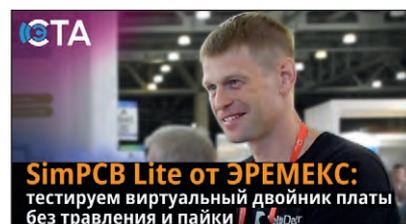
Интервью с Павлом Щербининым, директором по стратегическому маркетингу в машиностроении, АСКОН



Интервью с Иваном Шарошкиным, заместителем руководителя отдела маркетинга АО НТЦ «Модуль»



Интервью с Павлом Алейниковым, начальником отдела технической поддержки «Остек-Умные технологии»



Интервью с Виктором Ухиным, инженером по технической поддержке Эремекс

## СМОТРИТЕ НА КАНАЛЕ СЭТА



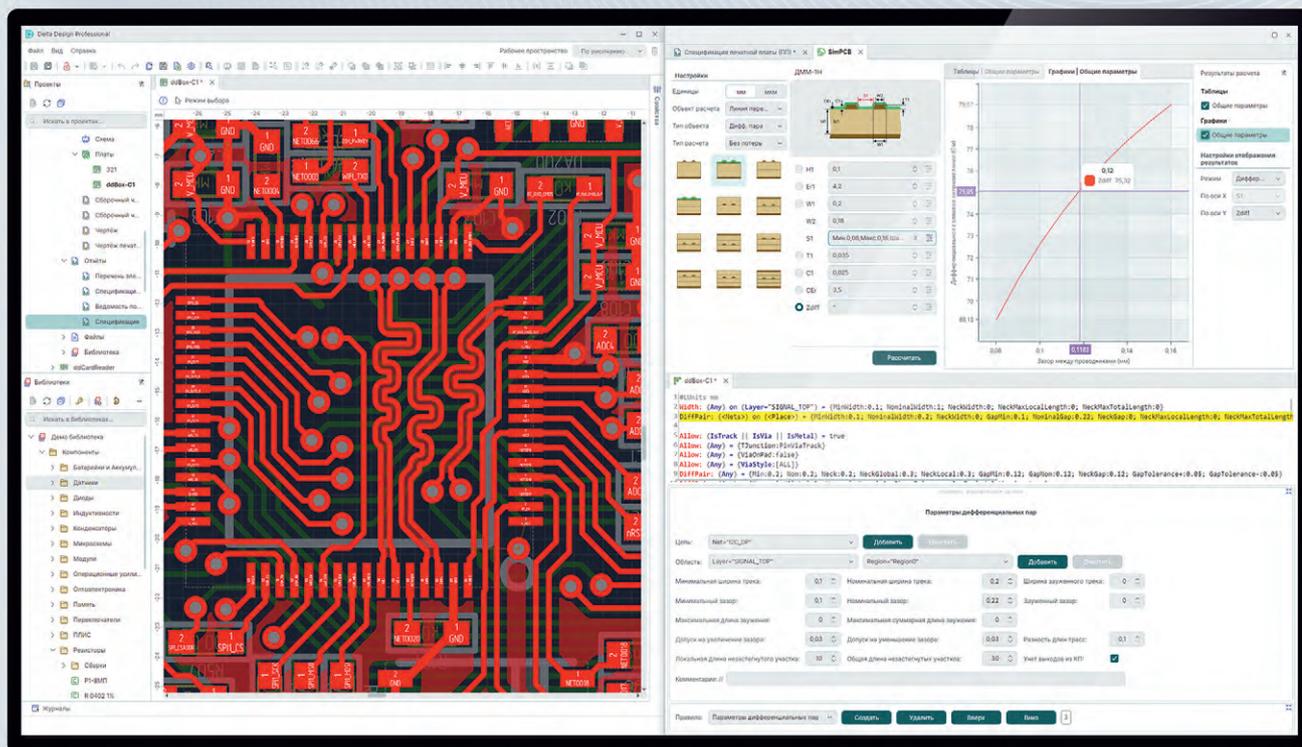
## СЛУШАЙТЕ В ПОДКАСТЕ СЭТА





# DeltaDesign 4.0

**Новая кроссплатформенная версия** российской САПР электроники



Поддержка отечественных операционных систем, в том числе Astra Linux



SimPCB – новый модуль анализа целостности сигналов



Многопользовательное редактирование



Поддержка отечественных процессоров Эльбрус (Эльбрус Линукс)



Расширенные возможности подготовки конструкторской документации по ГОСТ



Сервисы для обеспечения коллективной работы

Чтобы получить консультацию по новой версии и внедрить САПР Delta Design на вашем предприятии, обратитесь к специалистам ЭРЕМЕКС