



Экономика автоматизации на основе синтетических нервных систем

Дмитрий Анатольевич Жердин¹, Антон Геннадиевич Дмитриев²

^{1,2}Московский финансово-промышленный университет «Синергия», Москва, Россия

¹zherdin@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-4323-2979>

²admitriev@synergy.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2086-2364>

Аннотация

Введение. Очевидно, что достичь технологической независимости Российская Федерация может только развивая собственные технологии, но не копируя и беря за основу иностранные разработки. Описанная в настоящей статье авторская концепция построения автоматизированных систем управления является уникальной и нигде в мире не применяется. Бионические принципы, положенные в ее основу, позволяют достичь высокой экономической эффективности при построении автоматизированных систем управления, дают хорошее конкурентное преимущество субъектам экономической деятельности при использовании описанной технологии.

Цель. Охарактеризовать авторский метод построения автоматизированных систем управления (АСУ) – т.н. «Синтетические нервные системы» (СНС).

Методы. В основу предлагаемого метода были положены концепции, заложенные природой в нервных системах беспозвоночных живых организмов. В статье показывается, что предлагаемый подход снижает временные и финансовые затраты построения автоматизированных систем, делает масштабирование систем очень простым, а техническое обслуживание и ремонт относительно дешевым. Предложенный авторами принцип «куста устройств», образуемого искусственным нейроном, значительно сокращает трудовые, временные и финансовые затраты на создание кабельной системы. Принцип автоматического определения типа подключенных к искусственному нейрону устройств исключает финансовые затраты на услуги программиста и экономит значительное время при интеграции системы. Надежный протокол локальной вычислительной сети Ethernet для объединения искусственных нейронов в единую систему (взамен давно устаревшего RS-485) позволяет строить системы огромного масштаба с возможностью надежного взаимодействия каждого нейрона с любым другим нейроном синтетической нервной системы. Стек протоколов TCP/IP, положенный в основу передачи данных между нейронами, дает возможность легкой отладки системы и построения развитых графических интерфейсов пользователя, работающих на всех вычислительных устройствах, имеющих Web-браузер.

Результаты и выводы. Показано, что интеграция, масштабирование и обслуживание АСУ на основе искусственных нейронов СНС является экономически эффективным по сравнению с классическими АСУ, построенных на модульном принципе. Работа описывает метод повышения экономической эффективности автоматизированных систем за счет принципа достаточно необходимого минимализма, т.е. за счет отказа от дублирования технологий в пользу одной, но наиболее эффективной с технической точки зрения. Предложенный в работе принцип описывает автоматизацию на основе искусственных нервных систем, что значительно отличается от классических принципов автоматизации на основе универсальных контроллеров.

Ключевые слова: экономическая эффективность, технико-экономические показатели, автоматизированные системы управления, синтетические нервные системы, бионический принцип, физические нейронные сети, расчет стоимости интеграции, технобионика, искусственный нейрон, снижение стоимости автоматизированных систем

Для цитирования: Жердин Д. А., Дмитриев А. Г. Экономика автоматизации на основе синтетических нервных систем // Государственное и муниципальное управление. Ученые записки. 2025. № 1. С. 280–289. <https://doi.org/10.22394/2079-1690-2025-1-1-280-289>. EDN QXPBMV

The economics of automation based on synthetic nervous systems

Dmitry A. Zherdin¹, Anton G. Dmitriev²

^{1,2}Moscow Financial and Industrial University "Synergy", Moscow, Russia

¹zherdin@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-4323-2979>

²admitriev@synergy.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2086-2364>

Abstract

Introduction. It is obvious that the Russian Federation can achieve technological independence only by developing its own technologies, but not by copying and using foreign developments as a basis. The author's concept of building automated control systems described in this article is unique and is not applied anywhere in the world. The bionic principles underlying it make it possible to achieve high economic efficiency in the construction of automated control systems, and give a good competitive advantage to economic entities when using the described technology.

Purpose. To characterize the author's method of building automated control systems (ACS) – the so-called "Synthetic nervous systems" (SNS).

Methods. The proposed method was based on concepts laid down by nature in the nervous systems of invertebrate living organisms. The article shows that the proposed approach reduces the time and financial costs of building automated systems, makes system scaling very simple, and maintenance and repair relatively cheap. The principle of the "bush of devices" proposed by the authors, formed by an artificial neuron, significantly reduces the labor, time and financial costs of creating a cable system. The principle of automatic identification of the type of devices connected to an artificial neuron eliminates the financial costs of programmer services and saves significant time during system integration. A reliable Ethernet local area network protocol for combining artificial neurons into a single system (instead of the long-outdated RS-485) allows you to build huge-scale systems with the possibility of reliable interaction of each neuron with any other neuron of the synthetic nervous system. The TCP/IP protocol stack, which forms the basis for data transmission between neurons, makes it possible to easily debug the system and build advanced graphical user interfaces running on all computing devices with a Web browser.

Results and conclusions. It is shown that the integration, scaling and maintenance of automated control systems based on artificial CNS neurons is cost-effective compared to classical automated control systems built on a modular principle. The paper describes a method for increasing the economic efficiency of automated systems due to the principle of sufficient minimalism, i.e. by avoiding duplication of technologies in favor of one, but the most effective from a technical point of view. The principle proposed in this paper describes automation based on artificial nervous systems, which differs significantly from the classical principles of automation based on universal controllers.

Keywords: economic efficiency, technical and economic indicators, automated control systems, synthetic nervous systems, bionic principle, physical neural networks, integration cost calculation, technobionics, artificial neuron, cost reduction of automated systems

For citation: Zherdin D. A., Dmitriev A. G. The economics of automation based on synthetic nervous systems. *State and Municipal Management. Scholar Notes*. 2025;(1):280–289. (In Russ.). <https://doi.org/10.22394/2079-1690-2025-1-1-280-289>. EDN QXPBMV

Введение

Современное производственное предприятие – это комплекс автоматизированных и информационных систем [1–3]. Именно правильно настроенные автоматизированные системы управления и автоматизированные информационные системы (АСУ и АИС) с максимальным охватом всех видов деятельности организации дают предприятию конкурентное преимущество на рынке.

Однако внедрение АСУ и АИС – это достаточно сложная, финансово- и время-затратная задача, которая не всегда оканчивается успехом. Даже после удачного внедрения АСУ и АИС встают вопросы о техническом обслуживании, модернизации и масштабировании систем.

Если автоматизированные информационные системы (АИС) масштабируются достаточно просто, путем инсталляции дополнительного ПО, установки дополнительных модулей оперативной и постоянной памяти в сервера, покупки дополнительных ресурсов у провайдера облачных услуг и т.п., то масштабирование автоматизированных систем управления (АСУ) может обернуться серьезными финансовыми и временными вложениями для компании. Стоит признать, что АСУ дают наибольший экономический эффект для производственного предприятия, т.к. избавляют от финансово-затратного физического человеческого труда, т.е. от персонала, которому необходимо платить заработную плату, оплачивать больничные и декретные отпуска, делать отчисления в пенсионный фонд, выплачивать командировочные и т.п. [4]

АИС также вносят свой вклад в работу производственного предприятия, главное их назначение – помощь в принятии управленческого решения и создание отчетной документации. Физической (механической) работы АИС не совершают и без их наличия можно обойтись, например, отдав данный вид работ на аутсорсинг. АИС не может управлять инженерными системами, конвейерами, промышленными роботами, станками, светофорами. Это работа выполняется АСУ.

Один из основных подходов в проектировании АСУ – это модульность [5]. Модульность дает возможность создавать более устойчивые к отказам АСУ, т.к. выход из строя одного модуля не выводит из строя всю АСУ. Однако, данный подход содержит ряд недостатков. Так модули АСУ не знают о существовании друг друга и могут конфликтовать между собой. Например, спринклерная автоматизированная система тушения пожара водой, может не знать о наличии высоковольтной электрической сети и, соответственно, не сможет ее отключить, что приведет к неприятным последствиям при автоматическом тушении пожара.

Настоящая работа посвящена т.н. «Синтетическим нервным системам» (СНС) – авторскому методу построения АСУ, которые лишены указанных выше недостатков. СНС представляют собой бионический аналог простых нервных систем живых организмов [6]. Нервная система живого организма является единым целым в отличие от модульных искусственных АСУ.

В работе показано, что интеграция, масштабирование и обслуживание АСУ на основе искусственных нейронов СНС, является экономически эффективным по сравнению с классическими АСУ, построенных на модульном принципе.

Материалы и методы

Классический модульный принцип построения АСУ – это не прихоть компании-интегратора, а неизбежная необходимость. Контроллеры, на основе которых строятся АСУ, имеют ограниченное количество портов ввода/вывода, поэтому интеграторам приходится делить систему на части. Наладить взаимодействие между частями АСУ достаточно сложно и не всегда возможно [5]. Некоторые протоколы и ситуации взаимодействия не всегда очевидны на стадии проектирования и интеграции АСУ. На предприятии может возникнуть ситуация, которая не была запрограммирована и какой-то модуль АСУ может не получить информацию, которая необходима в определенном случае.

Для объединения контроллеров АСУ, отвечающих за конкретный модуль, в единую систему, как правило, требуется специально выделенная ЭВМ, которая больше никаких функций (кроме объединяющих модули системы в одну АСУ) выполнять не будет (рис. 1) [6].

Настоящий подход к построению модульной АСУ возможен, только если контроллеры системы поддерживают подобную взаимосвязь. Как правило, для этого контроллеры должны быть от одного производителя. Но автоматизировать все процессы на производстве контроллерами одного типа, никогда не удастся, из-за специализации выпускаемых контроллеров. Т.е. нельзя объединить в единое целое систему пожаротушения и систему управления светофорами в метро, т.к. это принципиально разные системы. Однако ситуации, когда эти системы должны будут взаимодействовать и вести себя как единое целое, возникнуть могут.

Серьезным недостатком классических АСУ является то, что контроллеры, как правило, находятся в специально отведенном помещении или шкафу. Поэтому провода от управляемых устройств тянутся до контроллера не зависимо от того, как далеко находится контроллер от управляемого им устройства. Это приводит к серьезным тратам на кабельную систему. Стоимость проводов и их монтажа может в несколько раз превышать стоимость всех контроллеров и устройств АСУ. Возникает огромное количество параллельных проводов, тянувшихся примерно из одной точки на сотни или даже тысячи метров.

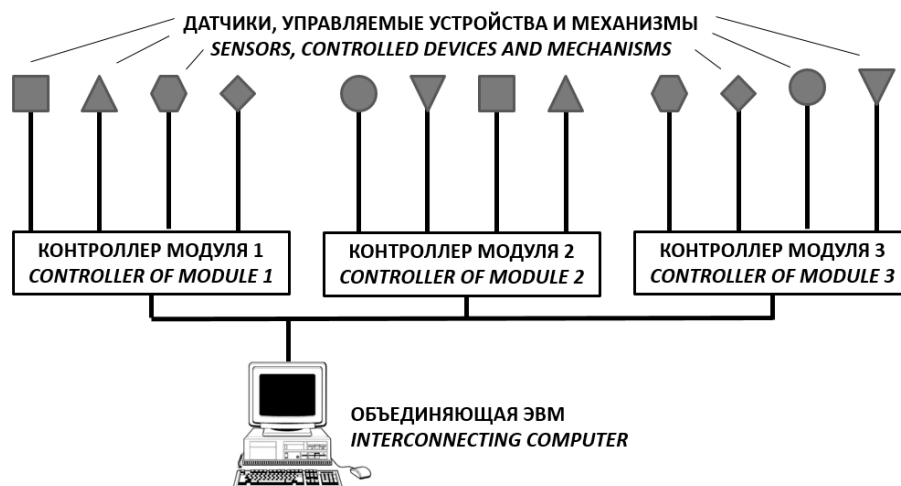


Рис. 1. Классическая схема построения модульной АСУ
 Fig. 1. The classical scheme of building a modular automated control system

Избавиться от перечисленных выше недостатков АСУ можно, обратив внимание на то, как строятся нервные системы (НС) организмов в живой природе. Нервные системы являются природным аналогом АСУ. Как известно, технические решения, которыми пользуется природа, часто более эффективны, чем те, которые создает человек [7].

Выявим основные отличия АСУ и нервных систем организмов. В качестве примера возьмем нервную систему беспозвоночных, так как количество рецепторов и мышц в таких НС, примерно соответствует количеству сенсоров и исполнительных устройств в среднестатистических АСУ, создаваемых человеком, т.е. несколько тысяч.

Нейрон в НС организма всегда изначально знает, к каким рецепторам, мышцам или железам он подсоединен и управляет ими соответствующим образом [8]. В АСУ контроллер изначально не знает, какое устройство подключено к его порту, поэтому нужен этап программирования контроллера человеком. Человек должен запрограммировать порт и настроить логику реакции контроллера на сигналы с порта ввода или управляющие сигналы в порт вывода. Этап программирования занимает большую часть времени при внедрении АСУ и требует значительных финансовых затрат на оплату работы программиста.

Физическое расположение нейрона в нервной системе всегда максимально близко к управляемым органам. Т.е. нейрон находится в непосредственной близости с мышцей, рецептором или железой за управление которыми он отвечает [8]. Нейрон НС соединен с другими нейронами через интернейроны, образуя древовидную систему связей [9]. В АСУ, наоборот, контроллер сильно удален от управляемых им устройств, что требует значительных затрат на создание кабельной сети и решение проблем с передачей сигналов в условиях электромагнитного зашумления. *Возникает проблема параллельных проводов, идущих на значительное расстояние (рис. 2).*

На изображении (рис. 2) видно, что древовидная система связей требует значительно меньше материала, чем топология типа «звезда», используемая классическими АСУ, при одинаковом количестве управляемых объектов.

Особо сильно недостатки АСУ с одним контроллером проявляются при ПИД-регулировании¹ процессов [10]. Один контроллер не может уделять каждому, из множества управляемых процессов, достаточно времени, для максимально эффективного и точного регулирования. *Ошибка в регулировании приводит к снижению экономической эффективности АСУ и технологического процесса в целом, вызывает необоснованное расходование экономических ресурсов* [11–12]. В распределенной системе, построенной на принципах нервных систем, с множеством контроллеров управления, каждый контроллер может выполнять функцию ПИД-регулирования параллельно и независимо от других контроллеров, что дает более точный и эффективный процесс регулирования.

¹ ПИД (PID) – регулятор – это устройство в управляющем контуре с обратной связью, которое используется в системах автоматического управления для формирования управляющего сигнала.

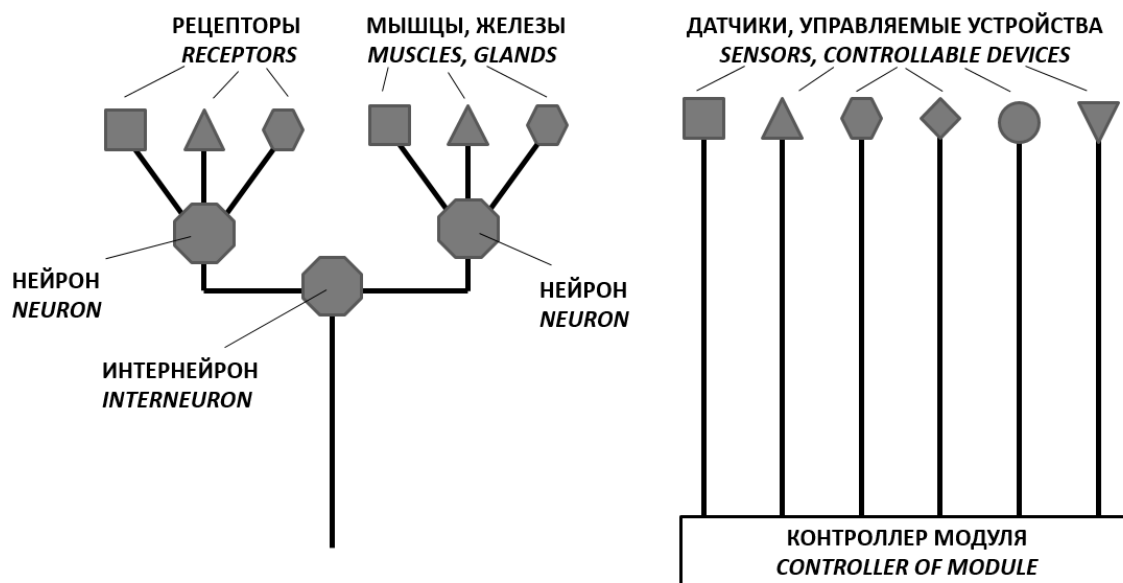


Рис. 2. Древовидная связь нейронов в нервной системе (слева),
связь типа «звезда» в классической АСУ (справа)

Fig.2. Tree-like connection of neurons in the nervous system (left),
star-type connection in the classical automated control system (right)

$$U(t) = P + I + D = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \cdot \frac{de}{dt} \quad (1)$$

Из уравнения передаточной функции ПИД-регулятора (1) видно, что точность вычислений сильно зависит от времени (t), т.е. от скорости измерений и математических операций.

В качестве интерфейса связи между контроллерами и устройствами АСУ обычно используется RS-485 (стандарт ANSI TIA/EIA-485-A), однако данная шина уже устарела и не отвечает современным требованиям [13]. В частности, RS-485 не позволяет реализовать передачу данных по стеку протоколов TCP/IP без специальных конвертеров (RS-485 - Ethernet), что значительно усложняет взаимодействие с системой и не позволяет создавать широкомасштабные сети АСУ (RS-485 рассчитан на 256 устройств). Для связи с устройствами АСУ, построенной на описанных автором принципах, целесообразно применять надежный, распространенный, хорошо зарекомендовавший себя протокол Ethernet (стандарты IEC 61158, IEC 61784, IEEE 802.3) вместе с протоколом TCP/IP. Это позволит настраивать каждый контроллер АСУ индивидуально, используя любой терминал протокола TCP/IP, а также позволит создавать качественные графические интерфейсы с доступом для любого цифрового устройства, оснащенного web-браузером.

Автоматизированная система, построенная на принципах, заложенных природой в нервных системах (описанных выше), будет называться в настоящей статье – синтетической нервной системой. Синтетические нервные системы относятся к группе физических нейронных сетей, т.е. к нейронным сетям, нейроны которых и связи между ними представлены физическими устройствами и проводами, а не программными функциями.

Результаты и обсуждение

Вычислим технико-экономические показатели экономической эффективности внедрения классической АСУ и системы на основе СНС. Стоимость АСУ складывается из стоимости разработки документации, стоимости проектирования, стоимости программного обеспечения, стоимости технических средств для АСУ, стоимости монтажных работ, стоимости пусконаладочных работ, стоимости обучения персонала, стоимости технического обслуживания и ремонта системы [14]. Стоимость некоторой части работ можно рассчитать в соответствии с Федеральными Единичными Расценками (ФЕР), нормы трудозатрат в соответствии с Государственными Элементными Сметными нормами (ГЭСН).

Однако подсчет стоимости внедрения классической АСУ и СНС предложенным в ФЕР и ГЭСН методом даст неверный результат. Дело в том ФЕР и ГЭСН предлагают считать стоимость

пуско-наладочных работ относительно количества имеющихся в АСУ портов ввода/вывода (ФЕРп 02-01-002-03, стр.7¹). Очевидно, что количество задействованных портов ввода/вывода в двух системах будет одинаковое, т.к. системы имеют одинаковое количество управляемых устройств. Но реальная стоимость систем будет различаться, вследствие разной продолжительности линий связи, разного объема монтажных и пусконаладочных работ (в т.ч. программирования), разного объема работ по техническому обслуживанию и ремонту. Поэтому воспользуемся методикой расчета, основанной на стоимости технических средств (ТС) АСУ, монтажа ТС, настройке и программировании ТС, техническом обслуживании и ремонте ТС.

Основываясь на рис. 2, положим, что АСУ имеет 3 устройства ввода (датчики) и 3 устройства вывода информации (исполнительные устройства). Стоимость ТС таких АСУ представлена в табл. 1.

Таблица 1 – Стоимость технических средств в классической АСУ и в синтетических нервных системах

Table 1. The cost of technical means in the classical automated control system and in synthetic nervous systems

Технические средства (единицы измерения)	Классическая АСУ		АСУ на основе СНС	
	Количество	Цена (руб.)	Количество	Цена (руб.)
Контроллер (Ремиконт Р-130)/искусственный нейрон (шт.)	1	7000	3	500
Датчики (шт.)	3	500	3	500
Исполнительные устройства (шт.)	3	1000	3	1000
Провод, витая пара 5 кат. (1 метр)	600	8	100	8
Итого:		16300		6800

Цены в табл. 1 даны на ноябрь 2024 г.

Таблица 2 – Стоимость монтажа по ФЕРм

Table 2 – Cost of installation

Вид работ (единицы измерения)	Классическая АСУ		АСУ на основе СНС	
	Количество	оплата (руб.)	Количество	оплата (руб.)
Монтаж контроллеров (шт.) ФЕРм 11-02-001-01	1	10,22	3	10,22
Монтаж датчиков (шт.) ФЕРм 10-08-002-02	3	16,16	3	16,16
Монтаж исполнительных устройств (шт.) ФЕРм 11-05-001-01	3	4,44	3	4,44
Монтаж проводов (100 метров) ФЕРм 10-01-055-02	6	308,38	1	308,38
Итого:		1922,30		400,84

Стоимость пусконаладочных работ (табл. 3) для систем II категории сложности (10 портов) по ФЕРп, как указывалось выше, дадут одинаковую стоимость. Однако в СНС нет процесса ручной настройки типа подключаемых устройств, т.к. этот процесс автоматический, поэтому введем коэффициент для уменьшения затрат.

Оплата труда в табл. 2 и 3 приведена без умножения на индекс изменения сметной стоимости.

¹ФЕРп 02-01-002-03 – [электронный ресурс] <https://www.smetdlysmet.ru/ferp/ФЕРп-02.pdf> (дата обращения 03.12.2024)

Таблица 3 – Стоимость пусконаладочных работ по ФЕРп

Table 3 – Cost of commissioning

Вид работ	Классическая АСУ		АСУ на основе СНС	
	Коэффициент	оплата (руб.)	Коэффициент	оплата (руб.)
Пусконаладочные работы ФЕРп 02-01-002-03	1	2 641,44	0,5	1320,72
Итого:		2 641,44		1320,72

Вычислим капитальные вложения на классическую АСУ и СНС.

$$K = K_{\text{ТС}} + (K_{\text{мр}} + K_{\text{пр}}) \cdot I_{\text{исс}} \quad (2)$$

где $K_{\text{ТС}}$ – затраты на технические средства, $K_{\text{мр}}$ – затраты на монтажные работы, $K_{\text{пр}}$ – затраты на пусконаладочные работы, $I_{\text{исс}}$ – индекс изменения сметной стоимости на 4 квартал 2024 г.

$$K_{\text{АСУ}} = 16300 + (1922,30 + 2641,44) \cdot 52,92 = 257813,12 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{СНС}} = 6800 + (400,84 + 1320,72) \cdot 52,92 = 97904,96 \text{ руб.}$$

Вычислим амортизацию технических средств как 9% от стоимости ТС.

$$P_A = K_{\text{ТС}} \cdot 0,09 \quad (3)$$

$$P_{A_АСУ} = 16300 \cdot 0,09 = 1467 \text{ руб.}$$

$$P_{A_СНС} = 6800 \cdot 0,09 = 612 \text{ руб.}$$

Вычисляем затраты на все виды ремонта из расчета 11 % от стоимости капитальных затрат:

$$P_P = K \cdot 0,11 \quad (4)$$

$$P_{P_АСУ} = 257813,12 \cdot 0,11 = 28359,44 \text{ руб.}$$

$$P_{P_СНС} = 97904,96 \cdot 0,11 = 10769,55 \text{ руб.}$$

Вычисляем затраты на содержание и обслуживание приборов из расчета 4 % от стоимости технических средств

$$P_O = K_{\text{ТС}} \cdot 0,04 \quad (5)$$

$$P_{O_АСУ} = 16300 \cdot 0,04 = 652 \text{ руб.}$$

$$P_{O_СНС} = 6800 \cdot 0,04 = 272 \text{ руб.}$$

Вычислим общие затраты на эксплуатацию систем

$$P_{\Sigma} = P_A + P_P + P_O \quad (6)$$

$$P_{\Sigma_АСУ} = 1467 + 28359,44 + 652 = 30478,44 \text{ руб.}$$

$$P_{\Sigma_СНС} = 612 + 10769,55 + 272 = 11653,55 \text{ руб.}$$

Затраты на приобретение ПО, обучение персонала, разработку документации не учитываем т.к. они зависят от множества факторов. Диаграмма капитальных вложений и затрат на эксплуатацию систем показана на рис. 3.

Заключение

Таким образом, если отойти от классических принципов автоматизации на основе универсальных контроллеров и SCADA-систем (Supervisory Control And Data Acquisition), можно получить значительный выигрыш в стоимости разработки, интеграции и последующем обслуживании автоматизированной системы. Переход на новый принцип не потребует серьезного переобучения специалистов классической школы автоматизации, так как описанные в работе подходы являются компиляцией существующих технологий, но применяемых в другом качестве. Упомянутые в работе технические решения (принцип Plug&Play, стандарт Ethernet, протокол TCP/IP и др.) хорошо известны интеграторам АСУ.

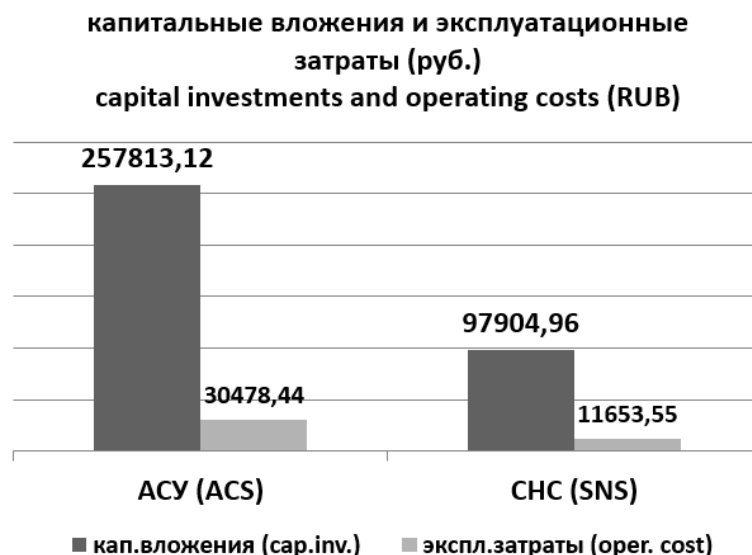


Рис. 3. Диаграмма капитальных вложений и эксплуатационных затрат классической АСУ и АСУ на основе СНС

Fig. 3. Diagram of capital investments and operating costs of classical automated control systems and automated control systems based on the SNS

Если внимательно присмотреться к функционированию нервных систем живых организмов и воспользоваться принципами, которые в них заложены для построения АСУ, то капитальные вложения на внедрение и расходы на эксплуатацию АСУ (согласно представленным в работе расчетам) можно сократить почти в 3 раза.

Список источников

1. Максимов А. А. модель управления промышленным предприятием на основе комплексной автоматизации / А. А. Максимов, А. С. Зинкевич // Программные продукты и системы. – 2005. – № 4. – С. 9. – EDN IYDEZP.
2. Павловская Т. А. Анализ автоматизации управления организацией / Т. А. Павловская, А. Е. Лашкевич // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. – 2005. – № 19. – С. 224–232. – EDN JVBECR.
3. Носов А. Л. Информационные системы в управлении организацией / А. Л. Носов // Научно-методический электронный журнал "Концепт". – 2016. – № 6. – С. 31–37. – EDN WBPOIJ.
4. Анисифоров А. Б. Методики оценки эффективности информационно-технологических проектов в бизнесе : учебное пособие / А. Б. Анисифоров, И. В. Ильин, О. В. Ростова. – Санкт-Петербург : Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого", 2018. – 127 с. – EDN IYPBMR.
5. Ситдинов И., Фархетдинов Р., Якупов Ф. Построение АСУ ТП с использованием принципа секционирования функций // Современная Электроника – 2011. – №1 – С. 54–59
6. Жердин Д.А., Дмитриев А.Г. Стоимостное преимущество физических нейронных сетей // Modern Economy Success. 2024. – № 4. – С. 44–54. DOI: 10.58224/2500-3747-2024-4-44-54
7. Rinaldi A. Naturally better. Science and technology are looking to nature's successful designs for inspiration. EMBO reports. 2007, Vol.8, No.11, p. 995–999. DOI: 10.1038/sj.embor.7401107
8. Stifani N. Motor neurons and the generation of spinal motor neuron diversity. Frontiers in Cellular Neuroscience, 2014, Vol 8., p. 1 – 22. DOI 10.3389/fncel.2014.00293
9. Пальянов А. Ю. О проблемах моделирования нейронных сетей живых организмов / А. Ю. Пальянов, Н. В. Пальянова, С. С. Хайрулин // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии. – 2012. – Т. 10, № 3. – С. 46–57. – EDN PUKLSF.

10. Истомин, Е. Н. Управление двигателем постоянного тока с использованием двухконтурного ПИД-регулятора на базе низкопроизводительных микроконтроллеров / Е. Н. Истомин, А. А. Никитин // Научные исследования в области технических и технологических систем: сборник статей Международной научно-практической конференции, Казань, 15 января 2018 года. – Казань: Общество с ограниченной ответственностью "Аэтерна", 2018. – С. 96-100. – EDN YLCBWR.

11. Кухоренко А. Н. Методика расчета экономической эффективности инвариантной системы автоматического регулирования уровня воды в барабане котла / А. Н. Кухоренко // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2015. – № 6. – С. 62-73. – EDN VJJZEB.

12. Zhalnin, D. A. To the task of controlling a group of objects on the basis of information technologies / D. A. Zhalnin // Siberian Journal of Science and Technology. – 2019. – Vol. 20, No. 2. – P. 144-152. – DOI 10.31772/2587-6066-2019-20-2-144-152. – EDN PNLXDH.

13. Богданов, Д. С. Преимущества и недостатки коммуникационных интерфейсов / Д. С. Богданов // Наука, техника и образование. – 2019. – № 4(57). – С. 56-59. – EDN EQWNDH.

14. Попова А. А, Сердечный Д. В., Корчагин С. А., Никитин П. В. /. Экономические аспекты внедрения автоматических систем управления в деятельность производственных организаций // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2023. – № 2-1. – С. 86-90. – DOI 10.17513/vaael.2696. – EDN RKJUSJ.

15. Пипченко А. Н., Пономаренко В.В., Шевченко В.А. Принципы построения и основы наладки контроллеров и систем автоматики: Учебное пособие – Одесса: ТЭС, 2010. – 592 стр.

References

1. Maksimov A. A. Model' upravleniia promyshlennym predpriatiem na osnove kompleksnoi avtomatizatsii [Industrial enterprise management model based on integrated automation]. A. A. Maksimov, A. S. Zinkevich. Programmnye produkty i sistemy [Software products and systems]. 2005;(4). P. 9. EDN IYDEZP. (In Russ.)

2. Pavlovskaya T. A., Lashkevich A. E. Analiz avtomatizatsii upravleniia organizatsiei [Analysis of organization management automation]. *Scientific and technical bulletin of the St. Petersburg state university of information technologies, mechanics and optics*. 2005;(19):224–232. EDN JVBECR. (In Russ.)

3. Nosov A. L. Informatsionnye sistemy v upravlenii organizatsiei [Information systems in organization management]. *Nauchno-metodicheskii elektronnyi zhurnal "Kontsept"* [Scientific and methodological electronic journal "Concept"]. 2016;(6):31-37. - EDN WBPOIJ. (In Russ.)

4. Anisiforov A. B., Ilyin I. V., Rostova O. V. Metodiki otsenki effektivnosti informatsionno-tekhnologicheskikh proektov v biznese : uchebnoe posobie [Methods for assessing the effectiveness of information technology projects in business: a tutorial]. St. Petersburg: Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University"; 2018. 127 p. EDN IYPBMR. (In Russ.)

5. Sitdikov I., Farkhetdinov R., Yakubov F. Postroenie ASU TP s ispol'zovaniem printsipa sektiionirovaniia funktsii [Construction of an automated process control system using the principle of function sectioning]. *Sovremennaiia Elektronika* [Modern Electronics]. 2011;(1):54–59 (In Russ.)

6. Zherdin D. A., Dmitriev A. G. Stoimostnoe preimushchestvo fizicheskikh neironnykh setei [Cost advantage of physical neural networks]. *Modern Economy Success*. 2024;(4):44–54. DOI: 10.58224.2500-3747-2024-4-44-54 (In Russ.)

7. Rinaldi A. Naturally better. Science and technology are looking to nature's successful designs for inspiration. *EMBO reports*. 2007;8(11):995–999. DOI: 10.1038.sj.embor.7401107

8. Stifani N. Motor neurons and the generation of spinal motor neuron diversity. *Frontiers in Cellular Neuroscience*. 2014;(8):1 – 22. DOI 10.3389/fncel.2014.00293

9. Palyanov A. Yu., Palyanova N. V., Khairulin S. S. O problemakh modelirovaniia neironnykh setei zhivyykh organizmov [On the problems of modeling neural networks of living organisms]. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Informatsionnye tekhnologii* [Bulletin of the Novosibirsk State University. Series: Information Technologies]. 2012;10(3):46–57. – EDN PUKLSF. (In Russ.)

10. Istomin E. N., Nikitin A. A. Upravlenie dvigatelem postoiannogo toka s ispol'zovaniem dvukhkoturnogo PID-regulatora na baze nizkoproduktivnykh mikrokontrollerov [Control of a DC motor using a dual-loop PID controller based on low-performance microcontrollers]. In: *Nauchnye issledovaniia v oblasti tekhnicheskikh i tekhnologicheskikh sistem: sbornik statei Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi*

konferentsii [Scientific research in the field of technical and technological systems: collection of articles from the International scientific and practical conference], Kazan, January 15, 2018. Kazan: Limited Liability Company "Aeterna", 2018;96-100. – EDN YLCBWR. (In Russ.)

11. Kukhorenko A. N. Metodika rascheta ekonomicheskoi effektivnosti invariantnoi sistemy avtomaticheskogo regulirovaniia urovnia vody v barabane kotla [Methodology for calculating the economic efficiency of an invariant system for automatic regulation of the water level in the boiler drum]. Energetika. Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii i energeticheskikh obedinenii [Power Engineering. News of higher educational institutions and energy associations of the CIS]. 2015;(6):62-73. – EDN VJJZEB. (In Russ.)

12. Zhalnin D. A. To the task of controlling a group of objects on the basis of information technologies. Siberian Journal of Science and Technology. 2019;20, (2):144–152. – DOI 10.31772.2587-6066-2019-20-2-144-152. – EDN PNLXDH.

13. Bogdanov D. S. Preimushchestva i nedostatki kommunikatsionnykh interfeisov [Advantages and disadvantages of communication interfaces]. Nauka, tekhnika i obrazovanie [Science, technology and education]. 2019;4 (57):56–59. – EDN EQWNDH. (In Russ.)

14. Popova A. A, Serdechny D. V., Korchagin S. A., Nikitin P. V. Ekonomicheskie aspekty vnedreniia avtomaticheskikh sistem upravleniia v deiatel'nost' proizvodstvennykh organizatsii [Economic aspects of the implementation of automatic control systems in the activities of industrial organizations]. Vestnik Altaiskoi akademii ekonomiki i prava [Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law]. 2023;2–1:86–90. – DOI 10.17513.vaael.2696. - EDN RKJUSJ. (In Russ.)

15. Pipchenko A. N., Ponomarenko V. V., Shevchenko V. A. Printsipy postroeniia i osnovy naladki kontrollerov i sistem avtomatiki [Principles of construction and basics of adjustment of controllers and automation systems]: Tutorial. Odessa: TES, 2010. 592 p. (In Russ.)

Информация об авторах

Д. А. Жердин – аспирант, кафедра «Организационного менеджмента», Московский финансово-промышленный университет «Синергия».

А. Г. Дмитриев – кандидат экономических наук, доцент, кафедра «Организационного менеджмента», Московский финансово-промышленный университет «Синергия».

Information about the authors

D. A. Zherdin – Postgraduate student, Department of Organizational Management, Management, Moscow Financial and Industrial University "Synergy".

A. G. Dmitriev – Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Department of Organizational Management, Moscow Financial and Industrial University "Synergy".

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 16.01.2025; одобрена после рецензирования 20.02.2025; принята к публикации 21.02.2025.

The article was submitted 16.01.2025; approved after reviewing 20.02.2025; accepted for publication 21.02.2025.