

УДК: 681.3, 314.1, 004.6

БРАЙЧЕВСЬКИЙ С.М., кандидат фізико-математичних наук

ЗВОРОТНІ ЗВ'ЯЗКИ В СИСТЕМАХ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ З ЕЛЕМЕНТАМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

***Анотація.** В роботі розглянуті динамічні ефекти, викликані наявністю зворотних зв'язків в системах Інтернету речей з елементами штучного інтелекту. Показано, що за певних умов система може переходити в нестійкий стан, який може характеризуватися її непередбаченою поведінкою.*

***Ключеві слова:** інформаційні технології, Інтернет речей, штучний інтелект, зворотні зв'язки.*

***Summary.** Dynamic effects caused by the presence of feedback in Internet of things systems with elements of artificial intelligence are considered in the paper. It is shown that under certain conditions a system can go into an unstable state that may be characterized by its unpredictable behavior.*

***Keywords:** information technologies, Internet of things, artificial intelligence, feedback.*

***Аннотация.** В работе рассмотрены динамические эффекты, вызванные наличием обратных связей в системах Интернета вещей с элементами искусственного интеллекта. Показано, что при определенных условиях система может переходить в неустойчивое состояние, которое может характеризоваться ее непредсказуемым поведением.*

***Ключевые слова:** информационные технологии, Интернет вещей, искусственный интеллект, обратные связи.*

Постановка проблеми. Швидкий розвиток сучасних інформаційних технологій породжує нові виклики і нові ризики, що потребують ретельного вивчення. До їх числа відносяться і проблеми правового регулювання, пов'язані з використанням Інтернету речей (далі – IoT) [1 – 6]. Вони пов'язані з наявністю (принаймні, гіпотетичною) в поведінці систем IoT елементів соціальної поведінки [2]. Оскільки питання про природу соціальних відносин між людиною та технологічною системою є досить нетривіальним, в пропонованій роботі ми не маємо наміру обговорювати його в повному обсязі.

Для нас важливо те, що сучасні технологічні системи можуть призводити до наслідків, що однозначно не впливають із їх будови та тих задач, які перед ними ставить людина. Через це людина не в змозі відповідати за них. Ці наслідки, по суті, відіграють таку ж роль, як і свідомі дії індивіда. Саме в такому розумінні ми говоримо про необхідність правового регулювання відносин людина – машина.

В попередній статті [7] ми розглянули один окремих випадок подібних ситуацій, пов'язаний з виникненням в системі резонансних явищ. В пропонованій роботі ми обговоримо більш загальні процеси, в основі яких лежать зворотні зв'язки, що можуть виникати в системах IoT.

Прості ефекти такого роду можемо спостерігати в досить широкому спектрі особливостей функціонування сучасних технологічних систем. Але значно суттєвішими вони, безперечно, можуть стати у випадку наявності в системі елементів штучного інтелекту (далі – AI) [8 – 15].

Ми покажемо, що за певних умов в таких системах IoT можуть виникати зворотні зв'язки, не передбачені їх проектувальниками. Причиною їх появи можуть бути, наприклад,

механізми саморегуляції [15 – 17] системи, викликані створенням компонентами AI додаткових алгоритмів, не передбачених розробниками системи. Можливі й інші механізми, але загальний принцип лишається тим самим.

Результати аналізу наукових публікацій. Правове регулювання в галузі використання технологічних (в тому числі інформаційних) систем саме по собі не є чимось новим. Мається на увазі правове регулювання відносин між людьми, які здійснюються за допомогою технологічних систем або у зв'язку з їх використанням.

При цьому виділяють дві основні категорії проблем:

- особливості функціонування технологічних систем як причина виникнення особливостей у додатковому правовому регулюванні;
- забезпечення захисту від наслідків нештатного функціонування технологічних систем.

Тобто суб'єктом права в будь-якому випадку є людина, а технологічна система виступає лише в ролі знаряддя в її руках. Отже, в ситуаціях, коли функціонування системи призводило до негативних наслідків, вважалось, що відповідальність за її дії несуть розробники, виробники та експлуатаційники, тобто люди.

Але сьогодні (принаймні, теоретично) розглядаються ситуації, в яких відповідальність може бути покладена саме на машину, незалежно від участі людини [2; 3]. Такий погляд на технологічні системи є принципово новим, оскільки передбачає можливість того, що їх функціонування може мати соціальні наслідки, а отже, вони самі можуть розглядатися як суб'єкти суспільних відносин. Фактично, сказане означає, що за певних умов технологічна система набуває елементи суб'єктності. На перший погляд, це суперечить загальноприйнятим уявленням про сутність технологічних систем. Адже вважається, що машина лише виконує програму, закладену в неї людиною. І разом з тим, розвиток сучасних інформаційних технологій, зокрема Інтернету речей, свідчить, що такі ситуації можливі. Якщо не вдаватися до наукової фантастики, то мова, очевидно, йде не про повноцінну суб'єктність машини, а про наявність в її функціонуванні окремих рис, характерних для справжнього суб'єкта – людини.

Вважаємо, що в рамках обраної нами теми ключовим чинником є здатність машини самостійно приймати рішення. Підкреслимо, що йдеться не про імітацію прийняття рішення, що, взагалі кажучи, на наш час не є чимось особливим (прикладом може служити комп'ютер, що грає в шахи). Ми маємо на увазі здатність машини приймати рішення, яке однозначно не визначається алгоритмом, обраними значеннями його параметрів та структурою вхідних даних. Саме така поведінка машини дає підстави говорити про її відповідальність за власні дії, що є предметом правового регулювання. Ґрунтовний аналіз правових аспектів Інтернету речей можна знайти, наприклад, в [3].

Нагадаємо, що термін “Інтернет речей” на початку означав концепцію впровадження радіочастотних міток в систему керування логістичними ланцюжками [4; 5]. З часом під IoT почали розуміти концепцію обчислювальної мережі фізичних предметів (“речей”), оснащених вбудованими технологіями для їх взаємодії одне з одним або з оточуючим середовищем [6]. Головна ідея полягала в тому, що використання таких мереж дозволить (принаймні, частково) виключити участь людини. На наш час переважає розуміння IoT як сукупності технічних систем і комплексів, що взаємодіють між собою через мережу Інтернет [1; 3]. Вважається, що концепція IoT в практичній реалізації має як технологічні, так і соціальні наслідки [2].

Важливим аспектом створення та використання систем Інтернету речей є перспектива включення в них елементів штучного інтелекту.

Тема AI є надзвичайно поширеною в сучасній літературі. Але далеко не завжди границя між наукою та науковою фантастикою (бунт машин тощо) є достатньо чіткою. На жаль, далеко не все, що пишуть, має відношення до реальності. Можливо, багато з усього цього з часом, внаслідок подальшого розвитку технологій, буде втілено в дійсність. Але сьогодні, говорячи про інформаційні технології, слід обмежитися більш прозаїчними уявленнями.

Найбільш загальним визначенням цього поняття є, напевно, те, яке пропонує Вікіпедія [8]: штучний інтелект – це розділ комп'ютерної лінгвістики та інформатики, що опікується формалізацією проблем та завдань, які подібні до дій, які виконує людина.

Зауважимо принциповий момент, надзвичайно важливий для адекватного розуміння AI: ключовим є те, що штучний інтелект здатний до дій, подібних до тих, що виконує людина. Це означає, що для кваліфікації пристрою як системи AI не потрібно вимагати від нього (від її розробників) моделювання вищої нервової діяльності людини. Той самий ефект може досягатись цілком прозаїчними методами обчислювальної техніки.

Наведемо ще два способи розуміння AI, які будуть нам корисні в рамках даної роботи. Перше: штучний інтелект – це розробка агентів, які є гнучкими і здатні адаптуватися до різних ситуацій, які раніше не були відомі і не вивчалися через досвід, досягаючи мети.

Друге: штучний інтелект оцінюється загальною здатністю агента досягати мети в широкому діапазоні середовищ [13].

Для нас суттєво в першу чергу те, що елементи AI можуть використовуватися в системах IoT як базові в плані створення керуючих підсистем. З практичної точки зору, елементи AI в IoT мають сенс в першу чергу саме в плані систем керування. Причина полягає в тому, що сама природа систем Інтернету речей передбачає, що вони повинні самостійно приймати рішення. Інакше відмінність між системою IoT і холодильником матиме виключно кількісний характер. І можливість системи (що практично реалізується в процесі експлуатації) самостійно приймати рішення створює основу для постановки проблеми правових аспектів її функціонування.

Нижче ми проаналізуємо одну з таких можливостей, зумовлену наявністю в системах IoT з елементами AI зворотніх зв'язків.

Метою статті є визначення динамічних ефектів в поведінці систем Інтернету речей, які зумовлені наявністю в процесах обробки вхідних даних зворотніх зв'язків, породжених присутніми в них елементами штучного інтелекту.

Виклад основного матеріалу. Нижче ми проаналізуємо вплив зворотніх зв'язків в системах IoT з елементами AI.

На рівні технологічної реалізації IoT є набором датчиків, що фіксують задані параметри навколишнього середовища, та пристроїв, що обробляють вхідні дані, отримані від датчиків. Для нас суттєво, що обмін даними здійснюється за допомогою мережі Інтернет. Метою створення такої системи є виключення безпосередньої участі людини принаймні в частині функціональних можливостей системи. Це, в свою чергу означає, що система IoT повинна на основі обробки отриманих вхідних даних приймати рішення, результатом яких буде реальний вплив на оточуюче середовище. Зрозуміло, що в тих випадках, коли прийняті рішення неадекватні фактичній ситуації, наслідки роботи системи можуть бути вкрай негативними.

Важливим є питання про можливі причини виникнення таких ситуацій. У випадку звичайних систем IoT (тобто таких, що не містять елементів AI) стандартними вважаються чинники, що утворюють три групи:

- помилки алгоритмів програмного комплексу;

- помилкові вхідні дані;
- невідповідні значення параметрів роботи алгоритмів, які встановлюють експлуатаційники в процесі налаштування системи в конкретних умовах.

Якщо ж система містить елементи штучного інтелекту, до них додається ще група чинників, які ми обговоримо нижче.

В рамках нашого аналізу одним із ключових є поняття нелінійної системи. Стислий огляд цього питання стосовно нашої проблеми міститься в [7], тому не будемо повторювати основні положення. Нам потрібно лише розуміння того, що Інтернет речей є, взагалі кажучи, нелінійною системою. Принаймні, нелінійними є ті системи IoT, рівень складності яких дає підстави говорити про неї в контексті суспільних відносин.

Якщо система є лінійною, то незначні відхилення в кожній з груп ведуть до незначних відхилень в поведінці системи як такої. Отже, по-перше, при правильному налаштуванні не виникатиме позаштатних ситуацій, а, по-друге, якщо такі ситуації й виникатимуть, вони не матимуть помітних наслідків. Важливо те, що поведінка лінійної системи прогнозована. Дійсно, знаючи використовувані алгоритми та конкретні значення параметрів, ми можемо покроково пройти весь тракт системи і визначити критичні точки, в яких можуть виникати збої. Тому відповідальність за негативні наслідки функціонування системи лежить на проектувальниках, виробниках та експлуатаційниках.

Але можуть виникати інші ситуації, в яких поведінка системи стає непрогнозованою, і не існує способу визначити, коли і за рахунок чого відбувся збій. Єдине, що нам доступне – гіпотетично припустити можливість подібної поведінки. В таких випадках має сенс говорити про “відповідальність” машини.

Ця особливість систем IoT на рівні звичайних технологій розглядалася в [7] на прикладі окремого випадку ситуації, яка має ознаки параметричного резонансу. Ми бачили, що стандартна процедура циклічного опрацювання вхідних даних нелінійною системою може призводити до непрогнозованої поведінки. Але в таких ситуаціях можливо принаймні припустити, що саме здатна зробити система в тих чи інших умовах. Ми можемо побудувати набір можливих сценаріїв її поведінки, хоча й не знаємо, який із них матиме місце в процесі її експлуатації.

Стан справ докорінно міняється, якщо в системі присутній елемент штучного інтелекту. Тоді поведінка системи може стати непрогнозованою на зовсім іншому рівні, при чому відмінність є не лише кількісною, але й якісною. Причина полягає в тому, що компоненти з елементами AI створюються саме для того, щоб система була здатна приймати самостійні рішення. А такі рішення заздалегідь не відомі – в протилежному випадку дії машини цілком визначаються закладеними в неї алгоритмами, а отже, немає підстав говорити про штучний інтелект. Штучний інтелект потрібний для того, щоб хоча б частково виключити необхідність застосування інтелекту людини. А це означає, що система з AI може поводити себе інакше, ніж конкретна людина. Так саме, як дві різні людини в тих самих умовах приймають різні рішення. І тому кожна людина відповідає за власні рішення. В цьому плані границя між людиною і машиною справді стирається.

Сказане зовсім не означає, що машина здатна робити щось грандіозне і неймовірне (з нашої точки зору), щось таке, що може призвести до вселенської катастрофа. Дії можуть бути надзвичайно простими і буденними, але, разом з тим, і такими, що впливають на наше життя. Наприклад, машина може сама вирішувати, як змінювати температуру приміщення – нагрівати, чи охолоджувати. Якщо така система просто порівнює покази термодатчика з граничними значеннями, і залежно від результату вмикає нагріваючий або охолоджуючий пристрій, її поведінка в стандартних умовах визначається закладеною програмою. Ми знаємо, як система повинна діяти при заданій температурі.

У разі, коли вона діє не так, як передбачено, ми вважаємо, що має місце помилка, і шукаємо її. А знайшовши, виправляємо. Помилка може бути в механічній частині, в датчику, в програмному комплексі, та вона існує.

Але якщо між термодатчиком і пристроями зміни температури знаходиться програмний блок з елементами AI, ситуація докорінно змінюється. Тепер машина в певному розумінні сама вирішує, холодно в приміщенні чи жарко. І якщо її рішення не співпаде з нашим, це зовсім не обов'язково означатиме наявність помилки. Просто машина так вважає – адже ми її саме з цією метою і створили. Створюючи штучний інтелект, ми очікуємо від нього самостійної поведінки, і повинні розуміти, що ця поведінка може нам не сподобатися. Принциповим моментом є те, що в таких ситуаціях, взагалі кажучи, неможливо виправити машину. Вони діє правильно, в повній відповідності з задумом розробників. Так само, ми не можемо вважати помилковою поведінку людини, яка скаржиться, що їй холодно і просить вас закрити вікно, хоча вам жарко.

Існує багато причин для виникнення таких ситуацій. В даній роботі ми розглянемо одну групу причин, обумовлених наявністю в системі зворотних зв'язків.

Зворотні зв'язки є основою кібернетики та одним із ключових понять теорії систем [18; 20]. На загальному рівні зворотнім зв'язком називають вплив результатів деякого керованого процесу на його протікання. Повна теорія зворотних зв'язків досить складна і далеко виходить за межі нашої теми. Тому ми не будемо торкатися математичних питань, обмежившись лише загальними уявленнями.

В найпростішій реалізації зворотній зв'язок полягає в тому, що на вхід деякого пристрою подається сигнал, який є функцією його вихідного сигналу. Зворотні зв'язки можуть застосовуватись з різними цілями, але головне їх призначення полягає в забезпеченні можливості змінювати режим роботи пристрою залежно від змін вихідного сигналу. Відповідно існує два види зворотних зв'язків: додатні і від'ємні. Додатні зворотні зв'язки посилюють зміну вихідного сигналу, а від'ємні – змінюють вихідний сигнал так, щоб протидіяти його зміні.

Від'ємні зворотні зв'язки використовуються як стабілізуючі елементи системи, які забезпечують (наскільки це можливо) стабільність її роботи. Додатні зворотні зв'язки здебільшого використовують як генератори.

В будь-якому випадку, блок, в якому реалізовано зворотній зв'язок, в своїй структурі містить аналізатор вихідного сигналу. Залежно від результатів цього аналізу та заданої програми він приймає те чи інше рішення, яке впливає на величину вихідного сигналу. Якщо аналізатор фіксує зміну величини вихідного сигналу, він, залежно від поставленої задачі, або посилюється, або послаблюється. При чому пристрій може працювати в обох напрямках. Тобто, блок, що містить зворотні зв'язки, може не лише стабілізувати роботу системи, але й переводити її з одного режиму в інший. Тому зворотні зв'язки є основним інструментальним засобом автоматичного керування системами [21].

Наявність від'ємних зворотних зв'язків стабілізує стан системи і, за певних умов, підтримує її в гомеостатичному стані. Нагадаємо, що гомеостатом називають самоорганізовану систему, яка протягом необмеженого часу підтримує значення певного набору своїх параметрів в межах заданого інтервалу значень. Ідеальною реалізацією самокерованої системи є гомеостат. Слід також зазначити, що гомеостат підтримує сталими не всі свої параметри. Тому він може за потреби переходити з одного режиму в інший, а також еволюціонувати. Прикладом такої еволюції може служити процес самонавчання нейронних мереж [22].

У випадку наявності в системі додатних зворотних зв'язків робить ситуацію значно складнішою. Головна їх особливість полягає в тому, що вони пришвидшують реакцію системи на зміну вхідного сигналу. Але це може мати різні наслідки. Якщо додатні зворотні зв'язки не вбудовані в систему з певною метою, виникає тенденція до її переходу в нестійкий стан. Нагадаємо, що нестійким називають стан системи, який може змінюватися без зміни вхідного сигналу.

Саме можливість переходу системи в нестійкий стан є тим критичним моментом, який становить предмет пропонованої роботи. Перебування системи в нестійкому стані становить одну з головних загроз в плані використання її для потреб суспільства. Дійсно, зміна поведінки системи, що не залежить від зміни вхідного сигналу, може мати серйозні (в тому числі негативні) наслідки, які неможливо передбачити. Нестійкий стан системи в певному розумінні може моделювати властивість людини, яку філософи називають спонтанністю суб'єкта. Машина виявляється спроможною діяти несподівано і не прогнозовано, відповідно до власного "розуміння ситуації". Так само, як це може робити людина. Звичайно, механізми можуть бути різними, але з феноменологічної точки зору (тобто в плані спостереження за фактичними результатами функціонування системи) поведінка машини і людини стає подібною.

Зворотні зв'язки можуть міститись в різних компонентах системи. Основними є два варіанти:

- зворотні зв'язки в конструктивній частині;
- зворотні зв'язки в програмній частині.

В першому варіанті роль зворотних зв'язків більш чи менш контрольована, оскільки розробник має справу з технічними (матеріальними) засобами, які повністю доступні спостереженню

В другому варіанті функціонування зворотних зв'язків є менш очевидним. Дійсно, простежити роботу всіх блоків складного (і за обсягом, і за структурою) програмного комплексу і протестувати його в усіх можливих ситуаціях становить надзвичайно складну задачу. І ця обставина має для нас ключове значення.

Якщо додатні зворотні зв'язки закладені в структуру системи, імовірність її непрогнозованого переходу в нестійкий стан є достатньо мала. Перехід в нестійкий стан можливий, але ми, принаймні в загальних контурах, уявляємо собі як саме. Але ситуація докорінно змінюється за умови наявності в системі штучного інтелекту. Головна причина цього полягає в тому, такі системи в тій чи іншій формі передбачають процес самонавчання. Самонавчання системи спрямоване на забезпечення можливості самостійної (без участі людини) корекції нею характеру власного функціонування. Іншими словами, система сама вдосконалює себе, в тому числі і в плані прийняття рішень. Це, в свою чергу, означає, що система з елементами AI самостійно змінює характер керування процесами, для контролю за якими вона створена.

Одним з найбільш критичних механізмів є розробка системою додаткових алгоритмів, не передбачених розробником. Вважається, що це покращує роботу системи. Але немає певності, що саме ці додаткові алгоритми можуть містити в собі непередбачені зворотні зв'язки, які можуть за певних умов переводити систему в нестійкий стан з усіма відповідними наслідками.

Висновки.

Отже, ми бачимо, що за певних умов характер функціонування системи Інтернету речей з елементами штучного інтелекту може породжувати специфічні динамічні ефекти, зумовлені наявністю в ній зворотних зв'язків. Ці ефекти виникають за рахунок наявності додатних зворотних зв'язків, які зумовлюють перехід системи в нестійкий

стан. В такому стані система виявляється здатною до спонтанних дій, подібних до дій людини.

Таким чином, інформаційно-технологічні можливості системи IoT з елементами AI можуть зумовити її функціонування, що значною мірою моделює власну поведінку. Під власною поведінкою системи ми розуміємо здатність виконувати дії, які не визначаються однозначно її технологічними властивостями. Ця поведінка не впливає з алгоритмів, від початку закладених в систему при її розробці та створенні. Оскільки системи IoT безпосередньо впливають на перебіг подій в реальних ситуаціях, маємо підстави вважати описані вище явища такими, що містять в собі елемент суспільних відносин. Маємо на увазі, що функціонування технологічних систем в сучасному світі може виходити за рамки однозначного виконання команд людини, і, тим самим, стає елементом суспільних процесів.

Тому, враховуючи можливі негативні для суспільства наслідки, вона може сприйматися як суб'єкт соціальних відносин і підлягати правовому регулюванню. Наприклад, у випадку явної загрози для суспільства, така система може бути демонтована за рішенням суду.

Використана література

1. Баранов А.А. Интернет вещей и искусственный интеллект: истоки проблемы правового регулирования: збірник матеріалів II-ї Міжнародної науково-практичної конференції *IT-право: проблеми та перспективи розвитку в Україні*, м. Львів, 17 лист. 2017 р. Львів: НУ “Львівська політехніка”, 2017. 318 с. С. 18-42.
2. Рекомендации МСЭ-Т У.2060 (06/2012). Серия У: Глобальная информационная инфраструктура, аспекты протокола Интернет и сети последующих поколений. Сети последующих поколений – структура и функциональные модели архитектуры. Обзор Интернета вещей. URL: <http://handle.itu.int/11.1002/1000/11559>
3. Баранов О.А. “Интернет речей” як правовий термін. *Юридична Україна*. 2016. № 5 – 6. С. 96-103. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/urykr_2016_5-6_16.pdf
4. Леонид Черняк. Платформа Интернета вещей (рус.). *Открытые системы. СУБД*. 2012. № 7. URL: <https://www.osp.ru/os/2012/07/13017643>
5. Kevin Ashton. That ‘Internet of Things’ Thing. In the real world, things matter more than ideas. (англ.). *RFID Journal* (22 June 2009). URL: <http://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>
6. Internet Of Things (англ.). Gartner IT glossary. Gartner (5 May 2012). “The Internet of Things is the network of physical objects that contain embedded technology to communicate and sense or interact with their internal states or the external environment”. URL: <https://www.gartner.com/it-glossary/internet-of-things/>
7. Брайчевський С.М. Резонансні явища в системах Інтернету речей. *Інформація і право*. № 1(28)/2019. С. 68-73. URL: <http://ippi.org.ua/braichevskii-sm-rezonansni-yavishcha-v-sistemakh-internetu-rechei-st-68-73>
8. Штучний інтелект. Вікіпедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A8%D1%82%D1%83%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D1%96%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82
9. Artificial intelligence. English Oxford Dictionaries. URL: https://en.oxforddictionaries.com/definition/artificial_intelligence
10. Agnese Smith. Artificial intelligence. 2015. URL: <http://nationalmagazine.ca/Articles/Fall-Issue-2015/Artificial-intelligence.aspx>

11. Artificial Intelligence: A Rising Star of Mobile Technology. 05 Oct 2016. URL: https://blog.intuz.com/artificial-intelligence-a-rising-star-of-mobile-technology/?utm_campaign=AI&utm_medium=Quora-ans&utm_source=Quora

12. João Paulo A. Lenardon. The regulation of artificial intelligence. Tilburg. Tilburg University. 2017. URL: <http://arno.uvt.nl/show.cgi?fid=142832>

13. Shane Legg and Marcus Hutter. A Formal Definition of Intelligence for Artificial Systems. URL: http://www.vetta.org/documents/universal_intelligence_abstract_ai50.pdf

14. Nick Bostrom. How long before superintelligence? Oxfrord Future of Humanity Institute. University of Oxford. Originally published in Int. Jour. of Future Studies. 1998. Vol. 2. URL: <https://nickbostrom.com/superintelligence.html>

15. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. Москва: Мир, 1979. 512 с.

16. Хакен Г. Синергетика. Иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах / пер. с англ. Москва, 1985.

17. Малинецкий Г.Г. Математические основы синергетики: хаос, структуры, вычислительный эксперимент. Москва: Либроком, 2009. 312 с.

18. Винер Н. Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине. Москва: Наука. 1983. 344 с. URL: <http://grachev62.narod.ru/cybern/contents.htm>

19. Берталанфи Л. фон. Общая теория систем – обзор проблем и результатов. *Системные исследования. Ежегодник*. Москва: Наука, 1969. С. 30-54. URL: http://grachev62.narod.ru/bertalanffy/bertalanffy_2.html

20. Боулдинг К. Общая теория систем – скелет науки. Москва: Наука, 1969

21. Бутковский А.Г. Теория оптимального управления системами с распределенными параметрами. Москва: Наука, 1965.

22. Горбань А.Н. Обучение нейронных сетей. Москва: СССР-США СП “Параграф”. 1990. 160 с. URL: <https://lib-bkm.ru/13814>

~~~~~ \* \* \* ~~~~~