

# СКЛАДАНА СЪЩ ПАТЛУМАЧАНАЯ

*#СкладанасъщПатлумачаная*  
*#ComplexityExplained*

---

# ЗЬМЕСТ

<b>1</b>	Узаемадзеянні	4
<b>2</b>	Эмерджэнтнасць	6
<b>3</b>	Дынаміка	8
<b>4</b>	Самаарганізацыя	10
<b>5</b>	Адаптацыя	12
<b>6</b>	Міждысцыплінарнасць	14
<b>7</b>	Мэтады	16



# СКЛАДАНАСЬЦЬ ПАТЛУМАЧАНАЯ

*“Няма каханья ў атаме вугляроду,  
урагану ў малекуле вады,  
фінансавага каляпсу ў даляравай банкноце.”  
– Пітэр Додс*

Навука пра складанасьць, таксама вядомая як навука аб складаных сыстэмах, дасьледуе якім чынам вялікая сукупнасьць кампанэнтаў з лякальнымі ўзаемадзеяньнямі паміж імі на меншых маштабах можа дэманстраваць спантанную самаарганізацыю на большых маштабах. Гэтая самаарганізацыя вядзе да ўзнікненьня нетрывіяльных глябальных структураў ды паводзінаў сыстэмы і часта адбываецца бяз вонкавага ўмяшаньня ды ва ўмовах адсутнасьці ў сыстэме цэнтральнага кіраванья ці лідараў. Уласьцівасьці гэтай сукупнасьці немагчыма зразумець ці прадказаць з аднаго толькі поўнага веданья яе складнікаў. Такая сукупнасьць завецца складанай сыстэмай, і яе дасьледаваньне патрабуе новага матэматычнага апарату і новых навуковых мэтадалёгіяў.

Вось некалькі рэчаў якія Вам варта ведаць пра складанья сыстэмы.



# УЗАЕМАДЗЕЯНЬНІ

СКЛАДАНЫЯ СЫСТЭМЫ ЎТВОРАНЫЯ З МНОСТВА КАМПАНЭНТАЎ, ЯКІЯ ЎЗАЕМАДЗЕЙНІЧАЮЦЬ АДНО З АДНЫМ І СА СВАІМ НАВАКОЛЬЛЕМ РОЗНЫМІ ЧЫНАМІ.



*“Кожны аб’ект які дасьледуе біялёгія  
- гэта сыстэма сыстэмаў.”  
- Франсуа Жакоб*

Складаныя сыстэмы часта характарызуюцца наяўнасьцю вялікай колькасьці кампанэнтаў, якія ўзаемадзейнічаюць рознымі чынамі адно з адным ды патэнцыйна таксама са сваім навакольлем. Гэтыя кампанэнты фармуюць сеткі ўзаемадзеяньняў, якія часам складаюцца ўсяго з некалькіх уцягнутых у шматлікія ўзаемадзеяньні кампанэнтаў. Узаемадзеяньні могуць ствараць новую інфармацыю, якая ўскладняе вывучэньне ізаляваных кампанэнтаў паасобку ці дакладны прагноз іх будучыні. Да таго ж, кампанэнты сыстэмы могуць самі быць паўнаважаснымі новымі сыстэмамі, утвараючы такім чынам сыстэму сыстэмаў, узаемазалежных адна ад адной. Галоўны выклік навукі пра складанасьць у тым, каб ня толькі ўбачыць часткі ды іх сувязі, але таксама зразумець, як гэтыя сувязі вядуць да цэлага.

## ПРЫКЛАДЫ:

- Мільярды нэўронаў у мозгу чалавека, што ўзаемадзейнічаюць паміж сабою
- Кампутары, што абменьваюцца дадзенымі праз Інтэрнэт
- Людзі ў разнастайных і рознабаковых адносінах

## ДАТЫЧНЫЯ ПАНЯЦЦІ:

Сыстэма, кампанэнт, узаемадзеянні, сетка, структура, неаднароднасьць, узаемадатычнасьць, узаемаспалучанасьць, узаемазалежнасьць, падсыстэмы, межы, навакольле, адкрытыя/закрытыя сыстэмы, сыстэмы сыстэмаў.

## СПАСЫЛКІ:

Mitchell, Melanie.

*Complexity: A Guided Tour*

[Складанасьць: тур зь гідам].

Oxford University Press, 2009.

Capra, Fritjof and Luisi, Pier Luigi.

*The Systems View of Life: A Unifying Vision*

[Жыцьцё з гледзішча сыстэмаў:

аб'яднальнае бачаньне].

Cambridge University Press, 2016.



# ЭМЕРДЖЭНТНАСЬЦЬ

УЛАСЬЦІВАСЬЦІ СКЛАДАНАЙ СЫСТЭМЫ  
ЯК ЦЭЛАГА ВЕЛЬМІ АДРОЗНІВАЮЦЦА  
(І ЧАСТА НЕЧАКАНЫМ ЧЫНАМ)  
АД УЛАСЬЦІВАСЬЦЯЎ ЯЕ АСОБНЫХ  
КАМПАНЭНТАЎ.

---

*“Вам не патрэбна нешта большае  
каб атрымаць нешта большае. Вось  
што значыць эмерджэнтнасьць.”  
- Мюрэй Гел-Ман*

У простых сыстэмах уласьцівасьці цэлага можна зразумець або прадказаць праз складаньне ці агрэгацыю яго кампанэнтаў. Інакш кажучы, макраскапічныя ўласьцівасьці простаі сыстэмы можна вывесці з мікраскапічных уласьцівасьцяў яе частак. У складаных сыстэмах, аднак, уласьцівасьці цэлага часта немагчыма зразумець ці прадказаць зь веданьня яго кампанэнтаў дзеля зьявы, вядомай як “эмерджэнтнасьць”.

Фэномэн эмерджэнтнасьці зьвязаны з разнастайнымі мэханізмамі, праз якія ўзаемадзеяньне паміж кампанэнтамі сыстэмы стварае новую інфармацыю ды спрычыняецца да зьяўленьня нетрывіяльных калектыўных структураў ды паводзінаў на большых маштабах. Гэты факт звычайна падсумоўваюць папулярнай фразай “цэлае большае за суму яго частак”.

## ПРЫКЛАДЫ:

- Вялікая колькасьць малекулаў паветра ды пару ўтварае тарнада
- Шмат вузаў складаюць жывы арганізм
- Мільярды нэўронаў у мозгу спараджаюць сьвядомасьць і розум

## ДАТЫЧНЫЯ ПАНЯЦЦІ:

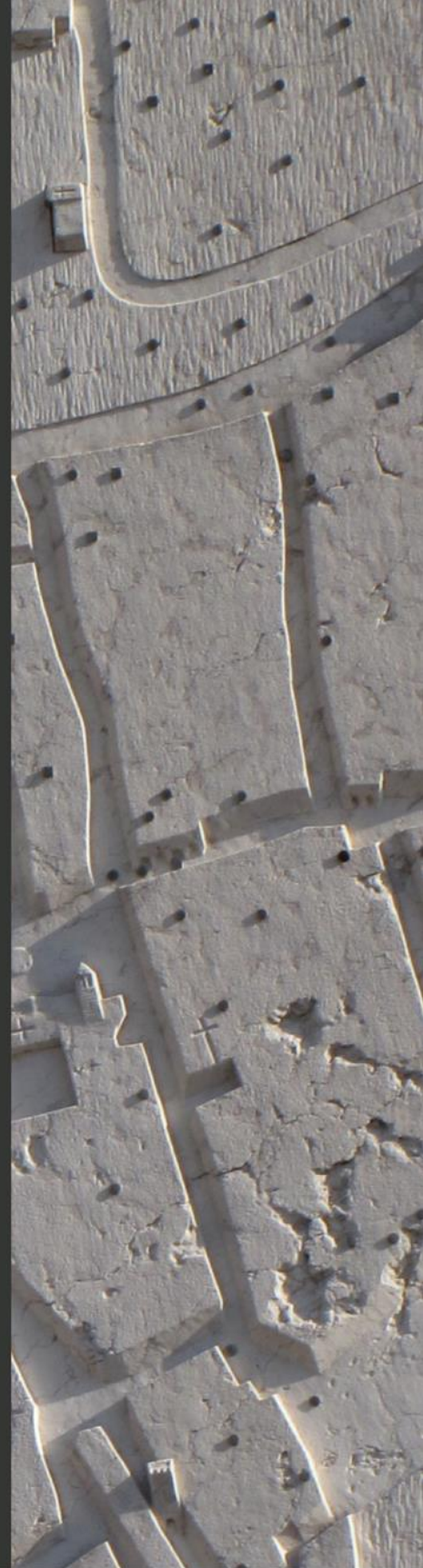
Эмерджэнтнасьць, маштабы, нелінейнасьць, знізу-ўверх, апісаньне, нечаканасьць, ускосныя эфэкты, неінтуіцыйнасьць, фазавы пераход, нязводнасьць, парушэньне традыцыйнага лінейнага/статыстычнага мысьленьня, “цэлае большае за суму яго частак”.

## СПАСЫЛКІ:

Bar-Yam, Yaneeer.  
Dynamics of Complex Systems  
[Дынаміка складаных сыстэмаў]  
Addison-Wesley, 1997.

Ball, Philip.  
Critical Mass: How One Thing Leads to Another  
[Крытычная маса: як адно вядзе да іншага].  
Macmillan, 2004.

# ЭМЕРДЖЭНТНАСЬЦЬ 2



# ДЫНАМІКА

СКЛАДАНЫЯ СЫСТЭМЫ ЗВЫЧАЙНА  
ЗЬМЯНЯЮЦЬ СВОЙ СТАН ДЫНАМІЧНА,  
ЧАСТА ДЭМАНСТРУЮЧЫ  
НЕПРАДКАЗАЛЬНЫЯ ДОЎГАТЭРМІНОВЫЯ  
ПАВОДЗІНЫ.

*“Хаос: Калі сучаснасьць вызначае  
будучыню, але прыблізная сучаснасьць  
яе прыблізна вызначыць ня можа.”*

*- Эдвард Лорэнц*

Сыстэмы можна аналізаваць праз разгляд зьменаў іх станаў з цягам часу. Стан сыстэмы апісваецца такімі наборамі зьменных велічыняў, што найлепш характарызуюць сыстэму.

Адпаведна таму як сыстэма пераходзіць з аднаго стану ў іншы, велічыні, што апісваюць гэты стан, таксама зьмяняюцца, часьцяком рэагуючы на навакольле сыстэмы.

Гэтыя зьмены завуцца лінейнымі, калі яны проста прапарцыянальныя часу, бягучаму стану сыстэмы або зьменам у навакольлі, ці нелінейнымі, калі такой прапарцыянальнасьці няма.

Складаныя сыстэмы – тыповы прыклад нелінейных сыстэмаў, бо яны зьмяняюцца з рознымі хуткасьцямі ў залежнасьці ад сваіх станаў ды навакольнага.

Таксама, яны могуць мець устойлівыя станы, у якіх яны здольныя заставацца бяз зьменаў нават ва ўмовах абурэньняў, ды няўстойлівыя станы, у якіх сыстэмы могуць перайначвацца нават праз нязначнае ўздзеяньне.

У асобных выпадках невялікія зьмены навакольнага могуць цалкам пераменьваць паводзіны сыстэмы. У такіх выпадках кажуць пра біфуркацыі, фазавыя пераходы ці “пераломныя моманты”.



Некаторыя сыстэмы зьяўляюцца “хаатычнымі” – гэта значыць, што яны надзвычай успрымальныя да невялікіх абурэньняў ды непрадказальныя на доўгі тэрмін, дэманструючы так званы “эфэкт матылька”. Складаная сыстэма таксама можа быць “залежнай ад пуці”: будучы стан такой сыстэмы залежыць ня толькі ад яе бягучага стану, але таксама ад яе мінулай гісторыі.

### **ПРЫКЛАДЫ:**

- Надвор’е пастаянна зьмяняецца непрадказальным чынам
- Фінансавая валятыльнасьць на фондавым рынку

### **ДАТЫЧНЫЯ ПАНЯЦЦІ:**

Дынаміка, паводзіны, нелінейнасьць, хаос, нераўнаважнасьць, успрымальнасьць, эфэкт матылька, біфуркацыя, доўгатэрміновая непрадказальнасьць, нявызначанасьць, залежнасьць ад пуці/кантэксту, неэргадычнасьць.

### **СПАСЫЛКІ:**

Strogatz, Steven H.  
Nonlinear Dynamics and Chaos  
[Нелінейная дынаміка і хаос].  
CRC Press, 1994.

Gleick, James.  
Chaos: Making a New Science  
[Хаос: стварэньне новай навукі].  
Open Road Media, 2011.



# САМААРГАНІЗАЦЫЯ

СКЛАДАНЫЯ СЫСТЭМЫ МОГУЦЬ  
САМААРГАНІЗОЎВАЦЦА І ВЫТВАРАЦЬ  
НЕТРЫВІЯЛЬНЫЯ ПАТЭРНЫ СПАНТАННА  
І БЯЗ ЗАГАДЗЯ ЗАКЛАДЗЕНАГА ДЫЗАЙНУ.

---



*“Прапануецца, што сыстэма хімічных рэчываў,  
званых марфагенамі,  
якія рэагуюць адно з адным  
і дыфундуюць праз тканку,  
ёсць адэкватным тлумачэньнем  
галоўных фэномэнаў марфагенэзу.”  
- Элан Т'юрынг*

Узаемадзеяньні паміж кампанэнтамі складанай сыстэмы могуць прыводзіць да ўзнікненьня глябальных патэрнаў ці паводзінаў. Такая зьява часта апісваецца як самаарганізацыя, паколькі ніякага цэнтральнага ці зьнешняга кіраваньня гэтым працэсам няма.

Замест гэтага “кіраваньне” ў сыстэме што самаарганізуецца размеркаванае паміж яе кампанэнтамі ды інтэгруецца праз іх узаемадзеяньні. Самаарганізацыя можа вытвараць фізічныя/функцыянальныя патэрны накшталт крышталічных структураў матэрыялаў і марфалёгіі жывых організамаў, ці дынамічныя/інфармацыйныя працэсы, такія як, напрыклад, зграйныя паводзіны рыб і распаўсюджваньне электрычных імпульсаў у цягліцах жывёлаў.

Адпаведна таму як сыстэма праз гэты працэс робіцца больш арганізаванай, могуць зьявіцца новыя патэрны ўзаемадзеяньняў, што патэнцыйна вядзе да вытварэньня яшчэ большай складанасьці.

У асобных выпадках складанія сыстэмы могуць самаарганізоўвацца ў “крытычны” стан, які існуе толькі ў вытанчаным баянсе паміж выпадковасьцю і рэгулярнасьцю.

Структуры, што ўзнікаюць у такіх самаарганізаваных крытычных станах, часта дэманструюць розныя адмысловыя ўласцівасці, такія як самападабенства ды ступеневыя законы размеркаваньня сваіх характарыстык.

### **ПРЫКЛАДЫ:**

- Асобная заплодкавая вуза зазнае шмат актаў дзяленьня ды ў рэшце рэшт самаарганізуецца ў складаную форму арганізму
- Гарады растуць па меры таго як яны прыцягваюць больш людзей ды грошай
- Вялікая папуляцыя шпакоў дэманструе складаныя зграйныя патэрны

### **ДАТЫЧНЫЯ ПАНЯЦЦІ:**

Самаарганізацыя, калектыўныя паводзіны, рой, патэрны, прастора і час, парадак з непарадку, крытычнасьць, самападабенства, перарывістыя чэргі / усплёскі актыўнасьці, самаарганізаваная крытычнасьць, ступеневыя законы, размеркаваньні з цяжкімі хвастамі, марфагенэз, дэцэнтралізаванае / размеркаванае кіраваньне, кіраваная самаарганізацыя.

### **СПАСЫЛКІ:**

Ball, Philip.  
The Self-Made Tapestry: Pattern Formation in Nature [Габэлен, што зрабіў сябе сам: фармаваньне патэрнаў у прыродзе].  
Oxford University Press, 1999.

Camazine, Scott, et al.  
Self-Organization in Biological Systems [Самаарганізацыя ў біялягічных сыстэмах].  
Princeton University Press, 2003



# **САМААРГАНІЗАЦЫЯ 4**



# АДАПТАЦЫЯ

СКЛАДАНЫЯ СЫСТЭМЫ МОГУЦЬ  
АДАПТАВАЦЦА І ЭВАЛЮЦЫЯНАВАЦЬ.

---

“Нішто ў біялёгіі ня мае сэнсу  
акрамя як у сьвятле эвалюцыі.”

- Феадосій Дабржанскі

Замест таго каб проста рухацца да стацыянарнага стану, складаныя сыстэмы часта праяўляюць актыўнасьць і рэагуюць на сваё наваколле. Гэта можна параўнаць з розніцай паміж мячыкам, які проста скатваецца з узгорку ды спыняецца, і птушкай, якая адаптуецца да паветраных патокаў падчас лёту. Гэтая адаптацыя можа адбывацца на шматлікіх маштабах: кагнітыўным (праз навучаньне ды псыхалягічнае развіцьцё), сацыяльным (праз абмен інфармацыяй у сацыяльных стасунках), ці нават эвалюцыйным (праз генэтычную зьменлівасьць ды натуральны адбор).

Калі кампанэнты пашкодзаныя ці выдаленыя, гэтыя сыстэмы часта здольныя адаптавацца ды аднавіць сваю былую функцыянальнасьць, і ў некаторых выпадках яны робяцца нават лепшымі чым раней. Гэта можа быць дасягнута праз трываласьць (здольнасьць супрацьстаяць абурэньням), устойлівасьць (здольнасьць вяртацца ў зыходны стан апасля вялікага абурэньня), ці адаптацыю (здольнасьць зьмяняць самую сыстэму каб забяспечыць яе функцыянальнасьць ды выжываньне). Складаныя сыстэмы з гэтымі ўласьцівасьцямі завуцца складанымі адаптыўнымі сыстэмамі.

## ПРЫКЛАДЫ:

- Імунная сыстэма няспынна вивучае новыя патагены
- Калёнія тэрмітаў, якая рамантуе нанесеныя свайму насыпу пашкодваньні
- Жыцьцё на Зямлі перажыла шматлікія крызісныя падзеі за мільярды гадоў сваёй гісторыі

## ДАТЫЧНЫЯ ПАНЯЦЬЦІ:

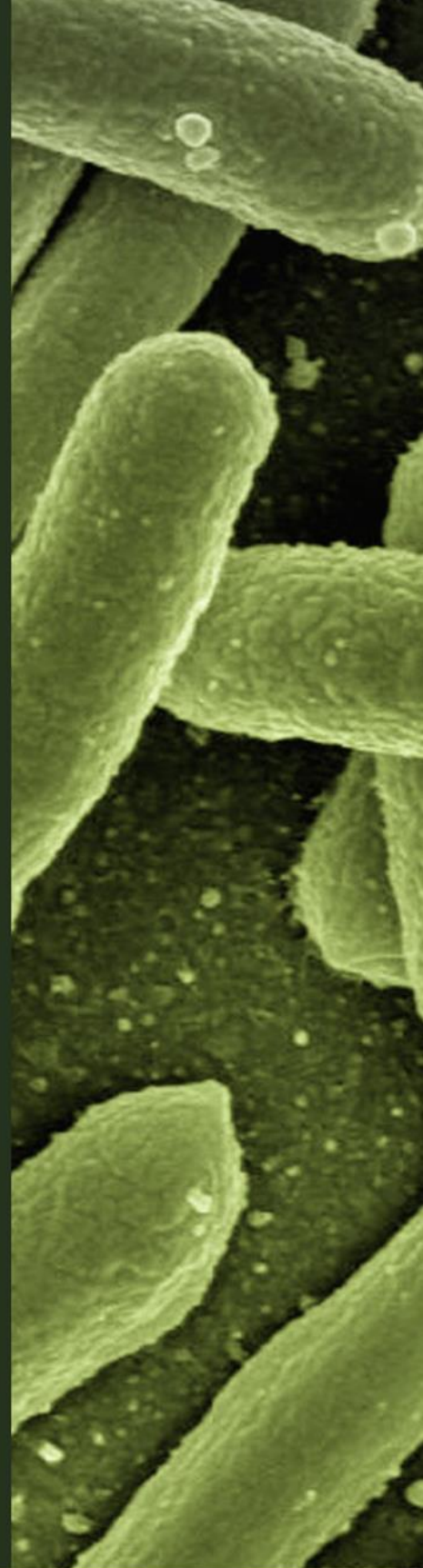
Навучаньне, адаптацыя, эвалюцыя, адаптыўны ландшафт, трываласьць, устойлівасьць, разнастайнасьць, складаныя адаптыўныя сыстэмы, генэтычныя альгарытмы, штучнае жыцьцё, штучны інтэлект, інтэлект роя, крэатыўнасьць, неабмежаванасьць.

## СПАСЫЛКІ:

Holland, John Henry.  
Adaptation in Natural and Artificial Systems [Адаптацыя ў натуральных і штучных сыстэмах].  
MIT press, 1992.

Solé, Ricard, and Elena, Santiago F.  
Viruses as Complex Adaptive Systems [Вірусы як складаныя адаптыўныя сыстэмы].  
Princeton University Press, 2018.

# АДАПТАЦЫЯ 5



# МІЖДЫСЦЫПЛІНАРНАСЬЦЬ

НАВУКА ПРА СКЛАДАНАСЬЦЬ МОЖА  
ДАПАМАГЧЫ Ё РАЗУМЕНЬНІ ВЯЛІКАЙ  
РАЗНАСТАЙНАСЬЦІ СЫСТЭМАЎ У РОЗНЫХ  
ГАЛІНАХ І ВЫКАРЫСТОЎВАЦЦА ДЛЯ  
КІРАВАНЬНЯ ІМІ.

*“Магчыма, аднак, што не цалкам  
марна шукаць агульныя рысы паміж  
рознымі тыпамі складаных сыстэм...  
Ідэі адваротнай сувязі ды інфармацыі  
задаюць сыстэму адліку для разгляду  
вялікага шэрагу сітуацый.”*

*- Гэрбэрт Сайман*

Складаныя сыстэмы сустракаюцца ва ўсіх  
навуковых і прафэсійных галінах, у тым ліку  
ў фізіцы, біялёгіі, экалёгіі, сацыяльных  
навуках, фінансах, бізнэсе, мэнэджмэнце,  
палітыцы, психалёгіі, антрапалёгіі,  
мэдыцыне, інжынэрыі, інфармацыйных  
тэхналёгіях, і інш. Шмат якія з найноўшых  
тэхналёгіяў – ад сацыяльных сетак і  
мабільных тэхналёгіяў да аўтаномнага  
транспарту ды блёкчэйну – ствараюць  
складаныя сыстэмы з эмерджэнтнымі  
ўласцівасьцямі, разуменьне і прадказаньне  
якіх крытычна важныя для дабрабыту  
грамадства.

Адной з ключавых канцэпцый навукі пра  
складанасць зьяўляецца ўніверсальнасць:  
ідэя, што шматлікія сыстэмы з розных галін  
дэманструюць зьявы з агульнымі рысамі,  
якія можна разглядаць з дапамогай адных і  
тых жа навуковых мадэляў. Гэтыя паняцці  
патрабуюць стварэньня новай  
шматдысцыплінарнай матэматычнай/  
вылічальнай плятформы.

Навука пра складанасьць можа ўзычыць усебаковы, паўздысцыплінарны аналітычны падыход, які дапаўняе традыцыйныя навуковыя падыходы, сфакусаваныя на спецыфічных прадметах кожнай галіны.

### **ПРЫКЛАДЫ:**

- Агульныя ўласьцівасьці розных сыстэмаў, што апрацоўваюць інфармацыю (нэрвовыя сыстэмы, Інтэрнэт, тэлекамунікацыйная інфраструктура)
- Універсальныя патэрны, якія мы бачым у розных працэсах распаўсюджваньня (эпідэміі, мода, лясныя пажары)

### **ДАТЫЧНЫЯ ПАНЯЦЦІ:**

Універсальнасьць, разнастайныя прыкладаньні, шмат- / між- / паўз- / транс-дысцыплінарнасьць, эканоміка, сацыяльныя сыстэмы, экасыстэмы, устойлівасьць навакольнага асяродзьдзя, вырашэньне праблемаў рэальнага жыцьця, культурныя сыстэмы, датычнасьць да паўсядзённага прыняцьця рашэньняў.

### **СПАСЫЛКІ:**

Turner, Stefan, Hanel, Rudolf and Klimek, Peter. Introduction to the Theory of Complex Systems [Уводзіны ў тэорыю складаных сыстэмаў].

Oxford University Press, 2018.

Page, Scott E.

The Model Thinker [Мадэльны мысьляр].

Hachette UK, 2018.

# МЭТАДЫ

МАТЭМАТЫЧНЫЯ ДЫ ВЫЛІЧАЛЬНЫЯ  
МЭТАДЫ – МАГУТНЫЯ ІНСТРУМЭНТЫ  
ДЛЯ ДАСЬЛЕДАВАНЬНЯ СКЛАДАНЫХ  
СЫСТЭМАЎ.



*“Усе мадэлі няправільныя, але ж  
некаторыя карысныя.”*

*- Джордж Бокс*

Складаныя сыстэмы маюць шмат канфігурацый ды патрабуюць мноства зьменных для свайго апісаньня, таму іх немагчыма дасьледаваць проста праз інтуіцыю ці з дапамогай разлікаў алоўкам на паперы. Замест гэтага, нам амаль заўсёды патрабуюцца дасканалыя мэтады матэматычнага і вылічальнага мадэляваньня, аналізу ды сымуляцыі каб пабачыць, як гэтыя сыстэмы структураваныя ды якім чынам яны зьмяняюцца зь цягам часу.

З дапамогай кампутараў мы маем магчымасьць спраўдзіць, ці здольны нейкі набор гіпатэтычных правілаў спрычыніць паводзіны, што мы назіраем у прыродзе, і надалей выкарыстоўваць нашае веданьне гэтых правілаў для прагназаваньня розных сцэнароў (“а што будзе, калі...”). Кампутары таксама выкарыстоўваюцца для аналізу вялікіх масіваў дадзеных, якія мы атрымліваем са складаных сыстэмаў, што дазваляе выявіць ды візуалізаваць схаваныя патэрны, нябачныя чалавечаму воку.

Гэтыя вылічальныя мэтады могуць прывесць ці да адкрыцьцяў, якія паглыбляюць нашае разуменьне і ўспрыманьне прыроды.



## ПРЫКЛАДЫ:

- Агентнае мадэляваньне чарады птушак
- Матэматычныя і кампутарныя мадэлі мозгу
- Прагназаваньне клімату кампутарнымі мадэлямі
- Кампутарныя мадэлі руху пешаходаў

## ДАТЫЧНЫЯ ПАНЯЦЦІ:

Мадэляваньне, сымуляцыя, аналіз дадзеных, мэтадалёгія, агентнае мадэляваньне, аналіз сетак, тэорыя гульняў, візуалізацыя, правілы, разуменьне.

## СПАСЫЛКІ:

Pagels, Heinz R.  
The Dreams of Reason: The Computer and the Rise of the Sciences of Complexity  
[Мары розуму: кампутар і ўздым навук пра складанасьць].  
Bantam Books, 1989.

Sayama, Hiroki.  
Introduction to the Modeling and Analysis of Complex Systems  
[Уводзіны ў мадэляваньне ды аналіз складаных сыстэмаў].  
Open SUNY Textbooks, 2015.



“Я думаю, што наступнае [21ae]  
стагодзьдзе будзе стагодзьдзем  
складанасьці.”

– Стывэн Гокінг

## УКЛАДАЛЬНІКІ

Manlio De Domenico\*, Dirk Brockmann, Chico Camargo,  
Carlos Gershenson, Daniel Goldsmith, Sabine Jeschonnek,  
Lorren Kay, Stefano Nichele, José R. Nicolás, Thomas  
Schmickl, Massimo Stella, Josh Brandoff, Ángel José  
Martínez Salinas, Hiroki Sayama\*

(\* Аўтары для карэспандэнцыі)

`mdedomenico[at]fbk.eu`

`sayama[at]binghamton.edu`

## CREDITS

Дызайн і рэдактура: *Serafina Agnello*

✉ `serafina.agnello[at]gmail.com`

**in** [Serafina Agnello](#)

Старонка ў Сеціве:

<https://complexityexplained.github.io/>

## Асаблівая падзяка за ўнёсак і адваротную сувязь:

Hayford Adjavor, Alex Arenas, Yaneer Bar-Yam, Rogelio Basurto Flores, Michele Battle-Fisher, Anton Bernatskiy, Jacob D. Biamonte, Victor Bonilla, Dirk Brockmann, Victor Buendia, Seth Bullock, Simon Carrignon, Xubin Chai, Jon Darkow, Luca Dellanna, David Rushing Dewhurst, Peter Dodds, Alan Dorin, Peter Eerens, Christos Ellinad, Diego Espinosa, Ernesto Estrada, Nelson Fernández, Len Fisher, Erin Gallagher, Riccardo Gallotti, Pier Luigi Gentili, Lasse Gerrits, Nigel Goldenfeld, Sergio Gómez, Héctor Gómez-Escobar, Alfredo González-Espinoza, Marcus Guest, J. W. Helkenberg, Stephan Herminghaus, Enrique Hernández-Zavaleta, Marco A. Javarone, Hang-Hyun Jo, Pedro Jordano, Abbas Karimi, J. Kasmire, Erin Kenzie, Tamer Khraisha, Heetae Kim, Bob Klapetzky, Brennan Klein, Karen Kommerce, Roman Koziol, Roland Kupers, Erika Legara, Carl Lipo, Oliver Lopez-Corona, Yeu Wen Mak, Vivien Marmelat, Steve McCormack, Dan Mønster, Alfredo Morales, Yamir Moreno, Ronald Nicholson, Enzo Nicosia, Sibout Nooteboom, Dragan Okanovic, Charles R Paez, Julia Poncela C., Francisco Rodrigues, Jorge P. Rodríguez, Iza Romanowska, Pier Luigi Sacco, Joaquín Sanz, Samuel Scarpino, Alice Schwarze, Nasser Sharareh, Keith Malcolm Smith, Ricard Sole, Keith Sonnenburg, Cédric Sueur, Ali Sumner, Michael Szell, Ali Tareq, Adam Timlett, Ignacio Toledo, Leo Torres, Paul van der Cingel, Ben van Lier, Jeffrey Ventrella, Alessandro Vespignani, Joe Wasserman, Kristen Weiss, Daehan Won, Phil Wood, Nicky Zachariou, Mengsen Zhang, Arshi, Brewingsense, Complexity Space Consulting, Raoul, Systems Innovation, The NoDE Lab.

## Пераклад на беларускую мову:

**Сяргей Бародка (Siarhei K. Barodka) і  
Андрэй Клішын (Andrei A. Klishin).**



***Serafina Agnello***

*Версія 1.0 (13 траўня 2019) (на ангельскай мове)*

*Пераклад на беларускую мову: 11 ліпеня 2021.*