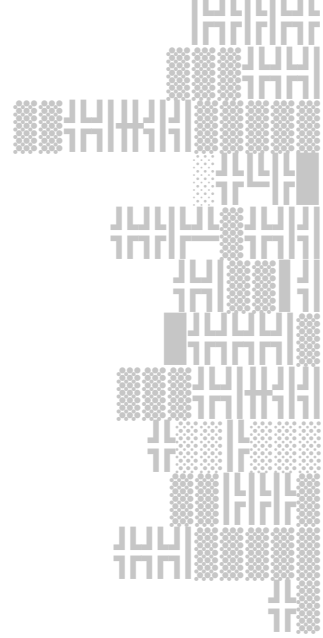


присвята {  
Шані за всю її любов і підтримку,  
творчість і розум  
}

Купити книгу на сайті [kniga.biz.ua](http://kniga.biz.ua) >>>

# ЗМІСТ

<b>1</b>	<b>Тест Лавлейс</b> .....	<b>1;</b>
<b>2</b>	<b>Створення творчості</b> .....	<b>9;</b>
<b>3</b>	<b>На старт, увага, руш</b> .....	<b>18;</b>
<b>4</b>	<b>Алгоритми – секрет сучасного життя</b> .....	<b>44;</b>
<b>5</b>	<b>Від низхідного до висхідного</b> .....	<b>66;</b>
<b>6</b>	<b>Алгоритмічна еволюція</b> .....	<b>81;</b>
<b>7</b>	<b>Розфарбовування за номерами</b> .....	<b>99;</b>
<b>8</b>	<b>Навчання у майстрів</b> .....	<b>123;</b>
<b>9</b>	<b>Мистецтво математики</b> .....	<b>150;</b>
<b>10</b>	<b>Математичний телескоп</b> .....	<b>169;</b>
<b>11</b>	<b>Музика: процес звучання математики</b> .....	<b>186;</b>
<b>12</b>	<b>Формула написання пісень</b> .....	<b>213;</b>
<b>13</b>	<b>Глибинна математика</b> .....	<b>233;</b>
<b>14</b>	<b>Мовні ігри</b> .....	<b>254;</b>
<b>15</b>	<b>Дозвольте ШІ розповісти вам історію</b> .....	<b>276;</b>
<b>16</b>	<b>Чому ми творимо: зустріч розумів</b> .....	<b>298;</b>
	<b>Ілюстрації</b> .....	<b>307;</b>
	<b>Рекомендована література</b> .....	<b>309;</b>
	<b>Подяки</b> .....	<b>319;</b>
	<b>Показчик</b> .....	<b>320.</b>



Купити книгу на сайті [kniga.biz.ua](http://kniga.biz.ua) >>>

# 1

## ТЕСТ ЛАВЛЕЙС

```
ц {  
    Витвори мистецтва створюють правила,  
    але правила не створюють витворів мистецтва  
}  
/* Клод Дебюссі */
```

Машина була прекрасна. На стрижні, що обертався поворотом ручки, кріпилися вежі шестерень із цифрами на зубцях. Сімнадцятирічна Ада Байрон приголомшено крутила ручку машини Чарлза Беббіджа і спостерігала, як та робить розрахунки, обчислює квадрати й навіть квадратні корені із чисел. Байрон завжди захоплювалась такими механізмами завдяки захопленню від учителів, яких радо наймала її мати.

За кілька років, вивчаючи плани Беббіджа щодо аналітичної машини, Ада, уже одружена з графом Лавлейсом, дійшла висновку, що йдеться про дещо більше, ніж просто пристрій для обчислень. Вона почала складати список можливостей цього механізму. «Аналітична машина не має нічого спільного зі звичайними “обчислювальними машинами”. Вона займає своє власне місце і наводить на більш цікаві за своєю природою міркування».

Записи Ади Лавлейс вважаються першою спробою написати програмний код. Її починання розвинули своїми революційними

досягненнями такі люди, як Алан Тюрінг, Марвін Мінскі та Дональд Мічі. Проте Лавлейс застерігала, що можливості будь-яких машин не надто великі: «Бажано уникати надмірних сподівань щодо роботи аналітичної машини. Аналітична машина не претендує на створення чогось нового. Вона може робити тільки те, що ми накажемо їй виконати». Зрештою, Ада була переконана, що можливості пристрою обмежені: від нього неможливо отримати більше, ніж у нього вкладено.

Багато років ця ідея залишалася мантрою інформатики. Саме вона дозволяє нам не боятися, що ми дамо поштовх чомусь такому, чим ми не зможемо керувати. Дехто вважає, що аби запрограмувати машину на проявлення штучного інтелекту, спочатку треба зрозуміти, що таке людський інтелект.

Те, що відбувається в наших головах, залишається таємницею, але останніми роками з'явилося нове бачення комп'ютерного коду: відбувся перехід від «низхідної» концепції програмування до «висхідної», яка передбачає, що комп'ютер має сам знаходити шлях. Виявляється, розгадувати загадку інтелекту не так вже і потрібно. Можна дозволити алгоритмам вільно блукати цифровими ландшафтами і вчитися — так само, як навчається дитина. Сучасні коди, створені методом машинного навчання, роблять зовсім несподівані речі — наприклад, вони помічають не виявлені людиною деталі на медичних знімках деталі, які людина прогавила, і створюють хитромудрі інвестиційні стратегії для фондового ринку. Як вважають програмісти нинішнього покоління, це нарешті дозволить довести, що Ада Лавлейс помилялася: від машини можна отримати більше, ніж вкладено програмою.

І все ж існує царина людської діяльності, яка ніколи не стане доступною машинам, — це творчість. Ми маємо надзвичайну здатність уявляти, винаходити, породжувати витвори мистецтва, які підносять, розширюють і перетворюють саму сутність людини. Це все з'являється завдяки тому, що я називаю людським кодом.

Це код, який, на нашу думку, притаманний лише людині, тому що він є рефлексією про те, що означає бути людиною. «Реквієм» Моцарта дозволяє нам замислитися про нашу власну смертність.

Перегляд вистави «Отелло» дає нам можливість вивчати емоційний світ, царство кохання й ревнощів. Нам здається, що портрет Рембрандта відображає набагато більше, ніж просто зовнішність

моделі художника. Чи можна уявити собі, що машина колись зможе замінити нам Моцарта, Шекспіра чи Рембрандта, та хоча б позмагатися з ними?

Із самого початку я маю наголосити, що здебільшого посилаюся на приклади мистецьких витворів західної культури. Саме це образотворче мистецтво я знаю, саме на цій музиці я виріс, саме цю літературу я здебільшого читав і читаю. Було б цікаво дізнатися, чи не виявляться машини краще пристосованими для мистецьких витворів у душі інших культур, але я підозрюю, що проблеми, про які тут ідеться, — універсальні й не зводяться до міжкультурних відмінностей. Тому, хоча я певною мірою готовий перепросити за обмеженість власного кругозору, зосередженого на західній цивілізації, я вважаю, що все ж таки зможу досить загально оцінити творчі можливості наших цифрових конкурентів.

Зрозуміло, що творчість людини не зводиться до самого лише мистецтва в традиційному сенсі цього слова. І молекулярна кухня Гестона Блюменталя, нагородженого зірками Мішлен, і футбольні трюки нідерландського нападника Йогана Кройфа, і криволінійні будівлі Захи Хадід, і кубик, винахід угорця Ерне Рубіка, — усе це також творчість. Навіть розробку програмного коду для комп'ютерних ігор на кшталт «Майнкрафта» слід вважати одним із прикладів найбільших досягнень людської творчості.

Трохи менш очевидно, що творчість відіграє важливу роль і в моєму власному світі — світі математики. Один із факторів, які спонукають мене проводити багато годин за письмовим столом, чаклюючи над рівняннями та пишучи розв'язки, — це привабливість створення чогось нового. Моїм найбільшим творчим досягненням, до якого я повертаюся знову і знову, була ідея нового симетричного об'єкта. Ніхто не знав, що такий об'єкт може існувати. Однак після багатьох років наполегливої роботи й раптового осяяння я зміг накидати у своєму жовтому блокноті схему цієї небаченої раніше форми. Саме цей трепет захвату найбільше приваблює нас у творчості.

Але що ми насправді розуміємо під цим невловним словом? Ті, хто намагається точно визначити його значення, зазвичай відштовхуються від трьох основних ідей: творчість — це процес створення чогось нового, несподіваного й цінного.

Виявляється, створити щось нове легко. Я можу змусити свій комп'ютер штампувати безліч припущень про нові симетричні об'єкти. Важче створити щось несподіване та цінне. Що стосується мого симетричного творіння, то те, що я винайшов, цілком обґрунтовано здивувало мене — як й інших математиків. Ніхто не припускав існування дивного зв'язку між цим симетричним об'єктом та областю теорії чисел, яка не мала відношення до моєї роботи. Саме той факт, що мій об'єкт спонукав до переосмислення математики, повної не вирішених завдань, і визначив його цінність.

Усі ми звикаємо слідувати одним й тим ж уявним схемам. Нам здається, що ми знаємо, як розвиватиметься сюжет, а потім нас несподівано веде у зовсім іншому напрямку. Цей елемент несподіванки привертає нашу увагу. Можливо, саме тому зустріч із мистецьким твором, чи то він наш, чи чийсь ще, здатна так схвилювати нас.

Але що саме надає витвору цінності? Чи йдеться просто про ціну? Чи необхідне визнання цінності іншими? Я можу вважати цінними свій вірш чи свою картину, але мало ймовірно, що багато інших людей погодилися б з моєю концепцією їхньої цінності. Незвичайний роман із безліччю несподіваних поворотів сюжету може бути порівняно малоцінним. Але новий і дивовижний підхід до літератури, архітектури чи музики, що поступово отримує визнання серед інших і змінює наше сприйняття речей зазвичай визнається цінним. Саме це Кант називає «зразковою оригінальністю», оригінальним діянням, яке стає джерелом натхнення для інших. Довго вважалося, що ця форма творчості властива лише людині.

Однак на певному рівні всі ці прояви творчості — результат нейронних і хімічних процесів. Вони й утворюють людський код, який упродовж мільйонів років відточувала у нашому мозку еволюція. Якщо почати докладно розбирати мистецькі твори людства, то можна поступово побачити, що в серці творчого процесу лежать деякі правила.

Чи може бути так, що творчість була заснована на алгоритмах та правилах більше, ніж нам хотілося б думати?

Завдання цієї книги — перевірити можливості нових моделей штучного інтелекту (ШІ), щоб дізнатися, чи зможуть вони коли-небудь створити щось таке, що порівнювалося б з чудесами нашого людського коду або навіть перевершувало їх. Чи здатна машина займатися

живописом, писати музику, романи? Можливо, вона не стане конкурувати з Моцартом, Шекспіром чи Пікассо, але чи зможе її творчість зрівнятися з творчістю наших дітей, які пишуть розповіді чи малюють силуети? Чи зможе машина навчитися творчості, взаємодіючи з важливими для нас творами мистецтва і розуміючи, чим саме вони відрізняються від усього приземленого та невиразного? Більше того, чи зможе вона розсунути межі наших творчих можливостей, показавши нам можливості, яких ми не помічаємо?

«Творчість» — це слово в'юнке, у різних обставинах має різні значення. Я переважно говоритиму про проблему творчості в мистецтві, але це зовсім не означає, що це єдиний можливий її вид. Мої дочки займаються творчістю, коли будують замки із *LEGO*. Мого сина називають творчим півзахисником, коли він приводить до перемоги свою футбольну команду. Ми можемо творчо вирішувати завдання повсякденного життя чи творчо керувати роботою організацій. І, як я покажу, математика — область більш творча, ніж багато хто думає, і творчість у цій сфері має багато спільного з творчістю в мистецтві.

Творчі імпульси становлять важливу частину того, що відрізняє людину від тварин, проте ми часто заштовхуємо ці пориви всередину нас, і потім, самі того не усвідомлюючи, стаємо рабами встановленого порядку життя, рутини. Для творчості необхідний поштовх, який повів би нас убік від наїждженої колії, якою ми прямуємо день у день, дедалі більше застрягаючи в ній. І тут нам може допомогти машина, можливо, саме вона зможе дати нам такий поштовх, запропонувати нам нові можливості, відвести нас від простого щоденного повторення того ж самого алгоритму. Зрештою, машини можуть допомогти людині стати менш схожою на машину.

Ви можете спитати, чому саме математик пропонує вам зайнятися цим дослідженням. Проста відповідь на це питання полягає в тому, що в серці штучного інтелекту, машинного навчання, алгоритмів та кодів лежить математика. Щоб зрозуміти, як і чому працюють алгоритми, які керують сучасним життям, необхідно зрозуміти математичні правила, на яких вони ґрунтуються. Той, хто їх не розуміє, стає безвольною іграшкою машин.

ШІ кидає виклик самим основам нашого існування, демонструючи, як багато з того, чим займаються люди, машини можуть робити не



гірше, а то й краще за них. Але ця книга присвячена не так майбутньому з безпілотними машинами та комп'ютеризованою медициною, скільки питанню про те, чи зможуть алгоритми позмагатися хоч як-небудь з могутністю людського коду. Чи здатні комп'ютери до творчості? Що потрібно для творчості? Якою мірою емоційна реакція на витвори мистецтва є результатом реакції мозку на певні схеми та структури? Це деякі з тем, які ми дослідимо у цій книзі.

Але йдеться не просто про цікавий інтелектуальний виклик. Художні твори дозволяють отримати інформацію про складний і запутаний людський код, який керує нашим мозком; як ми побачимо, витвори мистецтва, які створюють комп'ютери, також виявляються напрочуд корисними у вивченні механізмів роботи комп'ютерного коду. Одна з проблем, пов'язаних з кодом, який формується за «висхідним» принципом, — у тому, що самі програмісти часто не розуміють, як саме працює кінцевий код. Чому він ухвалює те чи інше рішення? Твори мистецтва, які він створює, можуть бути потужним інструментом, що дозволить дістатися до підсвідомих рішень нового коду. Крім того, вони можуть виявляти властиві процесу створення обмеження і небезпеки, які ми цілком не усвідомлюємо.

Крім того, я хочу зайнятися цим дослідженням ще з однієї, більш особистої причини. Я переживаю зараз глибоку екзистенційну кризу. Раз у раз я замислююся про те, чи зможуть люди, як і раніше, працювати математиками в найближчі десятиліття з урахуванням бурхливого розвитку ШІ. Зрештою, математика — це сфера чисел та логіки. Хіба не до цього найкраще здатні комп'ютери?

Певною мірою мій захист від комп'ютерів, які прагнуть «проникнути» на мою кафедру і «зайняти місця за спільним столом», спирається на те, що в математиці йдеться не лише про числа та логіку — це надзвичайно творче заняття, в якому важливу роль відіграють краса та естетика. У цій книзі я хочу показати, що математичні досягнення, про які ми доповідаємо на своїх семінарах і пишемо в журналах, з'являються не просто тому, що людина повертає якусь механічну ручку. Хорошому математику важливо мати інтуїцію та мистецьке чуття. І звичайно, ці риси неможливо запрограмувати в машину. Чи все ж таки можливо?

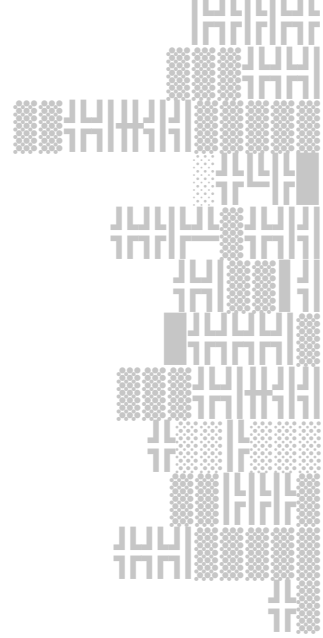
Тому я, як математик, уважно спостерігаю за тим, наскільки успішно нові види штучного інтелекту впроваджуються в художні галереї,

концертні зали та видавництва всього світу. Великий німецький математик Карл Веерштрасс помітив одного разу: «...не можна бути справжнім математиком, не будучи трохи й поетом». Як чудово показує приклад Ади Лавлейс, у математиці має бути не лише частка Беббіджа, а й частка Байрона. Хоча Лавлейс вважала, що можливості машин обмежені, вона починала усвідомлювати, що ці механізми із зубчастих шестерень можуть бути здатні до вираження художніх аспектів мислення:

Цей механізм може працювати не лише над числами, а й над іншими об'єктами... Припустимо, що співвідношення між висотами звуків у гармонії та музичній композиції піддаються такій обробці; тоді машина зможе складати майстерно написані музичні твори будь-якої складності чи тривалості.

Проте вона вважала, що творчий початок належатиме програмісту, а не машині. Чи можливо перекласти цей обов'язок на програмний код? Програмісти нинішнього покоління вважають, що це можливо.

На зорі розвитку штучного інтелекту Алан Тюрінг запропонував свій знаменитий тест для виміру розуму комп'ютера. Я хотів би запропонувати новий тест — тест Лавлейс. Щоб пройти його, алгоритм має створити оригінальний витвір мистецтва, причому цей процес має бути повторюваним (тобто не бути результатом випадкової технічної помилки), а програміст не має бути здатний пояснити, як саме алгоритм дійшов цього результату. Саме таке випробування ми пропонуємо машинам — перевірку на здатність створити щось нове, несподіване та цінне. Але для визнання наявності у машини творчих здібностей потрібно ще одне — витвір машини не повинен бути простим виразом творчих здібностей автора коду чи творця набору даних. Ада Лавлейс вважала це завдання нерозв'язним.



Купити книгу на сайті [kniga.biz.ua](http://kniga.biz.ua) >>>

# 2

## СТВОРЕННЯ ТВОРЧОСТІ

ц {  
Головним ворогом творчості  
є здоровий глузд  
}  
/\* Пабло Пікассо \*/

Творчість у наш час високо цінується, тому різні письменники й мислителі намагаються сформулювати, що це таке, як її розвивати і в чому її значення. Саме під час роботи в комітеті Лондонського королівського товариства, скликаного для оцінки ймовірного впливу машинного навчання на суспільство протягом найближчих десятиліть, я вперше познайомився з теоріями професорки когнітивних наук Маргарет Боден. Її погляди на творчість здались мені дуже цінними в контексті проблеми оцінки творчості машин.

Боден відрізняється нестандартним мисленням, яка за десятиліття своєї роботи зуміла опанувати безліч різних дисциплін: вона філософиня, психологиня, лікарка, фахівчиня із штучного інтелекту та професорка з когнітивної науки. У свої вісімдесят з гаком, з блискучим сидим волоссям, що розвівається, Маргарет як і раніше активно працює й із задоволенням займається вивченням можливостей цих «бляшанок», як вона любить називати комп'ютери. Для цього вона виділила три різні типи творчості.

*Дослідницька* творчість передбачає розгляд того, що вже існує та вивчення його зовнішніх кордонів, розширення меж можливого, при цьому дотримуючись правил. Музика Баха стала кульмінацією того шляху, який пройшли композитори епохи бароко у дослідженні тональності, сплітаючи воедино різні голоси. Його прелюдії та фуги розширювали межі можливого ще до корінної перебудови жанрів та настання епохи класицизму Моцарта та Бетховена. Ренуар і Пісарро переглянули методи зображення природи і навколишнього світу, але по-справжньому розсунув кордони Клод Моне, який знову і знову писав свої водяні лінії, поки кольорові відблиски не перетворились у нову форму абстракції.

Математика, безперечно, упивається цим типом творчості. Класифікація простих скінченних груп — це справжній прояв дослідницької творчості. Починаючи з простого визначення групи симетрій — структури, визначеної чотирма простими аксіомами, — математики витратили 150 років на створення переліку всіх елементів груп симетрій, які тільки можна уявити. Кульмінацією цього процесу стало відкриття групи Монстр, яка містить більше симетрій, ніж міститься атомів у складі Землі, але при цьому не відповідає жодним шаблонам інших груп. Цей вид математичної творчості передбачає розширення кордонів і водночас дотримання встановлених правил. Математика, що займається цим, можна уподібнити до мандрівника-дослідника, який просувається все далі в незвіданій області, але при цьому обмежений межами планети.

Боден вважає, що творчість на 97% складається з дослідження. Комп'ютери мають талант до творчості такого роду: доведення певної схеми або набору правил до кордонів — прекрасне завдання для обчислювального механізму, спроможного виконати набагато більше розрахунків, ніж мозок людини. Але чи достатньо цього? Коли ми думаємо про по-справжньому оригінальну творчість, зазвичай ми уявляємо щось зовсім несподіване.

Другий тип творчості пов'язаний із *комбінуванням*. Уявіть собі художника, який може взяти дві різні концепції і спробувати створити з них щось одне. Правила, що діють у світі однієї з цих концепцій, часто дозволяють створити цікаву нову основу для іншої. Комбінування — надзвичайно потужний інструмент у царстві математичної творчості.

Доказ гіпотези Пуанкаре, яка описує можливі форми Всесвіту, зрештою було отримано завдяки застосуванню дуже різних засобів для розуміння потоку поверхнями. Розуміння того, як рідина тече поверхнею, може неочікувано допомогти класифікувати можливі поверхні, які можуть існувати.

У власних дослідженнях я використовую інструменти з теорії чисел для розуміння простих чисел та використовую їх для класифікації можливих симетрій. Симетрії геометричних об'єктів, на перший погляд, не мають нічого спільного з простими числами. Але застосування мови, яка допомогла нам зорієнтуватися в таємниціх простих чисел, і заміна їх симетричними об'єктами дала нам дивовижні ідеї щодо теорії симетрії.

Таке взаємозбагачення принесло величезну користь й мистецтву. Філіп Глас узяв ідеї, про які він дізнався під час роботи з Раві Шанкаром, і створив на їхній основі адитивне виробництво, що стало центральним елементом його мінімалістичної музики. Заха Хадід розробила унікальний стиль викривлених будівель, скомбінувавши знання в галузі архітектури з любов'ю до чистих форм художника Казимира Малевича. У кулінарії схильні до творчості кухарі також поєднують кухні різних кінців світу.

Є цікаві дані, що дозволяють припустити, що така творчість також може ідеально підходити для світу штучного інтелекту. Якщо взяти алгоритм, який грає блюз, і скомбінувати його з музикою Булеза, то можна отримати дивне гібридне поєднання, яке, можливо, породить новий світ звуків. Зрозуміло, що може статися і так, що в результаті вийде огидна какофонія. Програмістові треба знайти два жанри, які можна алгоритмічно поєднати цікавим чином.

Третя форма творчості, за Боден, є найбільш таємничою і невловимою — *трансформаційна* творчість. До цієї категорії належать ті рідкісні моменти, які повністю змінюють правила гри. Кожен вид мистецтва має такі собі «перемикання передач». Згадаймо Пікассо та кубізм, Шенберга та атональну музику, Джойса та модернізм. Вони подібні до фазових переходів, при яких вода раптово перетворюється з рідини в газ. Це була та сама форма, на яку натрапив Гете, коли вів свою дворічну боротьбу з написанням «Страждання молодого Вертера», поки випадкова подія не стала каталізатором: «У цю ж мить

дозрів сюжет “Вертера”; складові частини звернулися з усіх боків, щоб злитися в щільну масу. Так вода в посудині, вже близька до точки замерзання, від найменшого струсу перетворюється на лід».

Дуже часто в основі таких трансформаційних моментів лежить зміна правил гри або відмова від припущень, з яких виходили попередні покоління. Квадрат числа завжди додатний. Усі молекули мають форму довгих ліній, а не ланцюгів. Музику слід складати в ладовій системі. Очі розташовані на обличчі по різні боки носа. На перший погляд здається, що запрограмувати такий рішучий прорив було б важко, проте існує загальне правило для цієї форми творчості. Потрібно почати з відмови від обмежень та подивитися, що буде. Мистецтво й акт творчості полягають в тому, щоб обрати, що саме слід відкинути чи ввести якесь нове обмеження так, щоб отримати в результаті щось цінне.

Якби мене попросили назвати трансформаційний момент у математиці, я б назвав гарною кандидатурою на цю роль відкриття квадратного кореня з мінус одиниці, що трапилося в середині XVI ст. Багато математиків вважали, що цього числа не існує. Його називали уявним числом (Декарт придумав цю принизливу назву, щоб наголосити на тому, що нічого подібного, очевидно, бути не може). Проте його запровадження не суперечило математиці, яка існувала на той момент. Виявилось, що виключати цю одиницю із розгляду було помилкою. Але чи зможе комп'ютер створити концепцію квадратного кореня з мінус одиниці, якщо всі дані, які вводять, говорять про те, що чисел, квадрат яких може бути від'ємним, не існує? Іноді справжня творчість вимагає виходу за рамки системи та створення нової реальності. Чи може це бути під силу складному алгоритму?

Історія виникнення романтизму в музиці у багатьох відношеннях є цілим каталогом порушення правил. На відміну від композиторів-класиків, які використовували переходи між близькими тональностями, вискочки нового покоління на кшталт Шуберта надавали перевагу таким модуляціям, які навмисно не відповідали очікуванням. Шуман залишав незавершеними акорди, які Гайдн чи Моцарт просто не могли б не завершити. Шопен, у свою чергу, складав насичені хроматичні гами і незвичайно акцентовані пасажі з незвичними

змiнами темпу, що йдуть урозрiз ритмiчним очiкуванням. Усi переходи вiд однiєї течiї музичного мистецтва до iншої: вiд середньовiччя до бароко, вiд класицизму до романтизму, вiд iмпресiонiзму до експресiонiзму тощо — це суцiльне порушення правил. Творчий рiвень кожної наступної художньої течiї можна оцiнити лише на фонi попередньої. Майже очевидно, що для того, щоб вважати щось новим треба знати iсторичний контекст. Творчiсть — дiяльнiсть не абсолютна, а вiдносна. Ми творимо всерединi своєї культури та у своїй системi координат.

Чи здатний комп'ютер запустити фазовий перехiд такого роду i перевести нас у новий музичний чи математичний стан? Це завдання видається важким. Алгоритми призвичаюються дiяти з урахуванням даних, iз якими взаємодiють. Чи не означає це, що вони назавжди приреченi робити тiльки те саме?

Як сказав Пiкассо: «головний ворог творчостi — здоровий глузд». На перший погляд здається, що цей принцип рiзко суперечить самiй сутi машини. Проте систему можна запрограмувати на iррацiональну поведiнку. Можна створити метаправило, яке змушуватиме її змiнювати напрямок роботи. Як ми побачимо надалi, машинне навчання дуже добре пристосоване до таких речей.

## **Чи можна навчити творчостi?**

Багато митцiв охоче мiфологiзують свою творчiсть, стверджуючи, що iхне натхнення породжується якимись зовнiшнiми силами. У Стародавнiй Грецiї вважалося, що поети одержимi музами, якi вводять у iхнiй розум натхнення, iнодi доводячи цим iх до божевiлля. Платон вважав, що «...поет — це iстота легка, крилата й священна... I здатний вiн творити не ранiше, нiж стане натхненним та нестямним i позбудеться розсудку...Оскiльки поети творять i говорять багато прекрасного про рiзнi речi не завдяки вмилоствi, а з Божої ласки...». Щось подiбне говорив великий iндiйський математик Рамануджан, його великi вiдкриття заснованi на iдеях, якi вiн отримав увi снi вiд богинi Намагiрi, що опiкувалась його сiм'єю. Що ж таке здатнiсть до творчостi — форма божевiлля чи божественний дар?



До найдосвідченіших фахівців щодо замітання слідів своєї творчості належить один з моїх кумирів в історії математики — Карл Фрідріх Гаусс. У 1798 він опублікував одну з найвідоміших математичних робіт усіх часів, у якій, як прийнято вважати, створив сучасну теорію чисел, — трактат під назвою *Disquisitiones arithmeticae* («Арифметичні дослідження»). Коли читачі книги Гауса спробували зрозуміти, звідки він взяв свої ідеї, вони зайшли в глухий кут. Сама робота була представлена у книзі як таємниця за сімома печатками. Здавалося, що Гаусс витягує звідкись ідеї, як кроликів з капелюха, ніде не даючи читачеві ні найменшого натяку на те, як саме він робить свої фокуси. Пізніше, коли йому почали дорікати за занадту прихованість, він відповів, що архітектор не залишає будівельних лісів після завершення будівництва. Гаусс, як і Рамануджан, приписував одне зі своїх одкровенень «милості Божій» і говорив: «я сам не міг знайти єднальної нитки між своїми колишніми знаннями та останнім дослідженням і тим способом, яким воно було нарешті вирішено».

Однак той факт, що художник може бути не здатний пояснити, звідки взялися його ідеї, не означає, що він не дотримувався жодних правил. Мистецтво є свідомим виразом міради логічних елементів, які формують процес нашого несвідомого мислення. Зрозуміло, думки Гауса були з'єднані якимось логічним ланцюжком: йому просто було важко сформулювати те, що саме він робить, або, можливо, він хотів зберегти таємницю, щоб підтримати свій імідж геніального творця. Твердження Колріджа про те, що образ Кубла-хана прийшов до нього тільки після того, як він прийняв наркотики, нівелює всю роботу поета до того доленосного дня, коли його розбудив несподіваний відвідувач з Порлока. Зрозуміло, так виходить цікавіша історія. Навіть у розповіді про мою власну творчість, спалахам натхнення неминуче було б приділено більше уваги, ніж багаторічній підготовчій роботі.

Ми маємо жажливу звичку романтизувати геніальних творців. Щиро кажучи, образ самотнього художника, який творить в ізоляції, — міф. Браян Іно говорить про концепцію не генія, а «сценія», щоб наголосити на ролі суспільства, у якому часто з'являється творче мислення. З цим згодна і американська письменниця Джойс Керол Оутс: «Мистецтво, як науку, слід вважати спільним зусиллям — спробою

однієї людини озвучити думки багатьох, спробою синтезувати, вивчити та проаналізувати».

Що ж потрібно для стимулювання творчості? Чи буде можливість запрограмувати її в машину? І чи існують правила, дотримуючись яких можна набути творчих здібностей? Іншими словами, чи може творчість бути набутою навичкою? Дехто скаже, що таке навчання або програмування, зводиться до наслідування досягнутого раніше, що імітація і дотримання правил несумісні з творчістю. Тим не менш, у нас є безліч прикладів творчих особистостей, які підвищують свою майстерність за рахунок дослідження та навчання. Чи можна, дослідивши їхню діяльність, навчитися повторювати їх досягнення і зрештою розвинути власні творчі здібності?

Ці питання я ставлю собі на початку кожного семестру. Щоб отримати докторський ступінь, аспіранти-математики мають створити нову математичну побудову. Вони повинні вигадати щось таке, що ніколи не було зроблено до них. Моє завдання — навчити їх, як це зробити. Зрозуміло, певною мірою вони навчалися цій роботі і раніше. Вирішення завдань, навіть якщо їхня відповідь вже відома, теж потребує індивідуальної творчості.

Подібне навчання необхідне для подальшого стрибка у невідоме. Повторюючи за іншими шлях, який привів їх до найбільших здобутків, ми сподіваємося створити середовище, яке сприятиме розвитку наших власних творчих здібностей. Однак те, що такий стрибок стане далеко — не гарантовано. Я не можу взяти з вулиці першу-ліпшу людину і виростити з неї творчого математика. Можливо, років за десять навчання ми зможемо досягти цього, але, мабуть, до математичної творчості здатен не кожний. Очевидно, деякі люди можуть займатися творчістю в одній галузі, але не в іншій, хоча зрозуміти, що саме робить володаря одного мозку чемпіоном з шахів, а іншого — лауреатом Нобелівської премії з літератури, важко.

Маргарет Боден визнає, що володіти творчим початком не завжди означає стати Шекспіром або Ейнштейном. Згідно з її термінологією, вона розрізняє «психологічну творчість» та «історичну творчість». Багато хто з нас творить, роблячи щось нове для себе, але далеко не нове в історичному контексті. Ці дії Боден і називає моментами психологічної творчості. І лише шляхом багаторазового вигадання

творів особистої творчості можна сподіватися створити щось, що інші визнають новим і цінним. Історична творчість — явище рідкісне, але воно з'являється внаслідок розвитку психологічної творчості.

Моя методика пробудження в студентів творчого початку ґрунтується на тих трьох типах творчості, які виділила Боден. Найімовірніший шлях — шлях дослідження. Спочатку варто зрозуміти, як ми дійшли до того місця, де перебуваємо зараз, а потім спробувати розширити кордони трохи далі. Це вимагає глибокого занурення в те, що ми створили дотепер. З цього глибинного розуміння може виникнути щось таке, чого ніколи раніше не було. Важливо переконати студентів, що акт творіння часто зовсім не схожий на Великий вибух. Він відбувається поступово. Як писав Ван Гог, «Великі справи робляться не імпульсом, а низкою маленьких речей, зібраних разом».

Другу стратегію Боден, стратегію комбінаторної творчості, я вважаю потужним засобом стимулювання нових ідей. Я часто раджу своїм студентам ходити на семінари та читати статті з тем, які здаються не пов'язаними з тими завданнями, над якими вони працюють. Міркування, що стосуються зовсім іншої частини математичного всесвіту, можуть увійти в резонанс із розв'язуванням завданням і призвести до виникнення свіжих ідей. Деякі з найцікавіших творчих проєктів у сучасній науці реалізуються саме на стику різних дисциплін. Чим більше ми виходимо за межі своїх ізольованих ділянок і ділимося з іншими думками та труднощами, тим більш творчою може стати наша робота. Саме тут одержують безліч швидких результатів.

На перший погляд здається, що трансформаційну творчість важко використовувати як стратегію. Але, повторюся, завдання полягає у перевірці стану речей, що склався на поточний момент шляхом відмови від деяких раніше встановлених обмежень. Потрібно спробувати зрозуміти, що станеться, якщо змінити одне з основних правил, які ми звикли вважати частиною самої суті предмета, що розглядається. Такі моменти небезпечні, тому що цим можна зруйнувати всю систему, але саме ця обставина підводить мене до однієї з найважливіших складових, що стимулюють творчість — готовності до невдач.

Якщо ви не готові до невдач — ви не підете на ризик, який би дозволив вам відкрити і створити щось радикально нове. Саме тому система освіти та економічне середовище — області, в яких терпіти

не можуть невдач, — бувають настільки несприятливими для розвитку творчих здібностей. Невдачі учнів важливо вітати не менше, ніж їхні успіхи. Зрозуміло, на невдачах дисертацію не захистиш, але вони можуть навчити багато чому. У розмовах зі своїми студентами я знову повторюю заклик Бекета: «Програвай. Програй знову. Програй краще».

Чи можна реалізувати ці стратегії в програмному коді? У минулому низхідному підході до програмування, що використовувався, було дуже мало надії на прояв творчого початку в результатах роботи програми. Те, що видавали створені програмістами алгоритми, ніколи не було сюрпризом для їхніх авторів. Не залишалося можливостей ні для експериментів, ні для невдач. Але нещодавно все це змінилося: алгоритм, побудований на коді, який навчається на власних помилках, зробив щось нове, що приголомшило його творців і виявилось неймовірно цінним. Цей алгоритм переміг у грі, яку, на думку багатьох, штучний інтелект взагалі не міг опанувати. Ця гра вимагає творчого підходу.

Саме звістка про цю революційну подію і стала причиною моєї нещодавньої екзистенційної кризи як математика.