

О. О. ПОДГАЄЦЬКИЙ, НТУ «ХП»

ЗАСТОСУВАННЯ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ ЗАСОБІВ ДО ВИНАХОДУ ЦИФРОВИХ ЕЛЕКТРОННО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

В статье представлена история вычислительных средств от древнейших времен до изобретения компьютеров. Освещены три основные этапа их развития с точки зрения практического применения.

У статті представлена історія обчислювальних засобів від найдавніших часів до винайдення комп'ютерів. Висвітлені три основні етапи їх розвитку з точки зору практичного застосування.

This article presents the history of calculation methods from the ancient times till the invention of computers. Three main stages of their development in the context of practical application have been highlighted.

До винайдення цифрових електронно-обчислювальних машин людство застосовувало найрізноманітніші обчислювальні засоби, які використовувалися у різних сферах життєдіяльності.

Аналізом питань розвитку обчислювальної техніки серед українських науковців займалися Б. М. Малиновський, Л. Г. Хоменко, А. М. Глебова, Ю. В. Капітонова та деякі інші дослідники.

Метою даної статті є викладення історії застосування обчислювальних засобів до винаходу цифрових електронно-обчислювальних пристроїв, якій, зазвичай, дослідники приділяють мало уваги або зовсім не згадують. Також мало уваги приділяють найдавнішим винаходам, що пов'язано з нещодавнім археологічним відкриттям.

Скористуємося трьома основними періодами в історії прикладної математики відомого російського математика, доктора фізико-математичних наук М. М. Каліткіна.

Перший період почався ще 3–4 тисячі років тому. Він був пов'язаний із веденням конторських книг, обчисленням площ і обсягів, розрахунками найпростіших механізмів; іншими словами – з нескладними завданнями арифметики, алгебри та геометрії. Обчислювальними засобами слугували спочатку власні пальці, а потім – рахівниці. Вихідні дані містили мало цифр, і більшість викладок виконувалося точно, без округлень. Другий період почався з Ісаака Ньютона. У цей період вирішувалися завдання астрономії, геодезії та розрахунку механічних конструкцій, що зводяться або до звичайних диференціальних рівнянь, або до алгебраїчних систем з великою кількістю невідомих. Обчислення виконувалися з округленням; нерідко від результату потрібна висока точність, тому доводилося зберігати до восьми значущих цифр. Обчислювальні засоби були різноманітніші: таблиці елементарних функцій, потім – логарифмічна лінійка і арифмометри; до кінця цього періоду з'явилися непогані клавішні машини з електромотором. Але

швидкість обчислення усіх цих засобів була невелика, і розрахунки займали дні, тижні і навіть місяці. Третій період почався приблизно з 1940 р. Військові завдання – наприклад, наведення зенітних гармат на літак, що швидко рухається – вимагали недоступних людині швидкостей і призвели до розробки електронних систем. З'явилися ЕОМ [1, с. 16–17].

Розглянемо *перший період*. Найпершим засобом для обчислення вважають абак, який з'явився ще у Стародавніх Єгипті та Вавилоні. Розрахунки тоді застосовувалися у землеробстві, іригації, будівництві, торгівлі, виробництві хліба, пива тощо. Інші прикладні задачі зводилися до переводу мір ваги або ємності в інші одиниці, до розрахунку кількості корму, розподіленню заробітної платні, обрахування податків тощо [2, с. 39-40].

Потреби торгівлі, сільського господарства та будівництва в значній мірі сприяли надбанню вавилонянами практичних відомостей з галузі математики. У зв'язку із зростанням торгового обігу та ускладненням операцій фінансового характеру у Вавилоні були створені установи, які були прообразом сучасних банків. У цих установах проводилися операції з видачі чеків, здійснювалися записи боргових зобов'язань і різного роду нотаріальні угоди. Такі операції, безсумнівно, сприяли розвитку арифметичного рахунку. Так, ми знаємо, що дія множення проводилася у вавилонян приблизно в такому ж порядку, як і в нас, а дія ділення – за принципом множення на обернене число, що було раціонально при вживанні шістдесятичних дробів: ця операція спрощувалася завдяки тому, що 60 має багато цілих дільників (у Вавилоні була прийнята шістдесятична, а не сучасна десятична система мір). Заняття землеробством і скотарством, багато в чому залежить від зміни пори року, а також необхідність подорожей водними і караванними шляхами змусила вавилонян пильно спостерігати за небосхилом, тому що небесні світила були в ті часи єдиними маяками, по яких можна було орієнтуватися в потрібному напрямку. Внаслідок цього вавилоняни добре вивчили розташування видимих неозброєним оком зірок і склали дуже детальну карту зоряного неба [3, с. 25].



Рис. 1. Небесний диск з Небри (близько 1800 р. до н. е.)

Зацікавлення астрономією у другому тисячолітті до н. е. було не тільки у вавилонян та єгиптян. У 2001 р. на чорному ринку Європи з'явився так званий Небесний диск з Небри – бронзовий диск діаметром 30 см, покритий патиною кольору аквамарину, з вставками із золота, які зображують Сонце, Місяць і 32 зірки, у тому числі скупчення Плеяд. Його прийнято відносити до унетичької культури Центральної Європи близько 1800 р. до н. е. За останніми дослідженнями прийнято вважати, що диск використовувався для вимірювання кута між точками сходу і заходу сонця під час

сонцестоянь, його слід визнати найдавнішим переносним пристроєм для такого роду вимірювань [4].

У III столітті до н. е. зацікавленість астрономією привела знаменитого математика і винахідника Архімеда до конструювання «небесної сфери» – під час руху якої можна було спостерігати рух п'яти планет, схід Сонця і Місяця, фази і затемнення Місяця, зникнення обох тел за лінією горизонту. Фактично, це був перший планетарій [5, с. 32–34]. Ця сфера була взята як трофей Римом при осаді Сіракуз, а після зруйнування Риму у 476 р. її сліди зникли.

У 1902 р. недалеко від грецького острова Антикитера була виявлена унікальна знахідка, якій через 100 років судилося стати справжньою сенсацією. Мова йде про так званий Антикитерський механізм. У 1951 р. дослідженням артефакту зайнявся англійський історик науки Дерек Прайс. Саме він уперше висловив припущення, що виявлені на дні Егейського моря уламки – це частини якогось механічного обчислювального пристрою. Механізм містив велику кількість бронзових шестерень в дерев'яному корпусі, на якому були розміщені циферблати зі стрілками і використовувався для розрахунку руху небесних тіл. Інші пристрої подібної складності невідомі на даний час в елліністичній культурі. У цьому механізмі використовується диференційна передача, яка, як раніше вважалося, винайдена не раніше XVI ст., а рівень мініатюризації і складність порівнянні з механічними годинниками XVIII ст. Орієнтовні розміри механізму 33x18x10 см [6, с. 60–67]. У 2002 р. фахівець з механічних пристроїв з Лондонського музею науки Майкл Райт створив власну реконструкцію давнього приладу. М. Райт також висловив здогад, що механізм міг моделювати рух Місяця, Меркурія, Венери, Марса, Сатурна і Юпітера. 30 липня 2008 р. в Афінах була озвучена остаточна доповідь про результати дослідження механізму:

1. Пристрій міг виконувати операції додавання, віднімання та ділення. З цього випливає, що перед нами – стародавній калькулятор.

2. Механізм був здатний розраховувати еліптичну орбіту руху Місяця.

3. Зворотний бік механізму, який був сильно пошкоджений, використовувався для передбачення сонячних та місячних затемнень.

Автором Антикитерського механізму вважають вченого Посідонія, який працював на острові Родос [7, с. 76–83].

Із занепадом греко-римської культури бронзові пристрої, на зразок планетарію Архімеда та Антикитерського механізму, були переплавлені



Рис. 2 Антикитерський механізм (близько 80 р. до н. е.), сучасна комп'ютерна реконструкція

варварами, оскільки бронза на той час вважалася цінним металом, а навички конструювання таких пристроїв забуті. Знадобилося близько півтори тисячі років, щоб люди знову навчилися створювати схожі за складністю механізми.

Другий період. У 1622 р. англійським математиком-аматором та одним з творців сучасної математичної символіки Вільямом Отредом була винайдена логарифмічна лінійка – обчислювальний пристрій, що дозволяє виконувати кілька математичних операцій, в тому числі множення і ділення чисел, піднесення до степеня (найчастіше в квадрат і куб) та обчислення квадратних і кубічних коренів, обчислення логарифмів, тригонометричних функцій та інші операції. Принцип дії логарифмічної лінійки заснований на тому, що множення і ділення чисел замінюється відповідно складанням і відніманням їх логарифмів. Логарифмічні лінійки використовувалися декількома поколіннями інженерів та інших професіоналів, аж до появи кишенькових калькуляторів. Інженери програми „Аполлон” відправили людину на Місяць, виконавши на логарифмічних лінійках всі обчислення, багато з яких вимагали точності в 3–4 знаки, вони широко застосовувалися у найрізноманітніших галузях аж до 1950-х років. [8, с. 65–66].

У 1623 р. професор математики Вільгельм Шиккард сконструював так званий «механічний годинник», у якому були механізовані операції складання і віднімання, а множення і ділення виконувалося з елементами механізації. Механізм приніс практичну користь відомому астроному Іоганну Кеплеру при його астрономічних розрахунках, проте машина Шиккарда незабаром згоріла під час пожежі [9, с. 533].

Знаменита рахункова машина була сконструйована у 1642 р. Блезом Паскалем. Вісімнадцятирічний Б. Паскаль допомагав батькові, що був збирачем податків, і хотів спростити його працю. Незважаючи на королівський привілей «Паскаліна» не мала широко практичного застосування. Тим не менше, винайдений ним принцип пов'язаних коліс став основою, на якій будували вісь більшість обчислювальних пристроїв протягом наступних трьох століть [10].

Машина Готфріда Лейбніца була складнішою «Паскаліни». Числові колеса, тепер вже зубчасті, мали зубці дев'яти різних довжин, і обчислення вироблялися за рахунок зчеплення коліс. Саме кілька видозмінених коліс Лейбніца стали основою масових лічильних приладів – арифмометрів, що використовувалися у розрахунках аж до 1970-х років. У 1694 р. Г. Лейбніц побудував остаточний варіант механічного калькулятора, який обійшовся його творцеві в 24 тисячі талерів [11].

Проривним етапом вважається конструювання у 1836–1848 рр. Аналітичної машини Чарльза Беббіджа, яка однак була недобудована ним через недостатнє фінансування, бо не мала практичного застосування на той час. Його машина могла стати механічним прототипом ЦЕОМ та мала б п'ять основних пристроїв: арифметичний, пам'яті, управління, введення, виведення. Якщо б йому вдалося її добудувати, то вона б мала розмір з

локомотив та приводилася у дію паровим двигуном. Всі ідеї британця залишилися тільки на папері. Мабуть, єдиний практичний результат, який отримав Беббідж в останні роки життя, – це реєстр з зубчастих коліс, виготовлених методом лиття. Аналітична машина практичного впливу на розвиток обчислювальної техніки не зробила, за винятком впливу на автора електромеханічної машини Говарда Ейкена [12, с. 37].

У 1914 р. у Харкові, відтворивши «електричну логічну машину» Вільяма Джевонса і Павла Дмитровича Хрущова, саме Олександр Миколайович Щукар'єв був першим, хто зумів вивести результати логічних перетворень машини для наочного огляду. Він демонстрував свій прилад у Харкові, Петербурзі та у Москві. У приладі використовувався прообраз сучасних дисплеїв. Головне, що зробив О. М. Щукар'єв, полягало у тому, що він, на відміну від В. Джевонса та П. Д. Хрущова, бачив у машині не просто навчальний посібник, а представляв її своїм слухачам як технічний засіб механізації логічного мислення.

Напередодні Другої світової війни механічні і електричні аналогові обчислювальні машини (АОМ) вважалися найсучаснішими машинами, їх називали майбутнім обчислювальної техніки. АОМ використовували переваги того, що математичні властивості явищ малого масштабу – розташування коліс або електрична напруга і струм – подібні математиці інших фізичних явищ, таких як інерція, резонанс, перенос енергії, момент інерції тощо. АОМ представляє числові дані за допомогою аналогових фізичних змінних (швидкість, довжина, напруга, струм, тиск), в чому і полягає його головна відмінність від цифрового комп'ютера.

Конструкційно АОМ складаються з операційних блоків, де кожен блок виконує якусь одну математичну операцію. Для отримання вирішення задачі на АОМ ці блоки поєднують між собою відповідно до вирішуваної задачі. Тому при переході від вирішення однієї задачі до іншої руйнуються з'єднання, що були зроблені раніше. Таким чином, структура АОМ визначається вирішуваною задачею [13, с. 11–12].



Рис. 3. В. Буш та його диференційний аналізатор (1930)

У 1903 р. Олексій Миколайович Крилов конструює механічну АОМ для вирішення диференціальних рівнянь при проектуванні кораблів. В основу її було покладено ідею інтеграфа – аналогового інтегруючого приладу, розробленого польським математиком Бруно Абданк-Абакановичем для отримання інтеграла довільної функції, накреслені на плоскому графіку [14].

Подальший розвиток АОМ отримали з винаходом у 1927 р. у Масачусетському Технологічному Інституті інтеграфа, яку з 1925 по 1927 рр. побудував Ванневар Буш з групою своїх

співробітників. Це була машина безперервної дії, здатна вирішувати диференціальні рівняння 1-го і 2-го порядку. З 1928 по 1930 рр. В. Буш сконструював свій знаменитий диференційний аналізатор – механічна інтегруюча машина, що могла вирішувати диференціальні рівняння 6-го порядку [15, с. 447–488]. Ця машина застосовувалась для розрахунку траєкторії стрільби корабельних гармат. Надалі, у середині 1930-х років, В. Буш перевів свій електромеханічний диференціальний аналізатор на електронну елементну базу. Аналізатори стали називати „аналоговими обчислювальними машинами” і вони з успіхом використовувалися в багатьох країнах для вирішення систем диференціальних рівнянь з нелінійними коефіцієнтами, включаючи досить складні рівняння високих порядків. У 1942 р. він створив електромеханічну версію своєї інтегруючої машини [16].

Після винаходу диференційного аналізатора Буша у 1930 р. були побудовані декілька нових машин для розв’язання диференціальних рівнянь високих порядків. Такі машини-унікуми були створені всього лише в декількох країнах. У Радянському Союзі, в Енергетичному Інституті АН СРСР доктором І. С. Бруком в 1938 р. побудована така машина для рівнянь 6-го порядку [17]. У Манчестері професор Д. Хартрі у 1933 р. спільно з фірмою Метрополітен Віккерс побудував машину для рівнянь 8-го порядку [18, с. 643–647], а в Осло професор С. Роселанд разом з фірмою Гундерсен і Лекен – машину для рівнянь 12-го порядку, що описана у роботі Уолтера (Walther A. Rechenmaschinen. ETZ, 11.1.1940).

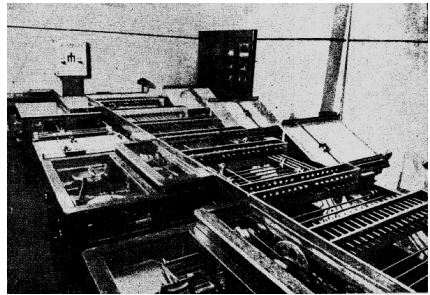


Рис. 4. Інтегратор І. С. Брука (1938)

Такі машини, що займали кімнату площею, приблизно, в 50 м^2 , з великою кількістю складних деталей, виконаних з найбільшою точністю, доступною тодішній техніці, вартістю в сотні тисяч рублів, не могли отримати широкого розповсюдження. Незрівнянно гірші справи з рішенням крайових задач, що описуються диференціальними рівняннями в окремих похідних. Труднощі, що виникають при вирішенні цих завдань, у багатьох випадках не могли бути подолані засобами тодішньої математики, незважаючи на те, що складний арсенал цих засобів був величезний. Ці труднощі з’являються складними умовами конкретної дійсності, в якій проходять явища – це так звані умови однозначності. При вирішенні однакових рівнянь ці умови є зовсім різними, наприклад: умови в трясині океану та в киплячій воді парового котла; в тілі гвинта та в тілі рейки; в бетонній греблі та в стіні з цегли тощо. Також вирішення задачі залежить від багатьох чинників, що мають місце в початковий момент процесу і на межах системи [19, с. 5].

Одним із способів позбавитися від громіздких механізмів та обчислень було моделювання коливальних процесів, що відбуваються в валопроводах ДВЗ з допомогою спеціально зібраного еквівалентного електричного ланцюга (ЕЕЦ). В основі цього моделювання лежать властивості електромагнітних коливальних систем, що описуються тими ж самими диференціальними рівняннями, що і коливання механічної системи.

Ідея заміни громіздких обчислень виміром електричних величин привернула увагу дослідників у 1930-ті роки у зв'язку з необхідністю проводити розрахунки крутильних коливальних багатомасових нелінійних систем. Ці завдання виникли при дослідженні динамічної міцності валопроводів двигунів внутрішнього згорання, в першу чергу рядних бензинових авіаmotorів і суднових дизелів. Коли при коливаннях стали деформуватися колінчаті вали, при розрахунку потрібно розглядати системи з десятима і більше ступенями свободи. Хоча методи розрахунків вільних і вимушених коливальних систем, що мають ланцюгову структуру, були розвинені непогано, вони вимагали досить великого обсягу обчислень, що ускладнювало рішення задачі їх синтезу за вібраційними характеристиками [20, с. 90–98].

Більший інтерес представляє розрахунок нелінійних коливальних систем. Особливо складним є підбір електричної схеми для моделювання нелінійних елементів. Найчастіше доводиться задовольнятися лише приблизною відповідністю характеристик або обмежуватися застосуванням лінійних моделюючих пристроїв у поєднанні з аналітичними методами лінеаризації.



Рис. 5. Гідроінтегратор
В. С. Лук'янова ІГ-3

Для вирішення рівняння Лапласа у 1925 р. С. А. Гершгориним був сконструйований механічний апарат [21, с. 161], а у 1928 р. він запропонував використовувати для цієї ж мети електричний ланцюг з опорів [22]. Такий ланцюг є, по суті, схемою заміщення провідникової пластини і електроліту [19, с. 5–6].

У 1935 р. Володимиром Сергійовичем Лук'яновим був сконструйований перша гідромодель теплового процесу, успішно розв'язати завдання дослідження температурних режимів бетону. Займаючись проблемою підвищення якості будівельних робіт, молодий інженер зацікавився причинами утворення тріщин в бетонних конструкціях і прийшов до висновку про їх температурному походження. Основні переваги

гідроінтегратора – наочність процесу розрахунку, простота конструкції та програмування. Досвід роботи з цим пристроєм дозволив вирішити більш складні завдання і в 1936 р. побудувати першу обчислювальну машину для широкого класу диференціальних рівнянь – одномірний гідравлічний

інтегратор ІГ-1. У 1930-ті роки це була єдина обчислювальна машина для вирішення диференціальних рівнянь в окремих похідних. У 1940-х роках були сконструйовані двомірний і тривимірний гідроінтегратори [23, с. 90-93]. Принцип їх дії був оснований на властивостях руху рідини в системі посудин. Однак гідроінтегратори мали і свої недоліки: були занадто громіздкими та практично придатними для вирішення обмеженого кола задач з рівняннями Фур'є [19, с. 6].

В 1935 р. у СРСР під керівництвом інженера Миколи Мінорського почався випуск першої радянської електродинамічної лічильно-аналітичної машини САМ (модель Т-1). Їх випускав московський завод САМ, побудований в 1930-х роках. Після війни цей завод став одним з основних підприємств по випуску ЕОМ. Тоді ж і там же під керівництвом І. С. Брука були сконструйовані механічний інтегратор і електричний розрахунковий стіл для визначення стаціонарних режимів енергетичних систем.

Третій період. У 1942–1944 рр. у США був розроблений операційний підсилювач – підсилювач постійного струму, що має досить високий коефіцієнт підсилення. Це дозволило створювати аналогові комп'ютери без рухомих частин, на постійному струмі.

Під час Великої Вітчизняної Війни Микола Григорович Бруевич вніс великий внесок в застосування лічильно-обчислювальних механізмів до прицілам бомбометання і прицілам управління зенітним артилерійським вогнем (ПУАЗВ). Управління артилерійським зенітним вогнем зводиться до того, що розрахунок ПУАЗВ визначає ймовірну точку зустрічі снаряда з цілю і передає зброї азимут і кут піднесення. Сельсини і відповідні механізми дозволяли передавати необхідні команди автоматично. Проте, у всіх випадках автоматичної передачі команд при наведенні виникали помилки. Академік М. Г. Бруевич у 1938 р. закінчує велику працю: „Механізми точної механіки стосовно приладами управління артвогню і бомбометанням”.

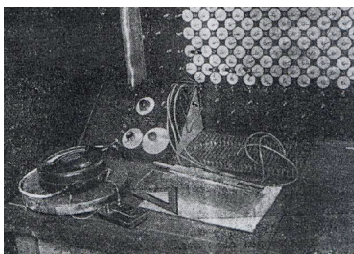


Рис. 7. Електроінтегратор Л. І. Гутенмахера (1940)



Рис. 6. Прилад управління артилерійсько-зенітним вогнем М. Г. Бруевича

Фундаментальні роботи М. Г. Бруевича з проблеми точності механізмів дозволили значно підвищити ефективність роботи ПУАЗВ при боротьбі з фашистськими літаками [24].

У СРСР в 1940-х роках під керівництвом Льва Ізраїлевича Гутенмахера були створені перші електронні аналогові машини з повторенням рішення [19]. У 1949 р. в СРСР був побудований ціла низка АОМ на постійному струмі – для створення радянської атомної бомби була потрібно величезна кількість обчислень. Ці роботи поклали початок розвитку аналогової обчислювальної техніки в СРСР [14].

Третій період триває і досі. Аналогові комп'ютери відправляли в космос Гагаріна, управляли турбінами на гідроелектростанціях і першими атомними реакторами, активно використовувалися військовими і створювали звук у музичних синтезаторах. Вони пішли, поступившись місцем цифровим технологіям, які нас оточують й донині.

Список літератури: 1. *Калиткин Н. Н.* Численные методы / Калиткин Н. Н. – М.: Наука, 1978. – 512 с. 2. *Ван Дер Варден Б. Л.* Пробуждающаяся наука. Математика Древнего Египта, Вавилона и Греции / Ван Дер Варден Б. Л. – М.: Гос. издат. физ.-мат. литературы, 1959. – 459 с. 3. *Болгарский Б. В.* Очерки по истории математики / Болгарский Б. В. – Минск: Вышэйшая школа, 1979. – 368 с. 4. *Диск из Небры – самый древний календарь?* / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://news.bbc.co.uk/1/hi/russian/sci/tech/newsid_6237000/6237860.stm 5. *Лурье С. Я.* Архимед / Лурье С. Я. – М.–Л.: Издат. АН СССР, 1945 – 135 с. 6. *Derek J. de Solla Price* An Ancient Greek Computer // Scientific American. – 1959. – June. – p. 60-67. 7. *Freeth T.* Decoding an Ancient Computer // Scientific American. – 2009. – December. – p. 76-83. 8. *История математики с древнейших времен до начала XIX столетия* / [И. Г. Башмакова, Л. Е. Майстров, Б. А. Розенфельд и др.]; под ред. А. П. Юшкевича. – М.: Наука, 1970. – 302 с. – (в 3 томах, том 2). 9. *Боголюбов А. Н.* Математики. Механики/ Боголюбов А. Н. – К.: Наукова думка. – 1983. – 639 с. 10. *Машина* Паскаля История компьютеров. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://chernykh.net/content/view/13/37/> 11. *Большая Советская Энциклопедия – Лейбниц Готфрид Вильгельм.* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bse.sci-lib.com/article069319.html> 12. *Полунов Ю.* Великий почин // PC Week/RE. – №2 от 31.01.2006 г., с. 37. 13. *Урмаев А. С.* Основы моделирования на АВМ. – М.: Наука. – 1978 г. – 272 с. 14. *Большая Советская Энциклопедия – Аналоговая вычислительная машина.* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bse.sci-lib.com/article053769.html> 15. *Bush Vannevar* The different analyzer. A new machine for solving differential equation / Bush V –Cambridge USA: J. Franklin Inst., 1931. – 522 p. 16. *Ванневар* Буш История компьютера. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://chernykh.net/content/view/484/696/> 17. *Брук И. С.* Машина для интегрирования дифференциальных уравнений. / Брук И. С. – М.–Л. – 1941 г. – с. 41. 18. *Hartree D. R., Nutall A. K.* The differential analyzer and its application in the electrical engineering // J. E. E. Journ. – 1938 – Nov. v. 83, № 503. 19. *Гутенмахер Л. И.* Электрическое моделирование (электроинтегратор). / Гутенмахер Л. И. – АН СССР. – 1943 г. – 128 с. 20. *Ларин А. А.* Развитие методов расчета крутильных колебаний в Харьковском политехническом институте с 1930 по 1970 годы / Ларин А. А. // Вестник НТУ «ХПИ» Динамика и прочность машин. - 2007. – Вып. 22. – С. 90–98. 21. *Герцигорин С. А.* К описанию прибора для интегрирования дифференциального уравнения Лапласа. // Журн. приклад. физ. – 1925. – т. II, вып. 3-4. – с. 161. 22. *Герцигорин С. А.* Об электрических сетках для приближенного решения дифференциального уравнения Лапласа. // Журн. приклад. физ. – 1929. – т. IV, вып. 3-4 – с. 3-29. 23. *Соловьева О.* Водяные вычислительные машины // Наука и жизнь. – 2004. – № 4. – с. 90–93. 24. *Институт точной механики и вычислительной техники им. С. А. Лебедева РАН – научно-исследовательский институт в области информационных технологий, вычислительной техники и микроэлектроники.* Офіційний сайт. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ipmce.ru/about/history/leading/bruevich/>

Надійшла до редколегії 17.05.10