

## ПЕРСОНАЛІЇ

УДК 621.3

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.4/51>

### **Шимчак Пьотр**

Асоціація електриків Польщі (SEP), Польща

### **Блінцов В.С.**

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

### **Бойко А.О.**

Національний університет «Одеська політехніка»

### **Буруніна Ж.Ю.**

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

## **МИХАЙЛО ДОЛІВО-ДОБРОВОЛЬСЬКИЙ: ОСОБИСТІТЬ СВІТОВОГО МАСШТАБУ (до 160-річчя від дня народження науковця та 130-річчя першої передачі електроенергії трифазним струмом)**

*Викладено основні етапи життя і професійного становлення видатного інженера і науковця, винахідника трифазного струму Михайла Доліво-Добровольського. Надані відомості про його батьків, описані маловідомі для українського читача факти з його дитинства та юності. Наведено відомості про здобуття освіти в Одесі та Ризі, про перші спроби виконання студентських прикладних наукових досліджень та їх визнання. Більш детально подано інформацію про здобуття Михайлом Доліво-Добровольським електротехнічної освіти та про перший етап професійної діяльності як викладача Дармиштадтського технологічного університету. Показано роль провідного професора Еразмуса Кіттлера у становленні молодого електротехніка.*

*Наведено відомості про роботу Михайла Доліво-Добровольського у новоствореній німецькій компанії *Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft (AEG)*. Коротко описано його творчу діяльність по створенню простого у використанні, дешевого у виробництві та експлуатації трифазного асинхронного двигуна із білковою кліткою. Надано відомості про створення системи трифазного струму для живлення трифазного асинхронного двигуна. Наведено інформацію про розробку та побудову трифазних трансформаторів, які дали змогу передавати електричну енергію на великі відстані.*

*Описано внесок Михайла Доліво-Добровольського у реалізацію унікального експерименту – першої у світі передачі електричної енергії трифазного струму на відстань 175 кілометрів. Наведено короткі відомості про конструкцію синхронного генератора як джерела електричної енергії, який приводиться в рух гідравлічною турбіною. Подано інформацію про побудову першої у світі високовольтної лінії електропередачі, яка забезпечила живлення електричною енергією Всесвітню електротехнічну виставку, організовану в 1891 році у Франкфурті-на-Майні.*

*Приводяться короткі відомості про розробку Михайлом Доліво-Добровольським низки нових типів трифазних двигунів і трансформаторів, а також вимірювальних приладів.*

*Надано інформацію про основні наукові публікації Михайла Доліво-Добровольського та про його професійні оцінки проектів гідроелектростанцій трифазного струму тих часів. Подано інформацію про інженерів, науковців і менеджерів – творців трифазного струму тих часів. Наведено короткі відомості про особисте життя видатного електротехніка.*

*Описано заходи щодо шанування пам'яті великого інженера, науковця та винахідника польського походження.*

**Ключові слова:** трифазний струм, асинхронна електрична машина, передача електричної енергії.

### Вступна частина

Світова історія електротехніки наповнена видатними технічними рішеннями, які своєю ефективністю забезпечили прогрес цивілізації та, одночасно, дають змогу ознайомитись з унікальними людьми – науковцями та інженерами, особистий внесок яких у прогрес не можна переоцінити. До таких рішень, безумовно, належить поява та швидкий триумф трифазного струму як основного варіанту широкого використання електроенергії у промисловості та побуті. Що ж до видатних особистостей, причетних до цього триумфу, то сучасна історія електротехніки виділяє постать Михайла Доліво-Добровольського, видатного електротехніки та родоначальника трифазного змінного струму. Технічні рішення цього талановитого інженера і винахідника, запропоновані ним для трансформації трифазного струму та асинхронних машин більш ніж 130 років тому, і сьогодні практично без змін використовуються у промисловості! Це обумовлює інтерес до його біографії та стимулює до вивчення його творчого шляху.

### Основна частина

Розташоване за 36 км від Санкт-Петербурга, невелике містечко Гатчина в середині XIX століття славилося прекрасним палацово-садовим комплексом. Діяла також професійна школа-інтернат. Її директором був Юзеф Доліво-Добровольський, дружина якого Ольга Михайлівна подарувала йому 2 січня 1862 року (21 грудня 1861 р. по новому стилю) свого первістка, Михайла. Юзеф Добровольський був нащадком одного з численних польських дворянських родів, які жили

у Великій Польщі, Сілезії та Мазовії протягом тривалого часу, а пізніше – на східних територіях Польщі.

Дідусь Михайла Флоріан займав високу посаду інспектора польової пошти в царській армії і неодноразово був нагороджений за заслуги у війні з Наполеоном. Його син і батько Михайла, перш ніж стати освітянином, також служив у російській армії, брав участь у Кримській війні і прийшов на державну службу в званні полковника. Михайло не зміг піти по стопах свого батька та діда. Його здоров'я зробило це неможливим – у нього з дитинства були хвороби серця.

У 1872 році сім'я Доліво-Добровольських переїхала в Одесу, де батько Осип Фролович з 1877 по 1880 рр. працював редактором – видавцем щоденної міської газети «Правда» та приймав участь в громадському житті міста. Михайло в 1873 вступив до початкового шестикласного середнього навчального закладу (з 1876 р – Одеське реальне училище св. Павла), який було засновано при євангелічно-лютеранській церкві св. Павла у Лютеранському кварталі міста, рис. 1.

*На жаль, ні самого реального училища св. Павла, ні його будівлі, до сьогоднішнього дня не збереглося. Воно припинило своє існування з приходом радянської влади. Навчальний заклад було перетворено у IV профтехнічну школу «Металістів». У 30-тих роках в будівлі розмістилася етнічна німецька середня школа № 38, а потім загальна середня школа № 5 з українською мовою навчання. У роки війни та окупації Одеси у будівлі бувшого училища розміщувалася німецька морська піхота. У ці ж роки будівля була зруйнована*



а – внутрішній двір Одеського реального училища св. Павла



б – центральний лютеранський кафедральний собор Св. Павла

Рис. 1. Місця перебування Михайла Доліво-Добровольського в Одесі

внаслідок авіанальоту. У 1953 році на місці руїн було збудовано будівлю головного корпусу Одеського електротехнічного інституту зв'язку ім. А.С. Попова (сьогодні – Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова.)

Можна вважати, що з того часу, коли Михайло навчався в м. Одесі, розпочався період його становлення як дослідника.

Реальне училище (від нім. Realschule) у дореволюційній Росії – середній чи неповний середній навчальний заклад, у якому істотна роль відводилася предметам природного і математичного спрямування. Навчання орієнтувалося на прикладні дисципліни – механіку, хімію, а також технологічні та комерційні предмети. Будучи учнем реального училища, Михайло зацікавився хімією – галуззю знань, яка дуже динамічно розвивалася в Росії того часу завдяки досягненням Дмитра Менделєєва. Курс навчання тривав сім років. В процесі навчання Доліво-Добровольський зарекомендував себе як один з кращих учнів, особливих успіхів від досяг у профільних технічних предметах, рис. 2, а.

Особливістю є факт, що випускники тодішніх реальних училищ могли вступати до технічних, промислових та торгових вищих навчальних закладів Російської імперії, але не до університетів. Тому, після блискучого завершення навчання в реальному училищі м. Одеси, 1 вересня 1978 року Михайло зміг продовжити своє навчання в Ризькому технічному училищі (з 1896 року – Ризькій політехнічній інститут) рис. 2, б.

Творчим результатом дворічного навчання Михайла Доліво-Добровольського в Ризі стали його експонати, першим з яких був представлений 1880 року на першій російській електротехнічній виставці в Санкт-Петербурзі, а другий (гальванічний елемент) – на Міжнародній Електротехнічній виставці у Відні (1883.); він отримав за це нагороду, свідоцтво про яку підписав перший президент Австрійської електричної асоціації, видатний фізик проф. Йозеф Стефан.

Початок 1880-х років не був одним з найбільш мирних у царській Росії. Посилювалися акти насильства і терору, організовувалися напади на царя. Спецслужби та поліція відстежували змови та потенційних бомбардувальників. Студентські кола, як найбільш схильні до «нерозумності», зазнали особливого нагляду.

Поляк, який вивчав хімію і який, будучи ще студентом, «грався» з вибухівкою, мав бути підозрюваним і, таким чином, був виключений з Ризького політехнікуму в 1881 році без права вступу до будь-яких вищих навчальних закладів Росії. У такій ситуації Михайло виїжджає з Росії та їде до Німеччини, а саме до Дармштадта (земля Гессен), де в 1877 році була заснована Дармштадтська вища технічна школа. Сьогодні це Дармштадтський технологічний університет) – один з найстаріших і найвідоміших європейських вищих технічних навчальних закладів.

Михайло Доліво-Добровольський навчається в Дармштадті на першій у світі кафедрі електротехніки, організованої там професором Еразмусом



а – учень реального училища



б – студент Ризького технічного училища

Рис. 2. Шкільні та студентські роки Михайла Доліво-Добровольського

Кітлером (Erasmus Kittler, 1852–1929), рис. 3. Він з відзнакою закінчив університет в 1884 році на першому в світі факультеті електротехніки. Саме Кітлер помітив високий інтелектуальний рівень, великі знання та ентузіазм до роботи молодого емігранта з Росії та зробив його своїм асистентом.

На цій посаді Михайло проводив лабораторні заняття та лекції у 1885–1887 роках. Йому було доручено вести курс «Електрохімія з особливою увагою до гальванопластики та металургії». Після трьох років роботи асистентом він вирішує залишити роботу в Дармштадті та шукати кращих можливостей для реалізації своїх амбіцій в електротехнічній промисловості, яка динамічно роз-

вивалась. За рекомендації професора Кітлера він подав заяву до щойно створеної берлінської компанії Deutsche Edison-Gesellschaft für angewandte Elektrizität (DEG), яка у подальшому (1888 р.) була перейменована у всесвітньо відому Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft (AEG).

Однак перед тим, як влаштуватися на роботу в цю процвітаючу компанію, він ненадовго повернувся до Одеси, щоб 11 травня 1887 року одружитися зі своїм першим коханням – гречанкою Корнелією. В Одесі з початку її заснування грецька діаспора була дуже велика, заможна та грала не останню роль в житті міста. Наречена Корнелія Фемістоклівна Тумба була не тільки іншою



*M. Dolivo-Dobrowolsky*

a



b



b



2

**Рис. 3. Навчання у Дармштадті:**

a – студентська фотографія Михайла Доліво-Добровольського; б – проф. Е. Кітлер зі своїми учнями (Доліво-Добровольський – перший справа); в – професор Еразмус Кітлер; г – будівля Дармштадтської вищої технічної школи

національності, але й належала до інших суспільних кіл. Так, одна з її сестер на ім'я Калліопа була відомою актрисою і танцівницею. Незабаром після весілля він разом з дружиною їде до Берліна, де у місцевому відділенні AEG займає керівну посаду. Це дає йому можливість проводити дослідження та експериментувати як конструктору та винахіднику, рис. 4.

Система постійного струму домінувала в техніці другої половини 19 століття. Незважаючи на зусилля вчених та інженерів, постійний струм не задовольняв швидко зростаючих потреб – насамперед промисловості. Ця система вимагала – через неможливість постачання електроенергії на відстані, що перевищували приблизно 300 м – розташування відносно великих електростанцій у центрах великих міст, що було надзвичайно обтяжливим для мешканців. Другою серйозною перешкодою, що обмежувала можливості економічного розвитку на основі цієї енергетичної системи, були двигуни постійного струму, які, обладнані механічними комутаторами, були не тільки дорогими, але й обтяжливими в експлуатації. Здатність передавати електрику на відстані, набагато більші, ніж раніше, а також простий і дешевий у виробництві та експлуатації електродвигун – мрія багатьох інженерів-винахідників та підприємців, що працювали на ринку електротехнічних послуг того часу. В цій сфері зустрілися інтереси Доліво-Добровольського та керівництва компанії, яка його найняла.

AEG дозволив Доліво-Добровольському реалізувати свої ідеї. Їм сприяє генеральний директор

Еміль Ратенау, який, відкритий до нових рішень, не боїться ризикувати. Для того, щоб представити на ринок нові продукти, він налагоджує співпрацю з директором швейцарської компанії Maschinen Fabrik Oerlikon (MFO). Ця співпраця дуже швидко принесла не тільки суттєву фінансову вигоду обом конкуруючим компаніям, але й розвиток науки, техніки та промисловості не лише європейської, а й світової.

Відкриття Ніколою Теслою та Галілео Феррарісом обертового магнітного поля, що генерується змінним струмом, стимулювало увагу вчених та винахідників у 1890-х роках, шукаючих шляхів використання його потужності в механічних пристроях для виробництва електроенергії.

Зокрема, з більшим чи меншим успіхом займалися створенням таких пристроїв Charles Schenk Bradley, Nicola Tesla, Friedrich August Haselwander, Jonas Wenström. До цієї групи також належить М. Доліво-Добровольський, який натхненний статтю Г. Ферраріса з березня 1888 р. почав розробляти простий у використанні, дешевий у виробництві та експлуатації трифазний асинхронний двигун із білковою кліткою, який мав діаметр статора 75 мм, довжину 75 мм і потужність приблизно 100 Вт. Для цього першого двигуна, побудованого на початку 1889 року, в якості статора використовувалася кільцева арматура постійного струму з 24 напівзакритими прорізами. Це рішення забезпечило більш сприятливий розподіл магнітного поля в повітряному зазорі. Обмотка була сконструйована таким чином, щоб можна



а



б

Рис. 4. Початок роботи Михайла Доліво-Добровольського в AEG  
а – історична будівля AEG сьогодні; б – з дослідницькою групою AEG

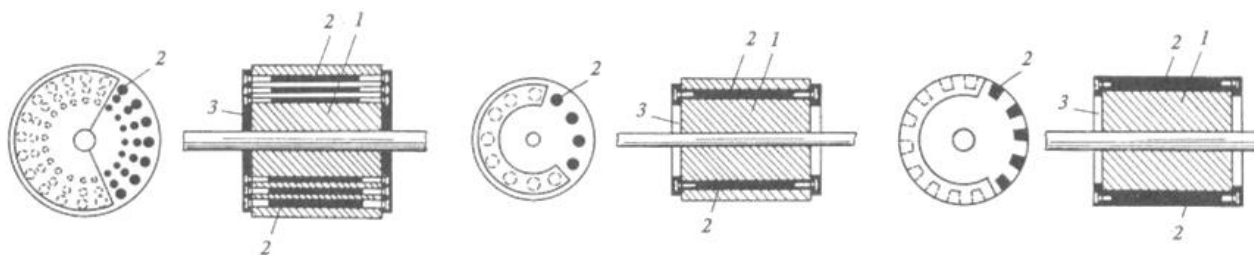


Рис. 5. Білкова клітка трифазного асинхронного двигуна згідно з заявкою на патент Михайла Доліво-Добровольського від 8 березня 1889 р. (Патент Німеччини № 51083)

було досягти перемикання кількості пар полюсів ( $2p = 2$  або  $4$ ) і різну кількість фаз – 2, 3 і навіть 6 і 12. Повітряний зазор становив 1 мм, що на той час було дуже сміливим рішенням.

Асинхронний двигун із білковою кліткою, що працює у трифазній системі змінного струму, патент на який був поданий 8 березня 1889 р., розпочав нову еру в електромеханіці, яка триває донині в епоху змінного струму, рис. 5.

Цього року М. Доліво-Добровольський також побудував абсолютно новий трифазний генератор змінного струму. Машина мала барабанний ротор з обмотками, виведеними на обидва кінці вала, кінці яких з одного боку з'єднані з комутатором, а з іншого – з трьома кільцями, з яких отримувався фазний змінний струм зі зсувом фази на  $120^\circ$ . Проведення експериментальних досліджень стало можливим завдяки трифазному джерелу змінного струму лише з трьома провідниками (сума струмів у трьох фазах дорівнювала нулю), на відміну від рішень Н. Тесли, де при різниці фаз  $60^\circ$  було потрібно шість провідників. Відкриття 3-фазної системи породило нові винаходи та дозволило розробити нові принципи побудови та методи розрахунків не тільки для трифазних двигунів, а й для трансформаторів та генераторів. Доліво-Добровольський будує різні версії двигунів – як різної потужності, так і з новими конструктивними рішеннями, в т.ч. з намотаними роторами (з можливістю підключення пускового резистора), які сьогодні називаються кільцевими роторами, і з двоклітковими роторами, що забезпечують хороші пускові характеристики. Водночас він працює над проектуванням та конструюванням різних варіантів трифазних трансформаторів, починаючи з так званого радіального (німецький патент № 56359 від 29 серпня 1889 р.), і закінчуючи класичними конструкціями сердечників, перша з яких була подана до патентного відомства 4.10.1891 р.

Роботи, виконані Доліво-Добровольським для АЕГ, яка була монополістом не тільки на німець-

кому ринку, приносять компанії значний прибуток (протягом кількох років її статутний капітал збільшується в рази), а їх автору – визнання і славу. Як науковець-винахідник, який користується великим авторитетом, його запрошують взяти участь у Першому Російському конгресі інженерів-електротехніків у січні 1890 року. Він виступає з доповіддю, яка була сприйнята учасниками з великим інтересом. Цей з'їзд став великою подією, про що свідчить урочистий сніданок у Царському Селі (нині Пушкін), у якому прийняли 300 учасників, у тому числі й цар Олександр III.

Кінець 1980-х і початок 1990-х років були особливим періодом у житті Михайла Доліво-Добровольського, сповненими професійних успіхів та здійснення в особистому житті. 23 травня 1891 р. народжується його перший син Дмитро, а через чотири роки, 21 лютого 1895 р. – другий син Серж.

На фотографії з цього періоду (рис. 6) ми можемо побачити задоволеного, усміхненого чоловіка, який повністю відповідає опису Джеймса Бірнгольца, близького партнера Доліво-Добровольського в АЕГ: «Високий стрункий чоловік з рідкою бородою і довгим обличчям з парою мудрих, проникливих очей, з яких пролизувала іронія».



Рис. 6. Михайло Доліво-Добровольський – людина успіху

В кінці 19 століття в електроенергетиці панувала система постійного струму, в яку вкладався величезний капітал. Тому для амортизації електрообладнання ніхто не прагнув зробити новачку в цій галузі, тим більше, що це було підтримано авторитетом самого Едісона. Впровадження трифазної системи вимагало великих капіталовкладень для просування на ринок. Співпрацюючі компанії AEG та Oerlikon вирішили використати для цього Всесвітню електротехнічну виставку, організовану в 1891 році у Франкфурті-на-Майні.

Доліво-Добровольський запропонував пред-

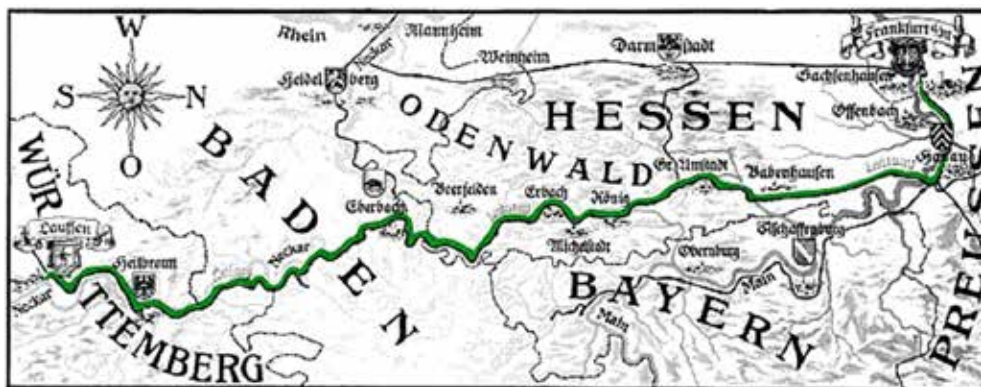
ставити на цій виставці цілісну систему трифазного струму, що складається з генератора, високовольтної лінії електропередачі, трансформаторів, двигуна та звичайних 50-ватних електричних ламп, які можна використовувати в побуті, з демонстрацією її універсальних можливостей. Відповідно до ідеї головного організатора всього проекту Оскара фон Міллера (рис. 7, а), був прийнятий сміливий проект, який передбачав використання повільно працюючої водяної турбіни як приводу генератора, розташованого у місті Лауффен, за 175 км від Франкфурта



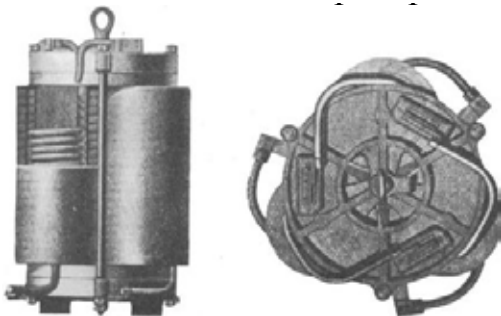
а – Оскар фон Мюллер (1855–1934)



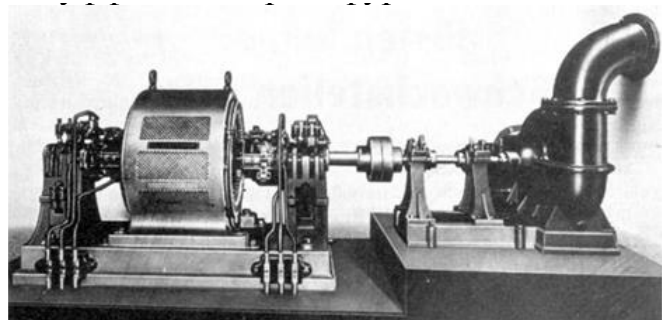
б – Трифазний генератор на ГЕС Лауффен, 1891 р. (P = 230 кВт, n = 150 об/хв, U = 95 В)



в – Лінія електропередачі від Лауффена до Франкфурта-на-Майні



г – Вигляд обмоток трифазного масляного трансформатора AEG 1891 року



д – Трифазний двигун М. Доліво-Добровольського 1891 року

Рис. 7. Побудова лінії електропередачі Лауффен – Франкфурт-на-Майні

(рис. 7. б). Для передачі потужності трифазного змінного струму 15–30 кВ до виставкової площі було за унікально короткий строк (6 тижнів!) збудовано лінію електропередач (рис. 7, в). Генератор ( $P=230$  кВт,  $n=150$  об/хв,  $U=95$  В) та два трансформатори по 150 кВА були поставлені компанією Oerlikon, рис. 7, г. Фірма AEG поставила трифазний двигун ( $P=73$  кВт), який майже в 10 разів більше, ніж ті, що були побудовані на той час (рис. 7, д). Для прокладки лінії було побудовано 3282 опори. Пробний запуск відбувся 12 серпня 1891 р., а офіційний – 25 серпня 1891 р. ( $\eta = 75\%$ ).

Прихильність М. Доліво-Добровольського до її реалізації, а також сила волі та характер винахідника свідчать про надзвичайно ризикований спосіб, яким він переконав комісію, відповідальну за прийняття рішення про запуск цієї лінії. На очах у членів цієї комісії він підняв (навмисно) відключений провід цієї лінії від землі, продемонструвавши тим самим відсутність будь-якої небезпеки, що було не так очевидно, але комісія була переконана.

Виставкова презентація електроенергетичної системи виявилася вдалою. Електрика, що надсилалася здалеку, «рухала» двигун, що приводив у рух водяний насос 10-метрового водоспаду, каскад якого прекрасно виблискував у світлі 1000 електричних лампочок, встановлених на виставці. Всю систему передачі оцінила комісія, яка протягом кількох днів провела точні виміри.

Результати підтвердили рентабельність використання представленої трифазної системи змінного струму. Повідомлення репортерів та кореспондентів преси того часу були приголомшливими, а коментарі викликали захоплення.

Одночасно з виставкою у Франкфурті проходив Міжнародний електротехнічний конгрес. У ньому взяли участь 750 осіб. Під час другого пленарного засідання учасники конгресу (включаючи видатних науковців) мали дуже довгу, іноді бурхливу дискусію щодо терміну "Drehstrom" (трифазний струм) Михайла Доліво-Добровольського. Незважаючи на відсутність одностайності, цей термін кілька разів використовувався в офіційних матеріалах після конгресу.

Після виставки у Франкфурті було визначено напрямок розвитку електротехніки та енергетики. За короткий час було припинено не тільки будівництво електростанцій з генераторами постійного струму, а й з одно- та двофазними машинами змінного струму. Будівництво нових електростанцій розпочалося дуже швидко і виключно в системі трифазного струму. Через шість років

після успіху у Франкфурті AEG запускає перші "трифазні" теплові електростанції – у Забже та Хожуві (Польща). У Росії перше застосування трифазної системи відбулося при електрифікації ліфта в Новоросійську, для чого під керівництвом інж. А. Н. Щенсновича електростанція була побудована у складі з 4 синхронних машин 300 кВА концерну ВВС.

Добровольський починає проектувати наступне покоління трифазних двигунів та трансформаторів і отримує на них подальші патенти. Він також розробляє нові типи трифазних генераторів струму та вимірювальних приладів, у т.ч. фазометр і частотомір. Він також займається питаннями електричної дуги, розробляючи так звані камери гасіння дуги у високовольтних вимикачах. Запатентований ним метод гасіння електричної дуги в розподільних пристроях мав велике практичне значення і, подібно до введеної ним концепції коефіцієнта потужності  $\cos \varphi$ , залишається чинним донині.

У 1894-1895 роках він проводив дослідження над потужними генераторами, які могли бути використані на гідроелектростанціях. Це питання було детально проаналізовано під час будівництва (1898) першої у світі трифазної гідроелектростанції в Райнфельдені на швейцарсько-німецькому кордоні. Доліво-Добровольський ознайомився з генератором, спроектованим Брауном для гідроелектростанції в Лаффені, і критично інтерпретував отримані результати. Він виявив, серед іншого, що генератор мав занадто високу дисперсію магнітного поля і малий магнітний потік, що призводило до значного падіння напруги під час навантаження генератора.

Доліво-Добровольський представив результати своїх міркувань щодо генератора для проєктованої гідроелектростанції в Райнфельдені у статті під назвою "Stadium der Bauart der Drehstrom-Generatoren", включеної до журналу "Elektrotechnische Zeitschrift" у 1894 році. У своїй концепції він запропонував нові технічні параметри, особливо з точки зору побудови водяних турбін та їх мінімальної швидкості обертання. У висновках свого аналізу він зробив зауваження щодо необхідності усунення комутатора, що спростило конструкцію та експлуатацію, а також дозволило перенести обмотку на нерухомий статор. Це рішення також дозволило спростити з'єднання з приводним двигуном (наприклад, водяною турбіною) і стало прототипом конструкцій, що використовуються на більшості європейських електростанцій.



Приблизно у той же час М. Доліво-Добровольському було запропоновано зайняти посаду декана новоствореного в Росії електротехнічного факультету Петербурзького політехнічного інституту. Доліво-Добровольський консультує університет, організує закупівлю обладнання та навіть надає факультету приватну колекцію спеціалізованої літератури. Однак він не бере на себе запропоновану функцію, вибачаючись за погане самопочуття.

Незабаром М. Доліво-Добровольський отримує ще більше визнання та відзнаки. У 1900 році він був відзначений золотою медаллю Всесвітньої виставки в Парижі за досягнення в галузі «трифазної» електротехніки. Його діяльність забезпечила йому обрання до Verband Deutscher Elektrotechniker – VDE (Асоціація німецьких інженерів-електриків). Він працює в трьох комітетах VDE: стандартизації та електричних машин, правил електротехнічної безпеки та магнітного гістерезису.

Імовірно, за станом здоров'я, Добровольський переїхав до Швейцарії в 1903 році. Він також намагається отримати швейцарське громадянство та отримує його у 1905 році. З невідомих нам причин він розлучився у березні 1907 р., а через п'ять місяців одружився в Лозанні повторно на Хедвіг фон Таак-Транкранен, художниці та власниці друкарні в Берліні.

Період багаторічного перебування Михайла Доліво-Добровольського у Швейцарії відносно мало відомий. Ймовірно, він весь час співпрацював з АЕГ, оскільки в 1908 році він обійняв посаду директора Берлінського заводу електричних приладів компанії. Тому він переїжджає до Німеч-

чини, підтримує постійні контакти з Технічним університетом у Дармштадті, який у 1911 році «за видатний внесок у розвиток електротехніки» відзначив його званням доктора «honoris causa» (почесний доктор), рис. 8.

У 1914 році розпочинається Перша світова війна. Перебуваючи в Німеччині, Михайло Доліво-Добровольський відчуває всі неприємності, пов'язані з бідністю у війні. У цей складний період – натхненний старшим колегою, широко шанованим професором Йозефом Епштейном – він пише велику історію створення системи трифазного струму. Ця праця опублікована у 1917 році як “Aus der Geschichte des Drehstromes” у трьох наступних номерах “Elektrotechnische Zeitschrift”, рис. 9.

Перша світова війна закінчилася. 11 листопада 1918 року Польща здобула незалежність. Михайло Доліво-Добровольський надсилає вітальну телеграму до Варшави. У ці дні плутанини, хаосу та невизначеності завтрашнього дня відбувається наукова зустріч VDE (27 листопада 1918 р.), на якій Михайло Доліво-Добровольський читає лекцію про межі використання трифазного струму. В атмосфері гарячої дискусії, яку ведуть люди з безперечним авторитетом, переважають голоси здивування.

Але саме автор статті має право окреслити перспективи постійного струму як ланки для великих трифазних систем. Це бачення здійснилося на початку 1960-х років, коли було створено високовольтні лінії постійного струму, для передачі електроенергії великої потужності на далекі відстані підводними кабелями, а також як вставки постійного струму для зв'язку між собою несинхронізованих електромереж змінного струму, як це передбачав Добровольський у функціонуванні великих енергосистем.

На жаль, стан здоров'я М. Доліво-Добровольського продовжує погіршуватися. Напружена робота посилює серцеві захворювання. 15 березня 1919 року він повертається до міста студентської молодості – Дармштадта. Однак він більше не працює у своєму університеті.

У цей час він переживає епідемію грипу. Тритижневе перебування в університетській клініці в Гейдельберзі не допомогло – він помер 15 жовтня 1919 року. Його могила, поділена з другою дружиною Хедвіг (померла у 1943 році), знаходиться в Дармштадті.



Рис. 8. Почесний доктор Технічного університету у Дармштадті



a

b



в

Рис. 9. Стаття Михайла Доліво-Добровольського у трьох послідовних випусках журналу “Elektrotechnische Zeitschrift”:

a – Heft 26, Berlin, 28. czerwca 1917 r.; б – Heft 27, Berlin, 5. czerwca 1917 r., в – Heft 28, Berlin, 12. czerwca 1917 r.

Ще при житті М. Доліво-Добровольського та після його смерті у наукових колах тривала суперечка про те, хто був фактичним творцем системи трифазного струму. Називались прізвиська інших науковців, пов'язаних із відкриттями та винаходами у цьому напрямку. Ця суперечка була вирішена спеціально призначеною комісією VDE у 1957 році.

Ця комісія чітко визначила фундаментальний внесок і значення творчості Доліво-Добровольського, рис. 10 [1–7]:

«перший – Галілео Ферраріс, італійський електротехнік (1847–1897) – насправді мав у своєму розпорядженні правило (закон), але він відклав його публікацію на 3 роки і не зрозумів практичного змісту ідеї;

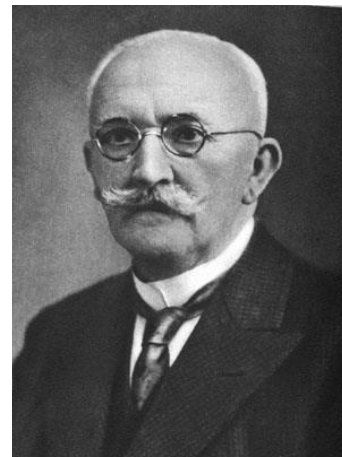
другий – Чарльз Шенк-Бредлі, американський електротехнік (1853–1929) – добре обізнаний у цьому питанні, крок за кроком прийшов до рішення у технічно корисній формі, але обмежився заявкою на патент; він не замислювався про практичну реалізацію цього пристрою;



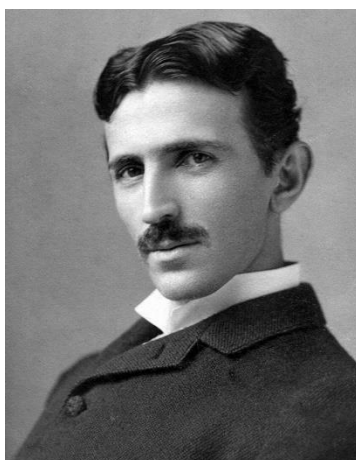
Галілео Ферраріс



Чарльз Ш. Бредлі



Фрідріх А. Газельвандер



Нікола Тесла



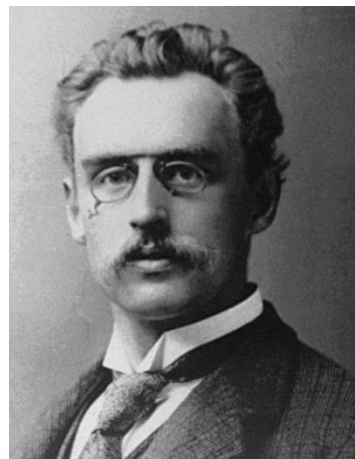
Йонас Венстрем



Михайло О. Доліво-Добровольський



Еміль М. Рагенау



Шарль Е. Л. Браун

**Рис. 10. Творці трифазного струму (за визнанням комісії Verband Deutscher Elektrotechniker у 1957 р.)**

*третій – Фрідріх Август Газельвандер, німецький інженер (1859–1993) – випадково знайшов правильне рішення, правильно визнав його цінність і використав його в невеликих масштабах; однак йому бракувало капіталу та вмілої реклами;*

*четвертий – Нікола Тесла, американський інженер і фізик сербського походження (1856–1943) – подумки розробив рішення проблеми, мріяв про нього децю фантастичними мріями, але не створив технічного рішення;*

*п'ятий – Йонас Венстрем (1855–1893), шведський інженер і винахідник – правильно побачив проблему, знайшов продумані рішення, але записався на 2 роки;*

*шостий – Михайло Осипович Доліво-Добровольський (1862–1919), поляк, уродженець Російської імперії, німецький інженер, електрик і винахідник – добре знав проблеми передачі енергії та конструкції електричних машин, але найбільше йому пощастило працювати під керівництвом блискучого менеджера Еміля Моріца Ратенау (1838–1915), який міг зазирнути далеко в майбутнє;*

*сьомий – Шарль Ежен Ланселот Браун (1863–1924), швейцарський інженер – сприяв вирішенню труднощів, пов'язаних з технікою високої напруги при передачі енергії».*

Після смерті М. Доліво-Добровольського журнал "Elektrotechnische Zeitschrift" опублікував великі мемуари, в яких він характеризується як чутлива, життєрадісна, безпосередня, відкрита людина, добра не тільки до своїх рідних, з видатним інтелектом, яка в дискусіях виявляла глибокі знання технічних питань, але також вражала знаннями світової літератури та мистецтва.

Було підкреслено його особисту культуру та сердечне ставлення до всіх людей, яких він зустрічав.

#### Висновки

Історія життя та діяльності Михайла Доліво-Добровольського є прекрасною ілюстрацією важливого етапу в історії електротехніки, а саме, етапу створення і широкого впровадження трифазного струму. Вивчення його життя показує, як творча особистість може впливати на напрями розвитку науки і техніки, а отже, на якість і рівень суспільного життя. Для цього потрібні певні умови, до

яких, насамперед, належать соціальні потреби в конкретних товарах і послугах, творчі люди – керівники дослідницьких та впроваджувальних груп, а також менеджери, які мають бачення та сміливість забезпечити належне фінансування досліджень та їх впровадження.

Зазначимо, що широке вшанування наукових здобутків Михайла Доліво-Добровольського та суспільна оцінка їх значення для технічного прогресу почалась за ініціативи Товариства електриків Польщі (Stowarzyszenie Elektryków Polskich, SEP). Так, 5-та Міжнародна конференція з нетрадиційних електромеханічних та електричних систем (UEES'01), організована Електротехнічним інститутом Щецинського університету у 2001 році, була присвячена 110-річчя першої у світі передачі електроенергії на великі відстані з використанням високовольтного трифазного струму. На початку конференції було проведено семінар про життя та творчість Михайла Доліво-Добровольського. Важливою подією конференції стало встановлення у Щецині пам'ятного каменя як місця майбутнього пам'ятника Михайлу Доліво-Добровольському, рис. 11, а. Тоді ж на прохання SEP міська рада Щецина вирішила назвати одну з площ біля Електротехнічного інституту іменем Доліво-Добровольського.

У червні 2022 року у рамках Міжнародного дня електрика за ініціативою SEP у Щецині було відкрито пам'ятник-лаву М. Доліво-Добровольському у сквері, який носить ім'я цього видатного електротехніка (рис. 11, б).

У 2007 році SEP започаткувала пам'ятну медаль «Михайло Доліво-Добровольський», якою нагороджуються польські та зарубіжні науковці, що внесли суттєвий внесок у розвиток сучасної електротехніки (рис. 12).



а



б

Рис. 11. Пам'ятні знаки на честь Михайла Доліво-Добровольського



Рис. 12. Перша пам'ятна медаль «Михайло Доліво-Добровольський»

Таким чином, Польща вперше вкрай гідно вшанувала цього великого інженера, науковця та винахідника польського походження.

Сучасні дослідники історії електротехніки свідчать, що Доліво-Добровольський – символ європейської електротехніки, так само як і Едісон – американської. Він зіграв видатну роль в історії світової електротехніки. Він зробив фундаментальний внесок у вирішення найважливішої енергетичної проблеми на рубежі 19–20 століть.

Українським електротехнікам та історикам техніки також слід пишатися тим, що цей видатний електрик світового рівня свої перші кроки як дослідник зробив в Україні, коли ще зовсім юним зацікавився природничими науками та активно експериментував з хімічними речовинами.

#### Список літератури:

1. Феррарис, Галилео. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Феррарис,\\_Галилео](https://ru.wikipedia.org/wiki/Феррарис,_Галилео)
2. Charles Schenk Bradley. [https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Charles\\_Schenk\\_Bradley.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Charles_Schenk_Bradley.jpg)
3. Friedrich August Haselwander. [https://de.wikipedia.org/wiki/Friedrich\\_August\\_Haselwander](https://de.wikipedia.org/wiki/Friedrich_August_Haselwander)
4. Н. Тесла. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Тесла,\\_Никола](https://ru.wikipedia.org/wiki/Тесла,_Никола)
5. Jonas Wenström. [https://en.wikipedia.org/wiki/Jonas\\_Wenstr%C3%B6m](https://en.wikipedia.org/wiki/Jonas_Wenstr%C3%B6m)
6. Emil Rathenau. [https://en.wikipedia.org/wiki/Emil\\_Rathenau](https://en.wikipedia.org/wiki/Emil_Rathenau)
7. Charles E. L. Brown. [https://en.wikipedia.org/wiki/Charles\\_Eugene\\_Lancelot\\_Brown](https://en.wikipedia.org/wiki/Charles_Eugene_Lancelot_Brown)

#### Szymczak P., Blintsov V.S., Boyko A.O., Burunina Zh.Yu. MYKHAYLO DOLIVO-DOBROVOLSKY: WORLDWIDE PERSONALITY (to the 160th anniversary of the scientist's birth and the 130th anniversary of the first transmission of electricity by three-phase current)

*The main stages of life and professional development of the outstanding engineer and scientist, inventor of three-phase current Mykhailo Dolivo-Dobrovolsky are described. Information provided by his parents, little-known to the Ukrainian reader facts from his childhood and adolescence. Information on education in Odessa and Riga, on the first attempts to carry out student applied research and their recognition is given. Information on Mikhail Dolivo-Dobrovolsky's electrical engineering education and the first stage of his professional activity as a lecturer at Darmstadt University of Technology is presented in more detail.*

*The role of the leading professor Erasmus Kittler in the formation of a young electrician is shown.*

*The main stages of life and professional development of the outstanding engineer and scientist, inventor of three-phase current Mykhailo Dolivo-Dobrovolsky are described. Information about his parents, little-known to the Ukrainian reader facts from his childhood and adolescence are provided. Details on education in Odessa and Riga, on the first attempts to carry out student applied research and their recognition are given. Information on Mikhail Dolivo-Dobrovolsky's electrical engineering education and the first stage of his professional activity as a lecturer at Darmstadt University of Technology is presented in more detail. The role of the leading professor Erasmus Kittler in the formation of a young electrical engineer is shown.*

*Reference on Mykhailo Dolivo-Dobrovolsky's work in the newly created German company Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft (AEG) is given. Briefly described his creative activity on design of easy-to-use, cheap in production and operation three-phase asynchronous motor with protein cell. Information on the creation of a three-phase current system to power a three-phase asynchronous motor is provided. Details of the design and construction of three-phase transformers, which allowed the transmission of electricity over long distances is given.*

*The contribution of Mykhailo Dolivo-Dobrovolsky to the implementation of a unique experiment – the world's first transmission of three-phase electric energy over a distance of 175 kilometers – is presented. Brief description on the design of a synchronous generator as a source of electrical energy, which is driven by a hydraulic turbine. The construction of the world's first high-voltage power line, which provided electricity to the World Electrotechnical Exhibition, organized in 1891 in Frankfurt am Main is shown.*

*About the development by Mikhail Dolivo-Dobrovolsky of a number of new types of three-phase motors and transformers, as well as measuring instruments are concisely described.*

*The main scientific publications of Mykhailo Dolivo-Dobrovolsky and on his professional evaluations of projects of hydroelectric power plants of three-phase current of that time are covered. Information about engineers, scientists and managers – creators of three-phase current of those times is given. Brief information about the personal life of an outstanding electrician is given.*

*Measures to honor the memory of the great engineer, scientist and inventor of Polish origin are described.*

**Key words:** *three-phase current, asynchronous electric machine, electric energy transmission.*