

УДК 005+001.4

## ГАБРИЭЛЬ КРОН (1901 – 1968): ЖИЗНЬ, РАБОТА, НАСЛЕДИЕ

Петров Андрей Евгеньевич, доктор технических наук, профессор кафедры автоматизированного проектирования и дизайна НИТУ МИСИС, академик РАЕН, член Русского космического общества и Международной научной школы устойчивого развития им. П.Г. Кузнецова, главный редактор электронного научного издания «Устойчивое инновационное развитие: проектирование и управление»

### Аннотация

*В статье освещаются детали биографии и научной работы выдающегося инженера и ученого-системщика Габриэля Крона, а также некоторые направления деятельности его последователей. Его пионерские труды по тензорному анализу сетей и диакоптика (исследованию сложных систем по частям), опередившие время, остаются незаслуженно забытыми широкой научной публикой и находят продолжение лишь среди ограниченного круга энтузиастов, в том числе в России. Статья подготовлена 20 марта 2024 г.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** Габриэль Крон, тензорный анализ сетей, диакоптика, сетевые модели, исследование сложных систем по частям.

## GABRIEL KRON (1901 – 1968): LIFE, WORK, LEGACY

Petrov Andrey Evgenievich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Computer-Aided Engineering and Design at NUST MISIS, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, Member of the Russian Cosmic Society and International Scientific School of Sustainable Development named after P.G. Kuznetsov, editor-in-chief of the electronic scientific publication “Sustainable Innovative Development: Design and Management”

### Abstract

*The article highlights the details of the biography and scientific work of the outstanding engineer and systems scientist Gabriel Kron, as well as some areas of activity of his followers. His pioneering works on tensor analysis of networks and diakoptics (the study of complex systems in parts), ahead of their time, remain undeservedly forgotten by the general scientific public and are continued only among a limited circle of enthusiasts, including Russian scientists. The article was prepared on March 20, 2024.*

**KEYWORDS:** Gabriel Kron, tensor analysis of networks, diakoptics, network models, study of complex systems in parts.

Габриэль Крон — американец венгерского происхождения, инженер-электротехник, который внес вклад в теорию систем. Создал единую теорию электрических машин, на основе применения тензорного подхода в технике с использованием измеримых величин. Далее разработал тензорный анализ сетей, который применил для создания сетевых моделей технических и физических систем, их расчета по частям. Метод получил название диакоптика.

Начал разрабатывать теорию многомерных (полиэдральных) сетей с электромагнитными волнами. Применил полиэдральные сети в качестве пространственного фильтра для задач многомерных задач обработки данных. Показал, что полиэдральная сеть при возбуждении электромагнитными волнами может вести себя как «самоорганизующийся автомат», со свойствами искусственного мозга. Пока опыты по самоорганизации полиэдров повторить не удалось, но, как и секреты старых мастеров эта загадка манит новых

исследователей. История работы Крона прошла типичный путь научных прорывов: «этого не может быть», «в этом что-то есть», «да это все знают».

Габриэль Крон родился 23 июля 1901 года в маленьком городке Байя Маре, в отдаленном районе Карпатских гор в Австро-Венгрии (Трансильвания). После войны район отошел к Румынии. Габриэль был младшим, восьмым ребенком в семье торговца овощами. По вечерам отец за столом читал Талмуд.

В школьные годы изучал физику, математику, астрономию. Решив ехать на обучение в США, стал учить английский язык. С трудом нашел словарь, учил наизусть страницу в день, и выбрасывал ее. Уничтожив словарь, начал читать книгу, и так освоил язык.

Габриэль обучал старшего брата Джозефа, у которого было только 5 классов школьного образования. В 1920 году Джозеф успешно сдал экзамены, и братья уехали в США, где жили случайными заработками: работа на посудомоечной машине, помощник официанта или рабочий на швейной фабрике. В 1922 братья скопили достаточно денег для учебы в университете штата Мичиган. Они продолжали и учиться, и работать. Габриэль придумал девиз: «Есть только два занятия, совместимые с человеческим достоинством — исследование атомной структуры и рытье канав». На последнем курсе написал очерк «Основы новой космологии», где попытался описать вселенную как инженер, игнорируя такие препятствия, как законы гравитации и относительности.

В 1925 году Габриэль окончил обучение и отправился в кругосветное путешествие, но в Лос-Анджелесе у него кончились деньги. Он заработал в электротехнических компаниях и в 1926 снова отправился в путешествие на танкере на Таити. В Сиднее он снова остался без денег, заработал и продолжил путешествие в район Северной Австралии и далее на Фиджи. Здесь он закончил чтение книги Форсайта «Трактат о дифференциальных уравнениях». Нашел книгу по векторному анализу и понял, что это будет мощным инструментом для проектирования техники.

Далее морем через Сайгон, Борнео, Манилу до Гонконга, пешком дошёл до Ангкор-Ват, присоединился к каравану до Рангуна. На лодке добрался до Калькутты, дошел до Агры с Тадж-Махалом, на поезде доехал до Карачи, добрался до Багдада, Дамаска, Каира, увидел пирамиды. Затем морем и на поезде весной 1928 г. Крон вернулся домой в Румынию. Ни один мужчина или женщина, интеллигент, купец или профессор не спросил его: расскажи нам, что ты делал среди девушек Океании, видел ли Тадж Махал, ходил в Гималаи? Соседи не могли понять, почему он вернулся из Америки без долларов, когда все приезжали богатыми (сведения из биографии Г. Крона здесь и далее приведены по книге [1]).

Дома Крон придумал свой способ применения тензорного анализа в электротехнике, и в США в 1930 г. опубликовал статью «Обобщенная теория электрических машин» [2]. В то время электрическая машина считалась настолько сложной системой, что для каждого типа нужна своя теория. Однако все машины реализуют один и тот же процесс электромеханического преобразования энергии. Крон предложил использовать для их описания только измеримые величины. Это позволило определить диаграммы, которые показывают величину и направление потоков энергии между частями сложной машины. Диаграммы применены для описания трансформатора и электрических машин. Статью многие одобрили, включая Н. Винера, но указали на громоздкость применения графического метода на практике.

В 1934 опубликована статья «Нериманова динамика вращающихся электрических машин» [3], которую много лет спустя в Японии назвали «эпохальной». Различные электрические машины рассматриваются как проекции одной обобщенной машины в частных системах координат пространства, структуры которого меняется в зависимости от режима работы машины. Для вращения с постоянной скоростью – евклидово пространство, для режима ускорения – риманово, с кривизной, а для режима малых колебаний (качаний) – нериманово, с кривизной и кручением. Уравнение поведения обобщенной машины получено в тензорном виде, с ковариантной производной, тензором кривизны, другими понятиями математики, которые еще не применяли в электротехнике. Уравнение другой машины получали из обобщенной с помощью преобразования координат, заданного схемой соединения обмоток машины. С 1934 года до выхода на пенсию в 1966 году Крон работал в компании «Дженерал электрик».

Идеи тензорного метода развиты в книге «Тензорный анализ сетей», опубликованной в 1939 году [4]; второе издание, с новым предисловием, где говорилось о полиэдральных сетях, вышло в 1965 году [5]. Перевод на русский язык, под редакцией Л.Т. Кузина и П.Г. Кузнецова – в 1978 году [6]. В 70-80-х гг. на семинарах П.Г. Кузнецова показаны преимущества тензорной методологии для проектирования сложных систем, а на семинарах Л.Т. Кузина обсуждались приложения тензоров для проектирования технических и информационных систем.

Крон предложил рассматривать электрическую сеть как тензор, а различные способы соединения ветвей – как ее проекции в системы координат. Токи в соединенной сети выражаем через токи в простейшей сети из отдельных ветвей. Это дает матрицу преобразования, которая позволяет выразить преобразования напряжений и сопротивлений. Но для этого надо считать, что мощность при соединении ветвей не меняется, а это не так. Соединение замкнутых ветвей

в сеть требует размыкания части контуров, их становится меньше, матрица преобразования оказывается прямоугольной. Такая матрица не имеет обратной, а значит нельзя после соединения выразить обратную операцию разделения ветвей, а в жизни это делать можно.

На метод Крона обрушились с критикой. В чем же состояла критика работ Крона? Например, Б. Хоффман, сотрудник А. Эйнштейна, сначала отверг работы Крона за прямоугольные матрицы преобразования структуры соединения. Однако в рамках курса по теории электромагнетизма была лекция по расчету электрических цепей. Применяв на пробу тензорный метод, Хоффман получил правильные результаты. Это было удивительно – метод имеет противоречия, но работает. Эйнштейн знал о работах Крона, который использовал в практических задачах нериманову динамику общей теории электрического и гравитационных полей. Была и жесткая, на уровне оскорблений, критика как за рубежом, так и в СССР.

В 40-х годах Крон создал модели, в виде электрических цепей, для уравнения Максвелла, Шредингера, Навье-Стокса, многоатомных молекул, ядерного реактора, систем электроэнергетики, диафрагмы турбин. Это позволяло исследовать физические системы на аналоговых машинах, например, радиолокацию в период войны.

В 1955 году на русский язык перевели книгу «A short course in tensor analysis for electrical engineers», написанную на основе работ 1932-1939 годов, под названием «Применение тензорного анализа в электротехнике» [7].

С развитием ЭВМ в 50-60-е годы разработаны применения моделей для расчета систем по частям. Это позволило представить единым методом, эквивалентными электрическими цепями многие предметные области. Разрывание на части и параллельный расчет обеспечило уменьшение объемов вычислений. Около 20 статей в 1963 году собраны и опубликованы в книге «Диакоптика – исследование сложных систем по частям», что стало основой применения тензорной методологии в теории систем. «Диакоптика» переведена на русский язык в 1972 году [9].

Совокупность сетей из точек, отрезков, плоскостей и т.д., до  $n$ -мерных симплексов, при возбуждении электромагнитными волнами Крон назвал волновым автоматом. Он считал, что полиэдральный волновой автомат в задачах когнитивного типа (таких как, распознавание образов и др.) может играть роль «искусственного мозга», в котором каждый «нейрон» представлен магнитогидродинамическим генератором. Это может стать перспективным направлением развития модели искусственного мозга на принципиально новой основе.

Крон и библиотекарь Тоулан вместе ходили на работу и обратно. За несколько километров обсуждали научные и философские вопросы. После спора о природе времени

Тоулан сказал, что следует прочитать одиннадцатую книгу откровений Блаженного Августина. Крон надолго замолчал, а потом сказал, что это была хорошая беседа. В последнее время что-то еще вошло в его голову. Он стал говорить о существовании кратчайших разрезов в пространстве, по которым можно путешествовать между планетами. Возможно, Крон слишком опередил свое время? Он умер после короткой болезни 25 марта 1968 года.

Работа Крона вышла далеко за пределы электротехники, составив новое направление в теории систем. После его неожиданной кончины был проведен семинар в США. Доклады коллег, друзей из США, Англии, Японии по разным сторонам тензорного метода в 1973 году были изданы книгой «Габриэль Крон и теория систем» [10].

В нашей стране первой работой по применению тензорного метода для расчета асинхронной машины с конденсаторами была кандидатская диссертация А.С. Шаталова в 1941 году [11]. После защиты автор ушел на фронт, получив в 1945 году диплом кандидата наук. В 40-50-х годах на семинарах А.А. Андропова были выполнены работы по применению тензорного метода для расчета задач в области электромеханики, в частности А.В. Гапоновым-Греховым. Тензорный метод развивали В.А. Веников, И.П. Копылов. С 1975 по 1980 годы проводились семинары в институте Социологических исследований АН СССР, МГИМО и Дипломатической Академии МИД СССР (Б.Е. Большаков), где обсуждались возможности применения тензорных методов для построения моделей развития страны как социально-природной системы, а затем в институте систем управления Госплана России (1981-1985 гг.) с целью отработки компьютерных систем контроля за ходом подготовки и выполнения решений.

В 1985 году вышла книга А.Е. Петрова «Тензорная методология в теории систем» [12], в которой рассмотрены идеи Крона, приведены примеры расчета экономических систем с использованием тензорной методологии. Показано, что мощность является инвариантом изменения структуры двух сетей с двойственной структурой, в которых открытые и замкнутые пути дополняют друг друга. Матрицы преобразования теперь связывают не токи, а замкнутые и открытые пути, как координаты в пространстве структуры. Это стало решением проблемы инварианта мощности и прямоугольных матриц Крона. Инвариант двойственности, как закон сохранения потока энергии, позволил создать сетевые модели предприятий нефтепереработки, шахтной вентиляции, логистики, межотраслевого баланса, банков и др., с практическими применениями. Результаты опубликованы в книге «Тензорный метод двойственных сетей» в 2007 г. [13], учебниках под общим названием «Тензорная методология моделирования сложных систем» в 2023 г. [14].

Тензорный метод использовал для разработки информационных систем, методов анализа программ А.Е. Арменский в 1989 г. [15], применила в создании программного комплекса для расчета сложных электрических цепей «Диакоптика» Н.Г. Милославская в 1988 г. [16]. В Ивановском Государственном университете Г.А. Зайцев и его сотрудники исследовали математические основы метода разрывания Крона с точки зрения теории категорий и алгебраической физики, о чем писал Е.В. Сметанин в 1989 г. [17]. Результаты применяли для анализа транспортных систем Р.И. Образцова, П.Г. Кузнецов, С.Б. Пшеничников, книга опубликована в 1996 г. [18].

В лингвистике тензорные методы применял В. Сухотин (1978 г.). Построена геометрическая модель анализа текстов, дающая возможность изучать смысловые инварианты, сохраняющиеся при переводах и пересказах [19].

Вместе с тем, многие фундаментальные и практические идеи и результаты Габриэля Крона еще ждут своих исследователей и разработчиков.

### Литература

1. Kron G. The Life and Times of Gabriel Kron or Walking Around the World – and Tensors / ed. by Philip Alger. — Schenectady, NY: Mohawk Development Service, 1969.
2. Kron G. Generalized theory of electrical machinery // AIEE Transactions, 49, 666-683 (1930).
3. Kron G. Non-Riemannian dynamics of rotating electrical machinery // J. Math. Phys. 13, 103-194 (1934).
4. Kron G. Tensor analysis of networks. — New York: Wiley; London: Chapman & Hall, 1939.
5. Kron G. Tensor analysis of networks. 2<sup>nd</sup> ed., with a new introduction. — London: MacDonald, 1965. — 635 pp.
6. Крон Г. Тензорный анализ сетей. — М.: Советское радио, 1978. — 720 с.
7. Крон Г. Применение тензорного анализа в электротехнике. — М.-Л.: Госэнергоиздат, 1955. — 275 с.
8. Kron G. Diakoptics; the piecewise solution of large-scale systems. — London: MacDonald, 1963. — 166 pp.
9. Крон Г. Исследование сложных систем по частям (диакоптика). — М.: Наука, 1972. — 544 с.
10. Gabriel Kron and Systems Theory / ed. by H.H. Happ. — Schenectady, NY: Union College Press, 1973.

11. Шаталов А.С. Работа асинхронной машины с конденсаторами (генераторные и двигательные установки). Диссерт. канд. техн. наук. — Новочеркасск: Новочеркасский индустриальный институт им. С. Орджоникидзе, 1941.
12. Петров А.Е. Тензорная методология в теории систем. / [Предисл. В.А. Веникова]. — М.: Радио и связь, 1985. — 152 с.
13. Петров А.Е. Тензорный метод двойственных сетей. — М.: ООО «ЦИТиП», 2007. — 496 с. Дополненное интернет издание на портале Университета «Дубна», 2009 — 602 с. Режим доступа: [http://www.uni-dubna.ru//images/data/gallery/70\\_971\\_tenzorny\\_method25\\_02.pdf](http://www.uni-dubna.ru//images/data/gallery/70_971_tenzorny_method25_02.pdf).
14. Петров А.Е. Тензорная методология моделирования сложных систем. Теоретические основы (N 4664): учебник / А.Е. Петров; НИТУ МИСИС, Ин-т информационных технологий и компьютерных наук. — М.: Изд-во МИСИС, 2023. — 205 с. — Режим доступа: [http://lib.msk.misis.ru/elib/view.php?id\\_abs=987768402](http://lib.msk.misis.ru/elib/view.php?id_abs=987768402). — ISBN 978-5-907560-27-7.
15. Арменский А.Е. Тензорные методы построения информационных систем. — М.: Наука, 1989. — 152 с.
16. Милославская Н.Г. Применение программного комплекса «Диакоптика» для расчета сложных электрических цепей / Н.Г. Милославская, И.В. Пищулин. — М.: МИФИ, 1988. — 22 с.
17. Сметанин Е.В. Роль инвариантности мощности в тензорном анализе сетей // сб. «Управление в сложных системах». — Иваново: ИвГУ, 1989.
18. Образцова Р.И., Кузнецов П.Г., Пшеничников С.Б. Инженерно-экономический анализ транспортных систем / под. ред. К.В. Фролова. 2-е изд., стереотип. — М.: Радио и связь, 1996. — 192 с.
19. Сухотин Б.В. Основные проблемы грамматики и семантики в тензорном исчислении / сб. «Проблемы структурной лингвистики». — М.: Наука, 1978. — С. 234-288.