

П. А. ФЛОРЕНСКИЙ И СТАНОВЛЕНИЕ УЧЕНИЯ О МЕХАНИЗМАХ

А. Н. БОГОЛЮБОВ (Киев)

Начатые в конце 20-х годов преобразования народного хозяйства Советского Союза обострили внимание к теоретическим проблемам машиностроения. Действительно, машиностроение в значительной мере приходилось создавать заново, так как некоторые его отрасли в нашей стране находились в зачаточном состоянии, а наиболее важные направления машиностроительной промышленности вообще отсутствовали. Для развития машиностроения потребовались кадры, и вплотную встал вопрос о преподавании теории машин, которую в начале 30-х годов представляла прикладная механика, обычно излагаемая в виде двух курсов — кинематики механизмов и динамики машин.

В 1932 г. стихийно возникла дискуссия о содержании курса прикладной механики. Начало дискуссии было положено статьей П. П. Капустина «За социалистическую теорию машин» в № 1 новой газеты «Техника». Основной мыслью его выступления было то, что в курсе прикладной механики рассматривается ограниченное число простейших механизмов, а распространенные электромеханизмы, а также технологические машины с их богатством механизмов совсем не изучаются. Подобные мысли высказывались и ранее. Академик Д. А. Граве в 1930 г. издал учебник прикладной механики — «Теоретическая механика на основе техники». В третьем разделе учебника, посвященном механике машин, излагалось общее учение о движении машин, теория регулирования хода машин, теория паровой машины, теория гироскопов, измерительные приборы, теория гидравлических машин, математические основы авиации и теория электромашин. Так «явочным порядком» новые виды механизмов вошли в механику машин.

Дискуссия, продолжавшаяся на протяжении почти всего 1932 г., не завершилась каким-либо решением: отдельные машиноведы не претендовали на обладание абсолютной истиной, в отличие от Лысенко и его последователей в биологии; высказанные мнения вошли в фонд науки, и, вероятно, поэтому советская школа механики машин смогла выйти по своим результатам на первое место в мировой науке.

В том же 1932 г. в журнале «Социалистическая реконструкция и наука», руководимом Н. И. Бухариным, была опубликована статья П. А. Флоренского «Физика на службе математики» [1]. Несмотря на заглавие, эта статья в определенной степени примыкает к дискуссии о прикладной механике: в ней ставится вопрос о математическом эксперименте, об измерительных приборах и о механизмах, включающих жидкие звенья. Все это, в том или ином аспекте, обсуждалось и участниками дискуссии.

Указав на опытный характер физики, Флоренский утверждает, что «не это положение составляет предмет настоящей статьи, а опытный характер самой математики или, скорее, некоторые вытекающие отсюда следствия. Правда, опытная основа тех или других ветвей математики неоднократно была утвер-



Заведующий Лабораторией испытания материалов ГЭЭН профессор П. А. Флоренский.
Москва 1929 г.

ждаема, а в отношении геометрии может даже считаться достаточно широко признаваемой. Но тем не менее мысль об уходящих в глубь опыта корнях математики не стала общим достоянием. Это сказывается в постоянных попытках „очистить“ математику, т. е. освободить от интуиций, попавших в нее, якобы, случайно и поэтому истолковываемых ... как плохие кривизны мысли и промахи изложения, тогда как по существу математика, якобы, может быть сведена к чистой логике. При ближайшем рассмотрении подобных попыток всегда оказывается, что сами они изобилуют интуициями (с одним лишь отличием — бледностью и расплывчатостью их), проводимыми украдкой и выдаваемыми за чистую логику. Но если бы и в самом деле математика сводилась к чистой логике, то еще больший вопрос, как должна быть понимаема сама логика и что лежит в основе ее законов. Если понятие пространства существенно опирается на опыт механики, и в частности на опыт твердого тела, то и в отношении логики делались указания подобные же; так, например, закон тождества и сопряженные с ним законы противоречия и исключенного третьего приводились в связь с той же интуицией твердого тела (согласно таким попыткам, понятие ведет себя именно как интеллектуальное отображение твердого и непроницаемого тела механики). Затем логическое суждение сопоставлялось с процессом взвешивания или уравнивания грузов на равноплечих, а в некоторых случаях — неравноплечих весах. Психофизиологическим же первообразом того и другого, в одну сторону ответившим от себя суждение и умозаключение, а в другую — взвешивание, служит, как указывалось, прикидывание и сравнение тяжестей в обеих руках, правой и левой. Возможно, этого рода соображения и нельзя принять безоговорочно; они нуждаются в дальнейшей разработке. Но, во всяком случае, после анализа предпосылок геометрических не остается места сомневаться, что и „чистая“ логика имеет интуитивные корни, без которых она сидела бы в нас как инородное, вне-жизненное, а потому



Заведующий Лабораторией П. А. Флоренский (второй внизу, справа налево) среди сотрудников лаборатории

и жизне-враждебное образование. А если так, то сведение всей науки, хотя бы и только математической, чисто математической, во что бы то ни стало к логике, т. е. к некоторой частной группе интуиций, лишено достаточных оснований и по существу не представляет ничего заманчивого...

Отрицание опытных корней математики и вытекающая отсюда потребность очистить ее от предполагаемых случайных наслоений опытного характера распространено более широко, чем это можно думать на основании прямых заявлений... Возможность математики без интуиций не провозглашается ответственно, но широта использования интуиции и в особенности яркость и откровенная наглядность этих интуиций, сколько удастся, урезывается. Или: элементарные интуиции не отрицаются, но сколько-нибудь сложное построение из них считается недопустимым, загрязняющим математику. Так, геометрический чертеж тушью или мелом терпится легко, модель из проволоки, картона или стекла еще выносима, а электрические токи, сила тяжести, магнитные листки и т. д. уже кажутся недопустимыми, слишком физическими. Твердое тело по привычке принимается, а газообразное было бы невыносимо.

Если хотя бы некоторые механические интуиции лежат в основе математики, то тем самым открывается доступ в математику и механизм, может быть даже чрезвычайной сложности, опирающимся на те же интуиции. Такими механизмами во всяком случае должно признать механизмы кинематические, где использованы свойства твердого тела. Между тем отношение даже к кинематическим механизмам обычно двусмысленное и недостойное не только той четкости, которая проповедуется в математике, но и житейской мысли. Не странно ли: когда кинематический механизм несложен, он привлекается как нечто само собой разумеющееся и бесспорно математическое; тут действует просто историческая привычка, как, например, в отношении линейки, циркуля, счетов, отчасти эллипсографа и других подобных механизмов. Но когда механизм, основанный на тех же самых свойствах твердого тела, осложняется, сторонники математической чистоты косятся на него, заподозревая в грубости, „инженерности“ и считая его чуждым сфере математики, хотя нового в нем, сравнительно с простым механизмом, столь же мало, как в формуле более сложной сравнительно с более простой» [1, с. 43—45].



П. А. Флоренский на прогулке с детьми Ольгой и Михаилом в окрестностях Сергиева (Загорска). 1926.

Как указывает Флоренский, математики относятся с недоверием к кинематическим приборам и совершенно отказываются применять в своих исследованиях «динамические» приборы, а также более сложные кинематические — вроде интеграторов, механизмов для интегрирования дифференциальных уравнений и т. п. «Пора определенно высказаться, — продолжает он, — ...пре-небрежительное полупризнание подобных механизмов существенно ущемляет математику и со стороны практической приложимости, и со стороны философского мировоззрения и, кроме того, тормозит и развитие самой математической алгоритмики.

Но, более глубоко вглядываясь в действие механизмов, даже кинематических, мы неизбежно открываем в нем участие весьма различных физических процессов, существенно присущих данному функционированию и не могущих быть извлеченными из него даже в абстракции. Ведь для нас важно не только то, что показывает механизм, но и то, как мы узнаем о его показаниях, и это „как узнаем“ не есть нечто внешнее в отношении механизма, орудия познания, но его конститутивная характеристика... Обычный взгляд на дело есть тот, что требуется механизм, а все дальнейшее делается само собою; иначе говоря, математику приписывается отвлеченно-метафизический атрибут всеведения, непосредственное знание, как обстоит с данным механизмом, со всеми механизмами и, следовательно, со всею вселенною. Тогда действительно механизм будет выполнять свое дело, а математик будет рассуждать о нем, не имея конкретной, жизненной связи с предметом своего рассуждения» [1, с. 45].

Флоренский доказывает, что такое отношение математиков к использованию технических средств — иначе говоря, к эксперименту — по самой своей сущности глубоко ошибочно. Ведь те познания, которые приобретаются в процессе исследования, какими бы абстрактными они ни казались, получаются с помощью ряда физических факторов, в определенной среде, во времени и в пространстве.

И кроме того, математика служит естествознанию и технике и является необходимой составляющей их дальнейшего развития. Тогда зачем же отказываться от помощи естествознания, от использования его результатов для развития самой математики? По мнению Флоренского, в математику должны быть введены приборы самого различного происхождения: физические и хими-

ческие, физические модели, биологические и психологические пособия. Ведь бесчисленные животные и растительные организмы дают примеры форм равновесия и разнообразнейших типов порядка.

Он приводит целый список приборов, основанных на различных физических принципах, которые «пребывают в неизвестности».

1. Алгебраические весы Лаланна, изобретенные в 1840 г. Их назначение — находить действительные корни алгебраических уравнений; в 1873 г. Э. Коллиньон переконструировал их для нахождения мнимых корней уравнений.

2. Машина Экснера для решения всех уравнений первых семи степеней.

3. Весы для решения уравнений высших степеней, сконструированные Бойсом, Грантом и Скечем в 1886, 1896 и 1902 гг. Штамм, Депре и Гвардуччи в 1863, 1871 и 1890 гг. построили для той же цели приборы с интегрирующими колесами, увлекаемыми платформами с равномерным вращением.

4. Аналогичный прибор Кемпе, изобретенный в 1873 г., позволил не только решать уравнения высших степеней, преобразуемые к тригонометрическому виду, но и изучать функции вида

$$U = c_0 + c_1 \cos \Theta + c_2 \cos 2\Theta + c_3 \cos 3\Theta + \dots + c_n \cos n\Theta.$$

5. Хиль-Шоу и Бэскфорс в 1822 г. описали прибор, позволяющий изучать функции более общего, чем по предложению Кемпе, вида:

$$U = c_0 + c_1 \cos (\Theta + \alpha_1) + c_2 \cos (2\Theta + \alpha_2) + \dots + c_n \cos (n\Theta + \alpha_n).$$

6. Сен-Лу в 1823 г. и Адлер в 1891 г. показали, как использовать шарнирный четырехзвенник для решения кубических уравнений.

7. Алгебраические машины Торреса де Кеведо, который начал публиковать свои исследования в области механизации математических операций в 1895 г. Эти машины, на которые П. А. Флоренский обращает особое внимание, позволяют находить действительные и мнимые корни всех алгебраических уравнений и могут быть применены также к решению нелинейных систем.

8. Несколько механизмов, предназначенных для решения систем линейных уравнений. Среди них механизмы Беаге (1878), Кельвина (1878), Гвардуччи (1890).

Все восемь типов приборов, перечисленных выше, основаны на механических принципах. Флоренский указывает также на несколько приборов, основанных на иных физических принципах.

9. Деманэ в 1898 г. применил сообщающиеся сосуды для решения трехчленных уравнений вида:

$$x^3 \mp x = c.$$

10. Гидростатические весы, которые изобрел Меслен в 1890 г., дают возможность решать любые уравнения вида:

$$px^m + qx^n + \dots + \dots = A.$$

Этот прибор был усовершенствован Скечем в 1902 г.

11. В 1901 г. Эмч использовал измерение скорости истечения жидкости для извлечения корней любой степени из любого числа.

12. В 1884 г. Вельтман применил систему из надлежаще расположенных коромысел у весов для решения системы линейных уравнений: равенство каждого неизвестного в n уравнениях осуществлялось давлением столбов жидкости в n сообщающихся сосудах.

13. В 1888 г. Люка предложил способ решения алгебраических уравнений при помощи определенной электрической системы. При этом действительные

и мнимые корни алгебраического уравнения любой степени могут быть определены приемом, основанным на теории потенциала.

В первой части статьи автор излагает математическую сущность этого приема. Во второй части впервые приводится описание трех приборов, сконструированных самим П. А. Флоренским в 1922 г. Два первых предназначены для решения алгебраических уравнений высших степеней и многих трансцендентных.

Привод первого прибора — гидростатический, а второго — электростатический. Третий прибор дает возможность интегрировать любые функции, даже представленные таблично. «...Эти приборы, вероятно, могут быть полезны при вычислениях и во всяком случае представляют наглядное дидактическое пособие, позволяющее учащимся уяснить себе, в чем именно состоит процесс решения соответственных математических вопросов» [1, с. 50].

Автор поясняет математическую сущность тех операций, которые могут быть выполнены на первых двух приборах [1, с. 50—51]. Он исходит из следующей записи алгебраического уравнения:

$$\sum_0^n ka_k x^k = \sum_0^n kb_k x^k,$$

где все коэффициенты a_k и b_k положительные.

Далее Флоренский говорит о применении описанной схемы к построению двух моделей — гидростатической и электростатической. В первом случае он принимает в качестве основного фактора давление столба жидкости, а связь между элементарными моделями осуществляет с помощью сообщающихся сосудов. Интересно, что в предложенном им гидравлическом механизме используются две степени свободы. Напомним, что в те годы механизмы с двумя степенями свободы с жесткими звеньями применялись не часто — в качестве примера можно привести механизм дифференциала, а основы общей теории механизмов с несколькими степенями свободы были заложены значительно позже. Подробное описание обоих моделей сопровождается чертежами и схемами.

Последний раздел статьи об электроинтеграторе — физическом приборе для интегрирования функций. Как указывает Флоренский, в 1920 г. на заседании Французской академии наук Брокк [2] прочитал доклад об изобретенном им приспособлении для электрического интегрирования. «Прибор Брокка состоит из твердой непроводящей пластинки, обрезанной с трех сторон прямолинейно, а с четвертой — по контуру интегрируемой функции; пластинка обматывается тонкой изолированной проволокой, концы которой присоединяются к источнику постоянного электрического напряжения. Измеряя разность потенциалов между различными точками навитой проволоки, мы получим величину, пропорциональную значению интеграла исследуемой функции между пределами, соответствующими точкам прямолинейной стороны пластинки, между которыми измеряется разность потенциалов. Зная постоянную прибора, легко вычислить и самый интеграл.

Таким образом, основная мысль метода электрического интегрирования — в подмене измеряемой величины **двух** измерений величиной **одного** измерения, ей пропорционального: измеряемому интегралу пропорциональна некоторая площадь, а площади — длина равномерно покрывающей ее проволоки, длине же проволоки пропорционально ее электрическое сопротивление, а последнему, наконец, пропорционально падение потенциала вдоль проволоки...

Прибор, предложенный здесь, по моей мысли, вполне примыкает к предыдущему, и конструкция его есть дальнейшее развитие электроинтегратора Брокка. В конструкции Брокка каждая функция требует построения заново всего аппарата: даже с изменением параметров функции, не говоря уже об изменении самого характера ее, пришлось бы вырезать новую пластину и заново обмотать ее проволокой» [1, с. 60—61].

Предложенный П. А. Флоренским электроинтегратор был значительно совершеннее интегратора Брокка. В то время как прибор Брокка, в сущности, был совсем лишен какой-либо практической ценности, электроинтегратор Флоренского был пригоден для интегрирования любой функции, заданной аналитически, кривой линией или таблично. При этом вместо криволинейного образа пластины Брокка, пригодной лишь для одного конкретного случая, ставится ее изображение. Флоренский прилагает достаточно подробное описание своего прибора.

Мы попробовали показать, какое богатство материала содержится в этой небольшой статье Флоренского. Здесь подняты темы математического эксперимента и математических приборов, прикладной математики, теории механизмов и ряд других. И что представляется наиболее существенным, Флоренский затронул именно те вопросы, которые стояли «на порядке дня» перед учеными и техниками Советского Союза. К несчастью, тяжелые обстоятельства 30-х годов не дали ему возможности завершить свои идеи и воплотить их в практику. Но творчество замечательного ученого не осталось в стороне от развития науки. Несомненно, многие ученые знакомы с идеями Флоренского, а значит и его труды не прошли мимо развития отечественной науки.

Следует отметить, что вопрос о вкладе П. А. Флоренского в создание математических приборов и механизмов поднимался и ранее [3].

Мы надеемся, что при составлении научной биографии П. А. Флоренского, необходимость в которой ощущается уже сейчас, будет учтен и его вклад в теорию эксперимента и в технику математического эксперимента.

Литература

1. Флоренский П. А. Физика на службе математики // Социалистическая реконструкция и наука. 1932. № 4. С. 43—63.
2. Brocq. Sur une méthode générale d'intégration électrique continue // CR. 1920. V. 171. № 23. P. 1139.
3. Белый Ю. А., Майстров Л. Е. Из истории аналоговой вычислительной техники в первые годы Советской власти // Наука и техника: Вопросы истории и теории / Материалы годичной конференции Ленинградского отделения Советского национального объединения истории и философии естествознания и техники. Вып. 7. Л., 1972. С. 199—201.

P. A. Florensky and the beginning of the theory of mechanisms

A. N. Bogoljubov

The content of one of the main works of P. A. Florensky on the theory of mechanisms and instruments is given in the article. The physical essence of these instruments, most of which was proposed by P. A. Florensky, is described. In the last section of article there is the description of electrointegrator by Brocq, which was improved and practically newly created by P. A. Florensky.