

В. Л. Куртчева.

Экспериментальная Механика и Механическія Лабораторіи высшихъ техническихъ учебныхъ заведеній.

За послѣдніе года въ системѣ преподаванія высшихъ учебныхъ заведеній выдвинулась на первый планъ экспериментальная механика; въ нѣкоторыхъ школахъ она представляетъ особый, отдѣльно выдѣленный предметъ преподаванія, самостоятельную кафедру. Въ то же время замѣтно увеличилось число механическихъ лабораторій, а существующія получили значительныя расширенія.—Это произошло преимущественно въ Англіи, Сѣв. Американскихъ Штатахъ, Канадѣ; оно замѣчается и въ другихъ государствахъ, въ томъ числѣ и у насъ; скоро всѣ наши техническія высшія учебныя заведенія будутъ имѣть механическія лабораторіи, которыя сдѣлаются настолько же безусловно необходимыми при преподаваніи механики, какъ химическія лабораторіи при преподаваніи химіи.

Такое измѣненіе характера преподаванія въ школахъ вызвано, во первыхъ, замѣчательными научными работами, имѣющими предметомъ экспериментальное изслѣдованіе техническихъ вопросовъ, а во вторыхъ, оно вызвано самою жизнью, потребностями механической промышленности, изъ среды которой неоднократно слышались голоса о необходимости такого экспериментальнаго дополненія преподаванія прикладной механики *).

Говоря о такихъ указаніяхъ школамъ со стороны промышленности, я вовсе не имѣю въ виду старый, давно всѣмъ надоевшій, споръ о теоріи и практикѣ, который, по его безплодности, пора уже сдать въ архивъ.—Я имѣю въ виду исключительно школы и только вопросы преподаванія, научные вопросы.—Но наука развивается двумя, одинаково законными, путями: дедуктивнымъ, пользующимся въ значительной степени математикой, какъ могу-

*) У насъ давно уже и многократно высказывался въ этомъ смыслѣ А. П. Бородинъ, въ издаваемомъ имъ журналѣ „Инженеръ“.

щественнымъ орудіемъ изслѣдованія, и индуктивнымъ, при которомъ главнымъ орудіемъ изслѣдованія служитъ опытъ. Экспериментъ есть такой же инструментъ въ рукахъ научныхъ дѣятелей, какъ и высшая математика, и вообще ошибочно противопоставлять теорію и опытъ; бываетъ математическая теорія, а также въ наукахъ встрѣчаются экспериментальныя теоріи. Последній терминъ введенъ Гирномъ,—ученымъ, который оказалъ въ высшей степени глубокое воздѣйствіе на прикладную механику нашего времени, и теперь этотъ терминъ получилъ право гражданства въ механикѣ. Гирну принадлежитъ построение экспериментальной теоріи паровыхъ машинъ,—современные намъ дѣятели занимаются составленіемъ экспериментальной теоріи газовыхъ машинъ.

Различіе между практикой и теоріей заключается вовсе не въ примѣненіи или отсутствіи опыта. Экспериментомъ теоретики пользуются несколько не менѣе практическихъ дѣятелей.—Но въ наукѣ рѣшаются вопросы общіе, имѣющіе широкое, иногда вѣчное, значеніе; практика же занимается вопросами частными, такъ сказать, мимолетными, которые необходимо рѣшать сейчасъ же, для непосредственныхъ жизненныхъ потребностей.—Такія практическія рѣшенія, очень цѣнныя для промышленности, обыкновенно не имѣютъ широкаго значенія; они прекрасно рѣшаютъ одинъ вопросъ, но ими нельзя воспользоваться для рѣшенія другихъ, могущихъ впоследствии появиться вопросовъ. Частность, узкая постановка вопроса представляютъ въ одно и то же время и силу, и слабую сторону практики; такое рѣшеніе очень выгодно для ближайшей цѣли и неплототворно для будущаго. Оно хорошо для лица или завода, получившаго это рѣшеніе, но имъ почти никогда не могутъ воспользоваться другіе; да и сами лица, получившія чисто практическое рѣшеніе, въ большинствѣ случаевъ не въ состояніи извлечь отсюда что-либо полезное для рѣшенія другихъ вопросовъ, при измѣнившихся обстоятельствахъ.—Разсчитывая на будущее, всегда выгодно нѣсколько расширить, обобщить вопросъ, т.-е. сдѣлать шагъ по пути къ теоріи.

Прекрасной иллюстраціей такой разницы практическаго и теоретическаго рѣшенія служитъ развитіе и усовершенствованіе турбинъ въ Америкѣ и въ Европѣ. Замѣчательныя конструкціи Новаго Свѣта всѣ выработаны чисто эмпирически; изобрѣтатель, вдохновившись какой либо идеей, строилъ турбину и опредѣлялъ на опытѣ ея полезное дѣйствіе; затѣмъ видоизмѣнялъ многократно подробности устройства, каждый разъ дѣлая пробу на полезное дѣйствіе, и, такимъ образомъ, цѣною большого труда, денегъ и времени, мало по малу вырабатывались, чисто эмпирически, наивыгоднѣйшія детали, обеспечивающія прекрасное полезное дѣйствіе.—Напротивъ того въ Европѣ занимались преимущественно теоретически выработкой наилучшей формы лопатокъ и т. п.—Слабая сторона американскаго метода сказалась при устройствѣ турбина для Ниагарскаго водопада. Здѣсь встрѣтились съ

необычными для Америки условіями относительно размѣровъ турбинъ, высоты паденія, и имѣвшееся чисто эмпирическое рѣшеніе оказалось совершенно непригоднымъ къ дѣлу. Пришлось обратиться къ Европейскимъ конструкторамъ, и главныя турбины Ніагарскаго водопада для Cataract Construction Cie проектированы Женевскою фирмою Faesch et Piccard *).

Въ промышленныя сферы уже проникло сознаніе о малой плодотворности чисто практическихъ, узкихъ изслѣдованій и выгодахъ болѣе широкой постановки вопроса. Но, конечно, отдѣльные предприниматели и заводы рѣдко могутъ взять на себя труды и издержки по рѣшенію вопроса, имѣющаго общее значеніе. Тутъ имъ приходятъ на помощь техническія общества, собранія инженеровъ; цѣлямъ такихъ корпорацій вполне соответствуетъ производство указанныхъ изслѣдованій, а обиліе научныхъ и техническихъ силъ, входящихъ въ составъ обществъ инженеровъ, обезпечиваетъ совершенное рѣшеніе намѣченныхъ задачъ. И вотъ мы видимъ, что различныя техническія общества, чаще и чаще, берутся за экспериментальныя изслѣдованія, имѣющія предметомъ основныя вопросы механики и строительнаго дѣла. Между ними пальма первенства безспорно принадлежитъ англійскому обществу инженеръ-механиковъ, которое тратитъ на подобныя изслѣдованія громадныя суммы. Въ сравнительно короткое время коммиссія этого общества обогатила техническую науку цѣлымъ рядомъ замѣчательныхъ работъ, относящихся къ наиважнѣйшимъ вопросамъ. Укажемъ на изслѣдованія о треніи, прочности заклепачныхъ соединеній, о сплавахъ, объ испытаніи пароводныхъ машинъ, о паровыхъ рубашкахъ.—Другія общества идутъ по тому же пути, и здѣсь нельзя не упомянуть о недавно произведенномъ Техническимъ Обществомъ Сѣвера Франціи обширномъ сравнительномъ изслѣдованіи ременной и веревочной передачъ, на которое была ассигнована сумма до 60,000 рублей. —Такіе широкіе опыты представляютъ лучшую связь между наукой и промышленностью.

Для механической промышленности прежде всего необходимы опыты, имѣющіе цѣлью изученіе свойствъ матеріаловъ, примѣняемыхъ при изготовленіи машинъ и другихъ продуктовъ этой индустріи. Получаемые этимъ путемъ данныя послужатъ основаніемъ проектированія машинъ; ими долженъ руководиться конструкторъ при своей творческой дѣятельности, вспомоществуемой математическими расчетами. Когда машины готовы, то вновь является необходимость въ опытѣ для изслѣдованія степени совершенства ихъ дѣйствія. Это, такъ сказать, провѣрочные опыты, которые провѣряютъ какъ

*) Самое исполненіе проекта сдѣлано въ Америкѣ фирмою I. P. Morris Co Philadelphia.—Жонвалевы турбины для Ніагарской пилебумажной фабрики проектированы ветераномъ дѣла построенія турбинъ въ Америкѣ — Geyelin, и построены фирмою R. D. Wood & Co Philad.

правильность всѣхъ расчетовъ и ожиданій конструктора, такъ и достоинство исполненія всѣхъ частей машины.

При научномъ изслѣдованіи техническихъ вопросовъ экспериментъ играетъ самую важную роль въ началѣ изслѣдованія и въ концѣ его. Прежде всего долженъ быть найденъ основной, элементарный законъ, управляющій даннымъ разрядомъ явленій, и нахожденіе его почти всегда есть результатъ экспериментальной работы. Зная основной законъ, можно вести дальнѣйшее построеніе научнаго изслѣдованія дедуктивно, и здѣсь главную роль играютъ математическіе выводы. По заключеніи ихъ необходима опытная провѣрка окончательныхъ результатовъ дедукціи, и, если математическіе выводы подтвердятся на опытѣ, то теорія можетъ быть признана правильною. Подобное согласіе получается тѣмъ ближе, тѣмъ вѣрнѣе, чѣмъ точнѣе была установленная математическая теорія, т. е. чѣмъ меньше пренебреженій, предположеній, отбрасываній извѣстныхъ членовъ было сдѣлано во время выводовъ. Самыя сложныя теоріи блестящимъ образомъ оправдываются на опытѣ, если при составленіи ихъ не было сдѣлано никакихъ отступленій отъ дѣйствительныхъ условій явленія. Не входя въ области другихъ наукъ и оставаясь въ предѣлахъ техники, здѣсь можно указать въ видѣ примѣра на экспериментальное подтвержденіе опытами Кэрасъ Вильсона теоріи Буссинеска относительно распредѣленія въ твердомъ тѣлѣ давленія, приложеннаго въ одной точкѣ на поверхности этого тѣла *). Чѣмъ менѣе совершенна теорія, чѣмъ больше введено въ нее упрощеній, пренебреженій и т. д., тѣмъ хуже она будетъ согласоваться съ опытомъ, и тѣмъ болѣе она потребуетъ эмпирическихъ поправокъ.

Въ школѣ экспериментъ тоже имѣетъ двойное значеніе. Во первыхъ его нужно примѣнять при преподаваніи, какъ демонстрацію, т. е. какъ наглядное представленіе изучаемыхъ явленій, съ цѣлью приданія ясности, жизненности излагаемымъ идеямъ, для лучшаго, болѣе прочнаго запечатлѣнія ихъ въ умахъ студентовъ. Такое значеніе эксперимента, при изученіи сопротивленія матеріаловъ прекрасно выражено въ рѣчи профессора Кеннеди, произнесенной имъ въ прошломъ году при открытіи механической лабораторіи Техническаго Колледжа въ Брэдфордѣ. Этотъ замѣчательный дѣятель въ области экспериментальной механики выразился слѣдующимъ образомъ: «машину для испытанія матеріаловъ на частъ насъ безчисленному количеству свѣдѣній. Мы не только узнаемъ во время испытанія прочность матеріала, его удлиненіе и сжатіе площади,—знаніе этихъ фактовъ очень важно,—но опыты съ такой машиной представляютъ средство закрѣпить въ памяти живой, духов-

*) Эта теорія, рѣшающая одинъ изъ основныхъ вопросовъ сопротивленія матеріаловъ была изложена въ сочиненіи: Boussinesq. Applications du potentiel etc. Опыты Carus Wilson, см. въ Phil. Mag. Decem 1891.

ный образъ этихъ фактовъ, такъ что человекъ дѣлается, такъ сказать, самъ своей справочной книгой; при этомъ мы заглядываемъ во внутреннюю природу матеріаловъ, которые принято называть мертвыми, неодушевленными, но которые тѣмъ не менѣе представляютъ весьма любопытныя явленія. Я часто мечталъ о томъ, какъ было бы хорошо, если бы мнѣ возможно было *опять въ первый разъ* наблюдать явленія, происходящія при растяженіи бруска мягкой стали, подобно тому, какъ мнѣ бы очень хотѣлось вновь испытать то особенное удовольствіе, которое я имѣлъ, читая въ первый разъ романы Пиквикъ и Гай Макнерингъ.

Второе значеніе эксперимента въ школѣ есть обученіе студентовъ искусству экспериментировать, производить тѣ опыты, которые въ значительномъ количествѣ придется имъ дѣлать во время ихъ технической службы. Это искусство приобрѣтается не сразу, а постепенно, и должно изучаться въ теченіи двухъ или трехъ лѣтъ, если не съ самаго начала поступленія студента въ высшее учебное заведеніе, то по крайней мѣрѣ со втораго курса *). Сначала, въ видѣ подготовки или введенія, должны быть изучены основныя приемы изслѣдованія, применяемые во физикѣ — наукѣ, гдѣ экспериментальная сторона доведена до высокой степени совершенства. При техническихъ изслѣдованіяхъ, относящихся къ области прикладной механики, безпрестанно приходится прибѣгать къ приемамъ и аппаратамъ физики, часто ихъ берутъ даже безъ всякаго измѣненія. Затѣмъ слѣдуетъ переходъ къ чисто механическимъ изслѣдованіямъ, носящимъ особый характеръ. Отличіе ихъ отъ физическихъ изслѣдованій очень мѣтко охарактеризовано профессоромъ Кеннеди, въ его извѣстной рѣчи о механическихъ лабораторіяхъ **). Онъ указываетъ, что при физическихъ изслѣдованіяхъ экспериментаторъ самъ выбираетъ условія и обстановку своего опыта, и можетъ подобрать ихъ наивыгоднѣйшимъ образомъ для облегченія лучшаго выясненія вопроса. При опытахъ же, относящихся къ сферѣ прикладной механики, условія и обстановка эксперимента задаются и почти не могутъ быть измѣняемы, что сильно затрудняетъ производство опыта. Не смотря на это, есть возможность и при такихъ затруднительныхъ условіяхъ получать очень точныя результаты и вполне разъяснить темныя стороны явленія. Достаточно указать на знаменитыя изслѣдованія съ паровыми машинами, произведенныя Гирномъ, который на долгіе годы далъ направленіе всѣмъ подобнымъ работамъ. Затѣмъ нельзя не вспомнить обширную серію опытовъ надъ паровыми машинами,

*) Въ американскихъ школахъ, посвященныхъ механической спеціальности, тѣ курсъ обыкновенно продолжается четыре года, занятія въ механической лабораторіи начинаются со втораго семестра третьяго курса и продолжаются весь четвертый курсъ. Тема для работы, которая исполняется на дипломъ (Thesis), обыкновенно экспериментальнаго характера.

**) Переведенной на русскій языкъ въ журналѣ „Инженеръ“.

произведенныхъ комиссіей Англійскаго Общества инженеръ-механиковъ подъ предсѣдательствомъ профессора Кеннеди; условія, при которыхъ должны производиться подобные опыты таковы, что прежде многіе сомнѣвались въ возможности исполненія такихъ изслѣдованій съ точностью. Однако всѣ трудности были преодолены.

Невозможность измѣнять условія опыта заставляетъ экспериментаторовъ-механиковъ имѣть дѣло съ очень крупными величинами—длинами, силами, количествами работающаго дѣятеля и т. д. Очень рѣдко возможно избавиться отъ этого тяжелого неудобства; почти всегда приходится отказываться отъ опытовъ съ моделями, не дающихъ надлежащихъ указаній на дѣйствіе настоящихъ машинъ *). Обстоятельство это очень затрудняетъ устройство механическихъ лабораторій, въ особенности по вопросу объ изученіи полезнаго дѣйствія двигателей.—Напомню здѣсь, что многія изъ техническихъ школъ завели у себя экспериментальныя паровыя машины и ревностно изучали на нихъ вопросы о значеніи вреднаго пространства, паровой рубашки и т. д. Но такъ какъ всѣ эти машины сравнительно небольшого размѣра, то не всѣ заключенія, выводимыя при этомъ, можно безусловно примѣнять къ болѣе крупнымъ машинамъ. Такъ напр. въ малыхъ машинахъ всегда окажется, что паровая рубашка очень выгодна, между тѣмъ какъ для огромныхъ паровыхъ машинъ эта выгода будетъ гораздо меньше. Тѣмъ не менѣе экспериментальныя машины представляютъ прекрасное средство для изученія *методы* изслѣдованія паровыхъ машинъ.

Область вопросовъ, подлежащихъ экспериментальному изученію въ школахъ по механической спеціальности, весьма обширна.—Сюда относятся а) изученіе свойствъ строительныхъ матеріаловъ и опредѣленіе данныхъ, характеризующихъ эти матеріалы; б) изученіе смазочныхъ матеріаловъ, тренія и другихъ вредныхъ сопротивленій; в) изученіе топлива, его теплотворной спо-

*) Это неудобство не встрѣчается въ чисто научныхъ изслѣдованіяхъ, относящихся къ области физики. Здѣсь почти всегда есть возможность примѣнять приборы очень небольшихъ размѣровъ. Миниатюрность ихъ представляетъ во многихъ случаяхъ громадныя удобства. Такъ напр. профессоръ Дьюаръ, при своихъ изслѣдованіяхъ относительно упругости и сопротивленія металловъ при низкихъ температурахъ, пользовался приборомъ, который почти весь погружался въ сосудъ съ жидкимъ кислородомъ. Бойсь, для нахожденія постоянной всемірнаго тяготѣнія, измѣрялъ притяженіе между двумя свинцовыми шарами, изъ которыхъ одинъ имѣлъ нѣсколько фунтовъ вѣсу, а другой—всего нѣсколько грановъ. Тѣмъ не менѣе полученная имъ величина постоянной можетъ быть примѣнима при вычисленіи взаимнаго притяженія небесныхъ тѣлъ. Джауль опредѣлилъ величину механическаго эквивалента теплоты приборомъ, на движеніе котораго тратилась работа не больше одной тридцатой лошади. Мы же съ полной увѣренностью пользуемся этой величиной эквивалента при вычисленіи термическихъ явленій, происходящихъ въ громадныхъ паровыхъ машинахъ, силою въ нѣсколько сотенъ и даже тысячъ лошадей.

собности; наблюденіе за паровыми котлами, опредѣленіе полезнаго дѣйствія этихъ котловъ, печей и всякихъ нагрѣвательныхъ аппаратовъ; d) изслѣдованіе дѣйствія паровыхъ, газовыхъ двигателей, какъ съ термической точки зрѣнія, такъ и въ динамическомъ отношеніи *); e) гидравлическіе опыты и изслѣдованіе полезнаго дѣйствія гидравлическихъ приѣмниковъ; f) опредѣленіе величины работы и степени полезнаго дѣйствія машинъ орудій для обработки металловъ и дерева, сельско-хозяйственныхъ машинъ и другихъ исполнительныхъ механизмовъ.

До сихъ поръ всего шире развита дѣятельность лабораторіи по испытанію строительныхъ матеріаловъ, и собранъ богатый матеріалъ. Нужно надѣяться, что въ скоромъ времени всѣ основныя экспериментальныя данныя механики будутъ подвергаться такой же подробной, почти ежедневной, разработкѣ, и всегда можно будетъ брать для нихъ недавнія, свѣжія свѣдѣнія, отвѣчающія современному состоянію механической промышленности.—Механическія лабораторіи скоро сдѣлаютъ совершенно невозможнымъ тотъ сравнительно недавній порядокъ вещей, когда основныя опытыя данныя, необходимыя для каждаго теоретическаго изслѣдованія, имѣлись въ крайне незначительномъ количествѣ, были результатомъ очень давнишнихъ опытовъ, произведенныхъ при другомъ состояніи машиностроенія; этими скудными данными крайне дорожили, перепечатывали ихъ изъ году въ годъ, изъ одной книги въ другую, почти никогда не обращались къ первоначальному источнику ихъ происхожденія, для критической оцѣнки ихъ значенія. Въ такомъ положеніи напр. долго находился вопросъ о треніи въ паровой машинѣ; здѣсь многіе годы царили безконтрольно старинныя данныя Памбура, и только сравнительно недавно извѣстные опыты Тэрстона пролили новый свѣтъ на дѣло и вызвали дальнѣйшія изслѣдованія. Почти то же самое можно повторить и относительно данныхъ Пекле касательно лучеиспусканія и проводимости тепла **). Для науки крайне вредна такая слѣпая вѣра въ старинныя

*) Динамическое изслѣдованіе паровыхъ машинъ сдѣлало значительные успѣхи вслѣдствіе примѣненія къ нему хронографовъ разнаго рода.—Въ лучшихъ современныхъ паровыхъ машинахъ правильность движенія и точность регулированія доведены до высокаго совершенства; профессоръ Thurston указываетъ, что нѣкоторые американскіе заводы даютъ гарантію, что при переходѣ отъ полной нагрузки машины, къ работѣ вовсе безъ нагрузки, измѣненіе скорости будетъ не болѣе 10%, и выполняютъ эту гарантію.—Возможность такой гарантіи опредѣляется тѣмъ, что имѣется особое отдѣленіе для пробы изготовленныхъ машинъ, и онѣ выпускаются только послѣ тщательнаго испытанія. (См. пренія по докладу К. Ричардсона о регуляторахъ въ Proc. Inst. Civ. Eng. V. 120).

**) Не смотря на громадныя заслуги Пекле очень жаль, что его результаты почти вовсе не провѣрялись впослѣдствіи, и принимались безъ критики. Несомнѣнно нѣкоторые изъ нихъ потребуютъ значительныхъ измѣненій. Уже и теперь мы знаемъ, что его числа для абсолютной теплопроводной способности металловъ совершенно невѣрны. Изъ опытовъ Онгстрема оказывается, что для мѣди Пекле далъ число въ шесть разъ меньше

результаты, какъ бы ни были почтенны имена изслѣдователей, ихъ получившихъ. Наука должна возможно часто возвращаться къ провѣркѣ экспериментальныхъ данныхъ, служащихъ ея основаніемъ; въ этомъ возвращеніи къ землѣ она будетъ почерпать новыя силы для дальнѣйшаго развитія. И въ самомъ дѣлѣ мы всегда замѣчаемъ, что экспериментальное изслѣдованіе широко раскрываетъ новые горизонты, и надолго сообщаетъ плодотворный импульсъ теоретическимъ выводамъ.

Обсужденіе.

Д. С. Зерновъ предлагаетъ собранію въ дополненіе къ замѣчательно интересному сообщенію В. Л. Кирпичева выслушать короткое сообщеніе, присланное Н. А. Бѣлелюбскимъ.