



ИВАН АЛЕКСЕЕВИЧ ВЫШНЕГРАДСКИЙ (1831—1895)



ван Алексеевич Вышнеградский является основоположником теории автоматического регулирования. Знаменитая работа И. А. Вышнеградского «О регуляторах прямого действия» ответила на назревшие жизненно важные вопросы, относящиеся к конструированию регуляторов. Появившись почти одновременно на русском, французском и немецком языках, она оказала огромное влияние на всё дальнейшее развитие теории регулирования.

И. А. Вышнеградский является одним из наиболее выдающихся русских инженеров, создателем целой школы научно образованных конструкторов машин и одним из наиболее видных организаторов технического образования в России. Иван Алексеевич Вышнеградский родился 20 декабря 1831 года в гор. Вышнем Волочке Тверской губернии (теперь Калининская область) в семье священника. В 1843 г. он поступил в Тверскую духовную семинарию, но через три года переехал в Петербург, где жил его старший брат, педагог, и поступил на физико-математический факультет Главного педагогического института.

Главный педагогический институт в Петербурге — тот самый, о котором упоминается в «Горе от ума» Грибоедова, занимает в истории русского просвещения особое место. В нём преподавали первоклассные учёные того времени — знаменитый математик М. В. Остроградский, замечательный физик Э. Х. Ленц, астроном А. Н. Савич и др; Из его стен вышли знаменитый критик Н. А. Добролюбов и гениальный химик Д. И. Менделеев. На всю жизнь И. А. Вышнеградский сохранил самые лучшие воспоминания об этом учебном заведении и в особенности о лекциях и беседах М. В. Остроградского, которые возбудили в нём живой интерес к математике и механике и желание



самому попробовать свои силы в этих науках. В 1851 г. И. А. Вышнеградский окончил физико-математический факультет Главного педагогического института с серебряной медалью и со званием старшего учителя.

Выдающиеся способности И. А. Вышнеградского обратили на себя внимание М. В. Остроградского. По его рекомендации И. А. Вышнеградский после окончания института был назначен преподавателем математики во 2-й Петербургский кадетский корпус и получил, таким образом, возможность, не порывая с Петербургом, продолжать своё образование.

С 1851 по 1854 г. И. А. Вышнеградский делил своё время между преподаванием математики в Кадетском корпусе и систематическим изучением, главным образом по первоисточникам, математики и аналитической механики под руководством М. В. Остроградского. Он успешно сдал магистерские экзамены и в 1854 г. защитил в Петербургском университете диссертацию на степень магистра математических наук «О движении системы материальных точек, определяемой полными дифференциальными уравнениями».

Эти занятия по математике и аналитической механике, личное общение с М. В. Остроградским — крупнейшим и широко образованным математиком — развили математические способности И. А. Вышнеградского и дали ему серьёзную математическую подготовку. На многих дальнейших, даже чисто прикладных работах И. А. Вышнеградского заметна отличная математическая школа, изящество выкладок и геометрических построений.

В 1854 г. И. А. Вышнеградский, по рекомендации М. В. Остроградского, получил место преподавателя математики в Михайловском артиллерийском училище, которое в следующем, 1855 г., было преобразовано в высшее учебное заведение — Михайловскую артиллерийскую академию. Окончившие Академию по совокупности полученных ими знаний должны были быть близки к инженерам-технологам. Поэтому наряду с развёрнутым преподаванием математики и теоретической механики в Академии очень большое внимание уделялось техническим дисциплинам: различным отделам прикладной механики, механической технологии и металлургии.

И. А. Вышнеградскому сначала в Артиллерийском училище, а затем, после 1855 г., и в Академии было поручено ведение репетиторий по различным отделам математики, а частично и по механике, большую часть лекций по которым читал сам М. В. Остроградский. Эта преподавательская деятельность в артиллерийских учебных заведениях, общение с артиллеристами и военными инженерами, Крымская война, обнаружившая техническую отсталость России, необходимость модернизации стрелкового оружия и артиллерии оказали существенное влияние на направление научных интересов И. А. Вышнеградского. С исключительной энергией он начал заниматься прикладной механикой, знакомиться с техникой артиллерийского дела, с техникой производства артиллерийского вооружения и боеприпасов, входя во все мелочи и детали.

Редкое соединение в одном лице фундаментальных знаний в области математики и механики со сведениями в технике артиллерийского дела обрати-

ли внимание администрации Артиллерийской академии на И. А. Вышнеградского.

В 1858 г. И. А. Вышнеградскому поручили чтение лекций по прикладной механике и в том же году он был командирован академией в Киев, Шостку и Брянск для детального ознакомления с заводами артиллерийского ведомства.

С этого времени деятельность И. А. Вышнеградского получила отчётливое прикладное направление. Он преподаёт различные отделы прикладной механики, ведёт курсовое проектирование механизмов и начинает выступать как конструктор и инженер-практик.

И. А. Вышнеградский вкладывает много сил в дело популяризации знаний по прикладной механике и машиностроению. В 1858 г. он читает публичные популярные лекции о машинах в зале Петербургского пассажа. Эти лекции имели огромный успех. Изданные в следующем году отдельной книгой, они доставили И. А. Вышнеградскому широкую известность. Лекции представляли собой блестящий образец по ясности изложения. Некоторые из этих лекций (например, лекция о стенных и карманных часах) не утратили своего интереса до сих пор.

В 1860 г. И. А. Вышнеградский выпустил «Элементарную механику», которая была утверждена военным ведомством в качестве обязательного учебника и которая в течение многих лет считалась в России лучшим руководством по этому предмету.

В 1860 г. Артиллерийская академия послала И. А. Вышнеградского за границу для изучения машиностроения и для подготовки к званию профессора практической механики. Свыше полутора лет И. А. Вышнеградский провёл за границей — в Германии, Франции, Бельгии, Англии, знакомясь с состоянием машиностроения как в высших технических учебных заведениях, так и на заводах.

По возвращении в 1862 г. в Россию И. А. Вышнеградский был утверждён профессором практической механики Михайловской артиллерийской академии, а вскоре и профессором механики Петербургского технологического института.

В обоих этих учебных заведениях он развернул интенсивную профессорскую деятельность. Он читал различные курсы по машиностроению и машиноведению (курсы грузоподъёмных машин, токарных станков, паровых машин и др.) и по смежным дисциплинам (по прикладной механике, теории упругости, термодинамике), а также вёл курсовое и дипломное проектирование.

Вот как характеризует эту его деятельность В. Л. Кирпичёв, один из выдающихся учеников И. А. Вышнеградского, в речи, посвящённой его памяти:

«Многочисленные бывшие слушатели Ивана Алексеевича сохраняют восторженные воспоминания о его лекторском таланте. Он имел редкий дар приковывать внимание слушателей к объясняемому предмету, заинтересовывать их и всё им рассказанное запечатлевалось в памяти надолго, если не на-

всегда... В то же время он умел просто и ясно излагать самые трудные теории или, лучше сказать, при его исследовании в науке вовсе не оказывалось ни тёмных, ни трудных мест...

Кроме чтения лекций, Иван Алексеевич руководил проектированием слушателями различного рода машин: подъёмных, паровых, рабочих станков и т. д.; здесь он являлся в высшей степени полезным для своих учеников, выработывая из них прекрасных конструкторов. Сам покойный обладал замечательным конструкторским талантом, т. е. способностью творчества в области машиностроения, талантом создавать новое как в общем устройстве машин, так и в деталях их».

Эта интенсивная профессорская деятельность И. А. Вышнеградского была связана с научной разработкой ряда вопросов машиностроения.

Ещё до заграничной командировки И. А. Вышнеградский отправил в «Артиллерийский журнал» две работы о пороховых прессах и в бюллетень Российской Академии наук работу о расчёте некоторых деталей водяных двигателей. В 1863 г. он напечатал в «Артиллерийском журнале» работу «О прочности цепей». Ряд других научных результатов в области машиностроения И. А. Вышнеградский изложил в своих лекциях.

Далеко не все из этих результатов увидели свет, так как не все лекции И. А. Вышнеградского были напечатаны. Работы по регулированию, которые прославили его имя и на которых мы остановимся особо, были опубликованы в 1877—1878 гг. в «Известиях технологического института» — издании, которое было основано самим И. А. Вышнеградским для печатания работ по различным приложениям науки к технике.

И. А. Вышнеградский не только сам вёл научную разработку вопросов прикладной механики, но и привлекал к этой работе талантливых молодых учёных, из которых некоторые впоследствии получили большую известность. Здесь следует указать прежде всего: Н. П. Петрова — одного из наиболее выдающихся русских механиков, «отца гидродинамической теории трения», который получил математическую и механическую подготовку у М. В. Остроградского, но первыми шагами которого в области прикладных дисциплин руководил И. А. Вышнеградский; В. Л. Кирпичёва — впоследствии виднейшего учёного-инженера, автора замечательных руководств по механике и организатора высшего технического образования; А. П. Бородин — впоследствии видного железнодорожного инженера, автора ряда усовершенствований в конструкциях паровозов.

В 1871 г. И. А. Вышнеградский организовал в Петербурге из своих сотрудников и учеников «пентагональное общество», душою которого был он сам. Это общество, целью которого была научная разработка вопросов прикладной механики и смежных дисциплин, получило своё название в связи с тем, что состояло из пяти членов, причём еженедельные заседания членов общества происходили поочерёдно у каждого из них. Этот небольшой кружок научных работников, распавшийся через несколько лет, сыграл определённую роль в развитии прикладной механики в России. Именно здесь И. А.

Вышнеградский впервые изложил свои соображения о расчётах регуляторов, которые окончательно были оформлены им позднее.

Не менее интенсивной была деятельность И. А. Вышнеградского и в области практики машиностроения.

С 1859 г. И. А. Вышнеградский вместе со своими товарищами по Артиллерийской академии — Н. В. Маиевским, работы которого по внешней баллистике впоследствии получили мировую известность, и А. В. Гадолиным, выдающимся кристаллографом и виднейшим специалистом по артиллерийской технологии, — состоял членом временного Артиллерийского комитета, на который была возложена задача по перевооружению армии. С 1867 по 1878 г. И. А. Вышнеградский непосредственно работал в Главном артиллерийском управлении в должности инженер-механика.

Шестидесятые и семидесятые годы — это годы революции в артиллерийском и стрелковом деле. За это время совершился массовый переход от бронзовых пушек к нарезным стальным орудиям, от сферического ядра к продолговатому снаряду, от обычного пороха к призматическому пироксилиновому пороху, от гладкоствольного ружья, заряжающегося с дула, к скорострельной винтовке, имеющей патроны с металлическими гильзами.

Роль И. А. Вышнеградского в проводимых с 1863 г. преобразованиях русской артиллерии и в реконструировании заводов артиллерийского ведомства весьма велика. Крупнейшие заводы артиллерийского ведомства реконструировались по его проектам, и внутреннее оборудование многих других заводов и мастерских было выполнено по его указаниям и чертежам. В своей речи о его деятельности В. Л. Кирпичёв говорит: «По чертежам покойного было исполнено много машин, преимущественно для артиллерийского ведомства, в котором он долгое время состоял главным механиком и для которого он устроил механическую часть многих технических заведений: орудийного, патронного, порохового заводов и др. Самой замечательной работой Ивана Алексеевича в области практического машиностроения была постройка Охтенского порохового завода, для которого покойный устроил двигатель (три турбины Жонваля по 140 сил каждая) и проволочную передачу работы от двигателя к отдельным пороховым фабрикам, выстроеным на протяжении нескольких вёрст, в расстоянии 25 сажен одна от другой, и многие исполнительные механизмы... Из числа исполнительных механизмов этого завода замечателен придуманный Иваном Алексеевичем пресс для изготовления призматического пороха — весьма остроумная автоматическая машина, которая была потом применена и на германских пороховых заводах».

Деятельность И. А. Вышнеградского в области практического машиностроения не ограничивалась артиллерийским ведомством. Им были выполнены многочисленные проектные работы для железных дорог (в том числе пристань в Рыбинске с механической перегрузкой грузов из барж в вагоны) и отдельных частных предприятий.

Начиная со второй половины семидесятых годов, И. А. Вышнеградский стал принимать участие в управлении железными дорогами и промышлен-

ными предприятиями (Юго-Западные железные дороги, Рыбинско-Бологовская дорога, Петербургское общество водопроводов и др.), занимаясь не только технической стороной их деятельности, но и их финансами, входя, как и всегда, во все детали административных, финансовых, в частности биржевых, операций. Постепенно он сокращал свои профессорские обязанности, передавая сотрудникам и ученикам свои курсы и руководство проектированием.

С начала 80-х годов И. А. Вышнеградский начал выдвигаться как организатор технического образования в России и как государственный деятель.

В 1875 г. И. А. Вышнеградский был назначен директором Петербургского технологического института, профессором которого он состоял с 1862 г. В 1881 г. этот институт был передан из Министерства финансов в Министерство народного просвещения, и И. А. Вышнеградский принял участие в делах этого министерства. После работ по пересмотру университетского устава, по пересмотру устава реальных училищ, по устройству Всероссийской промышленно-художественной выставки в Москве (1882 г.) он организовал (в 1883 г.) при учёном комитете Министерства народного просвещения отделение по техническому и профессиональному образованию. В 1884 г. в качестве члена Совета Министерства народного просвещения И. А. Вышнеградский составил проект развития профессионального образования в России. Этот проект, представляющий значительный интерес во многих отношениях, предусматривал как подготовку инженеров с высшим образованием и техников со средним образованием, так и широкую подготовку мастеров и квалифицированных рабочих различных специальностей. Этот проект, с некоторыми изменениями, был принят позднее и коренным образом улучшил дело среднего и низшего профессионального образования в России.

Особо следует отметить участие И. А. Вышнеградского в реорганизации Петербургского и в создании Харьковского технологических институтов.

В 1887 г. И. А. Вышнеградский был назначен управляющим Министерства финансов, а через год — министром финансов. В задачу настоящего очерка не входит характеристика его деятельности на этом посту. Мы отметим лишь несколько наиболее важных моментов. И. А. Вышнеградскому удалось, при помощи ряда жёстких мер, добиться отсутствия дефицита в государственном бюджете России. Он организовал при Министерстве финансов специальный департамент железнодорожных дел, провёл ряд мероприятий по упорядочению, в интересах государства, железнодорожных тарифов и предпринял ряд существенных шагов, направленных к переходу частных железных дорог в руки государства.

И. А. Вышнеградский разделял точку зрения тех кругов, которые считали, что Россия может быть действительно самостоятельным и сильным государством лишь в том случае, если она будет страной не только земледельческой, но и промышленной, и при нём Россия круто повернула таможенную политику, перейдя к системе таможенных пошлин, охраняющих отечественную промышленность. Проведённый им тариф 1891 г. необычайно затруднил

распространение германских фабрикатов на русском рынке и вызвал таможенную войну с Германией. Эта таможенная война при И. А. Вышнеградском не была закончена. Как известно, эта война закончилась благоприятным для России торговым договором 1894 г.

В августе 1892 г. с И. А. Вышнеградским, сильно переутомлённым напряжённой работой в Министерстве финансов, где неурожайный год вызвал много неожиданных затруднений, сделался удар. Ему пришлось оставить пост министра финансов и почти совершенно отказаться от какой бы то ни было деятельности.

6 апреля 1895 г. И. А. Вышнеградский умер.

Профессор В. Л. Кирпичёв на торжественном заседании Харьковского отделения Русского технического общества, посвящённом памяти И. А. Вышнеградского, в речи, отрывки из которой мы уже приводили, следующими словами охарактеризовал значение деятельности И. А. Вышнеградского для России: «...введение в России преподавания машиностроения, а следовательно, и подготовка к отечественному производству машин есть дело И. А. Вышнеградского и в этом состоит главная заслуга и особое значение покойного... И. А. Вышнеградский образовал несколько поколений механиков и строителей машин; ученики его теперь рассеяны по всему лицу нашего обширного отечества и, пользуясь сообщёнными им знаниями, успешно работают практически и теоретически на поприще машиностроения; оно стало у нас туземным делом...».

Популярность И. А. Вышнеградского среди русских технических деятелей была весьма велика. Через несколько лет после его смерти

Общество технологов собрало по подписке значительную сумму денег, проценты с которой раз в три года выплачивались в виде премий имени И. А. Вышнеградского за лучшие работы в области «приложения наук к промышленности». Первое присуждение премии состоялось в 1903 г.

Наиболее значительны научные заслуги И. А. Вышнеградского в области теории регулирования.

Всем известен простейший центробежный регулятор, изобретённый ещё Джемсом Уаттом. Задачей такого регулятора Уатта является поддержание в возможно узких пределах — вокруг заданного значения — средней угловой скорости паровой машины при изменениях нагрузки, т. е., например, при включении и выключении обслуживаемых ею станков, динамо-машин и т. д. Когда число оборотов машины возрастает выше нормального, шары регулятора, в результате увеличения центробежной силы, расходятся, муфта поднимается и при помощи системы рычагов уменьшает поступление пара в цилиндры машины. Наоборот, при уменьшении числа оборотов муфта опускается, и поступление пара в цилиндры увеличивается. Регулятор Уатта — простейший регулятор прямого действия. Здесь перестановка заслонки, управляющей поступлением пара в машину, производится при помощи системы рычагов самим индикатором (чувствительным органом) — в данном случае массивными шарами, сходящимися или расходящимися при изменении числа

оборотов. Но там, где для перестановки заслонки, или аналогичного приспособления, управляющего поступлением рабочего тела (пара, воды), требуется большая сила, там устраиваются регуляторы непрямого действия. В них работу перестановки совершает не сам индикатор, а особый двигатель — так называемый сервомотор, обладающий достаточной силой, а индикатор лишь управляет этим сервомотором, на что требуется незначительная сила.

На первый взгляд кажется, что принцип действия регулятора Уатта настолько очевиден, что знание механики позволит быстро провести все необходимые для техники расчёты. Однако дело вовсе не так просто. Когда во второй половине прошлого столетия практика настоятельно потребовала от только что возникшего научного машиностроения ответа на вопрос, как рассчитать регулятор, как заранее теоретически определить его конструктивные данные таким образом, чтобы он безотказно работал, то этот вопрос вызвал большие затруднения. Актуальность и жизненность задачи вызвали появление десятков работ, посвящённых теории регуляторов, но первой работой, позволившей конструкторам по-настоящему рассчитывать регуляторы типа Уатта и многие другие регуляторы прямого действия, была работа И. А. Вышнеградского «О регуляторах прямого действия» (1876 г.).

До И. А. Вышнеградского, как правило, рассматривали движение машины отдельно от движения регулятора. При рассмотрении регулятора предполагали, что его ось вращается с наперёд заданной постоянной угловой скоростью, т. е. действовали, как правило, по законам

статики, лишь прибавляя к силе тяжести центробежную силу инерции. Такое грубое, заведомо неправильное рассмотрение могло дать лишь первоначальную ориентировку.

И. А. Вышнеградский твёрдо поставил рассмотрение процесса регулирования на почву динамики, учтя в управлениях факторы, действительно существенные для хода процесса регулирования, в частности взаимодействие машины и регулятора, а также трение вязкое и кулоновское.

При дальнейшем исследовании полученных таким образом уравнений движения И. А. Вышнеградский пренебрёг кулоновским трением и получил возможность рассматривать всю задачу при помощи теории линейных дифференциальных уравнений. Пренебрежение кулоновским трением привело И. А. Вышнеградского к утверждению о необходимости для правильной работы регулятора снабдить последний «катарактом» — специальным поршнем, движущимся в цилиндре с маслом и создающим вязкое трение. Ожесточённая дискуссия, возникшая вокруг вопроса о необходимости катаракта, весьма способствовала выяснению многих пунктов теории регулирования, и появившиеся через несколько лет работы исправили эту ошибку И. А. Вышнеградского и показали, как нужно учитывать кулоновское трение. Однако при учёте кулоновского трения задача становится нелинейной и настолько сложной, что вплоть до самого последнего времени оставалась не решённой в общем случае.

Само собой разумеется, что это ошибочное утверждение И. А. Вышнеградского не сказывается на фундаментальном значении всей его работы. Если кулоновское трение достаточно мало, а это часто на практике имеет место, все выводы И. А. Вышнеградского остаются в полной силе.

Образцовый анализ этой «линеаризованной» задачи позволил И. А. Вышнеградскому сделать чёткие технические выводы и установить знаменитые «неравенства Вышнеградского», которые с тех пор кладутся в основу расчёта регуляторов. Эти неравенства были им наглядно представлены в виде так называемой «диаграммы Вышнеградского», вошедшей во многие, в том числе современные, учебники; по прямоугольным осям этой диаграммы отложены безразмерные величины, просто связанные с практическими, конструктивными параметрами машины и регулятора; диаграмма указывает области устойчивой и неустойчивой работы системы машина — регулятор; более того, она показывает в устойчивой области отдельно ту её часть, которая соответствует работе регулирующего устройства без всяких нежелательных колебаний.

Выводы И. А. Вышнеградского, сформулированные также в виде нескольких тезисов, были обращены непосредственно к инженерам и изобретателям, занимающимся проектированием и конструированием регуляторов, и содержали фундаментальные, практически крайне важные сведения, о необходимых соотношениях между данными регулятора и данными машины, объяснившие, в частности, неудачу многих конструкций. х

Эта работа И. А. Вышнеградского, появившаяся почти одновременно на нескольких языках, сразу сделалась предметом самого пристального внимания в Германии, Франции и Америке. Общепризнано её фундаментальное значение для современной теории регулирования, как и её влияние почти на все последующие работы по теории регулирования. Так, например, известный инженер Хорт, автор многих работ и книг по прикладной механике и теории колебаний и автор одного из немногих имеющихся в литературе обзоров по истории теории регулирования, прямо пишет, что эту работу «следует рассматривать как лежащую в основе современной теории регулирования».

Дальнейшее развитие машиностроения привело к усложнению схем автоматического регулирования, причём основное развитие теории регулирования шло по линии исследования «линеаризованных» задач, т. е. по линии обобщения результатов, полученных И. А. Вышнеградским. По просьбе знаменитого специалиста по паровым турбинам Стодола, работы которого по теории регулирования носят прямые следы влияния Вышнеградского, немецкий математик Гурвиц в 1895 г. рассмотрел общий случай линеаризованных задач теории регулирования и получил «неравенства Гурвица», являющиеся не чем иным, как обобщением неравенств Вышнеградского. Эти неравенства Гурвица или, как их иногда называют, Рауса-Гурвица и сейчас составляют основу большинства расчётов теории регулирования.

После смерти И. А. Вышнеградского было обнаружено, что существует работа знаменитого английского физика Максвелла, опубликованная ещё в 1868 г., в которой Максвелл занимается той же задачей, которую поставил и решил И. А. Вышнеградский. В своей работе Максвелл приходит к тем же математическим условиям правильной работы регулятора, что и Вышнеградский, но у Максвелла отсутствуют те последовательные и отчётливые технические выводы, которые составляют замечательную особенность работы Вышнеградского.

Вторая работа И. А. Вышнеградского «О регуляторах непрямого действия» (1878 г.), отличающаяся, как и первая, последовательной динамической точкой зрения и интересная тем, что здесь делается попытка рассматривать нелинейные задачи теории регулирования, имеет меньшее значение. Но и эта работа, занимавшаяся такими регуляторами непрямого действия, конструкции которых быстро вышли из употребления, несомненно оказала определённое влияние на последующие работы по регулированию.

Современная техника, в частности военная, характеризуется исключительно большой и всё возрастающей ролью различного рода автоматических устройств. В связи с этим и теория автоматического регулирования с каждым годом получает всё большее и большее значение.

Недалеко то время, когда элементы этой теории будут являться необходимым предметом образования каждого инженера и технического физика. Несомненно, что и имя замечательного русского учёного и инженера Ивана Алексеевича Вышнеградского, работы которого сыграли выдающуюся роль в развитии теории автоматического регулирования, получит еще большую известность.



Главнейшие труды И. А. Вышнеградского: О движении системы материальных точек, определяемой полными дифференциальными уравнениями (магистерская диссертация), Спб., 1870; Лекции о паровых машинах, читанные в Технологическом институте, Спб., 1874; Несколько замечаний о пороховых прессах, «Артиллерийский журнал», 1860 (стр. 237); Вычисление наибольшего давления, испытываемого пороховой лепёшкой в прессе Буше, там же (стр. 260); О прочности цепей, там же, 1863 (стр. 781); О регуляторах прямого действия, «Известия Петербургского практического технологического института», 1877; О регуляторах непрямого действия, там же, 1878; Публичные популярные лекции о машинах, Спб., 1859; Элементарная механика, Спб., 1860; Публичные лекции об основных законах механической теории теплоты, Спб., 1873.

О И. А. Вышнеградском: Кирпичёв В. Л., И. А. Вышнеградский, как профессор и учёный, «Вестник общества технологов», 1895, №6; Б о р о д и н Л. П., И. А. Вышнеградский, «Инженер», 1895, № 4; Министерство финансов, ч. II, Спб., 1902.

Источник: Люди русской науки: Очерки о выдающихся деятелях естествознания и техники / С.И. Вавилов. — М., Л.: Гос. изд-во техн.-теоретической лит-ры. — 1948.