

Тема: «Появление теории автоматического регулирования (ТАР)

**Работы Д.-К. Максвелла, И.А.Вышнеградского, А.Стодола,
заложившие основу ТАР**

Лекция 4 - Непрямое регулирование. Работы А.Стодола: «О регулировании турбин I» (1893), «О регулировании турбин II» (1894), «Принцип регулирования Сименсов и американские инерционные регуляторы» (1899)



Аурель Стодола (1859 - 1942)

А.Стодола родился в небольшом словацком городе в семье владельца небольшой фабрики. Окончив с отличием реальное училище, Стодола поступает в Будапештский политехникум, который оканчивает в 1878 году. В этом же году Стодола едет в Швейцарию, в г. Цюрих, где слушает лекции в Цюрихском университете. Завершает свое образование Стодола в Цюрихском политехникуме, где получает диплом с отличием инженера-механика.

В 1881 году Стодола возвращается в Будапешт, где работает в мастерских Государственных железных дорог. В 1883 году едет в Берлин и работает в Высшей технической школе в Шарлоттенбурге, одновременно посещает лекции Гельмгольца в Берлинском университете. В 1884 году Стодола переезжает в Париж, где посещает лекции в Сорбоне.

В конце 1884 года Стодола возвращается на родину и до конца 1886 года руководит фабрикой своего отца.

С 1886 по 1892 год Стодола работает на машиностроительном заводе фирмы Рустон и К⁰.

В 1892 году 33-летний инженер-механик А.Стодола занимает кафедру машиностроения в Цюрихском политехникуме и руководит ею до 1929 года, пока по достижении 70-летнего возраста он выходит в отставку.

В работах по теории автоматического регулирования Стодола выступает как прямой последователь И.Вышнеградского. Он отчетливо понимает важность теоретического исследования и стремится каждую интересующую его проблему сделать доступной математическому анализу.

Научный контакт с А.Гурьвицем, который одновременно со Стодолой был приглашен в Цюрихский политехникум, побудил Стодолу продумать вопросы, связанные с использованием математики для потребностей быстро развивающейся техники и выступить через два года на Первом интернациональном математическом конгрессе в Цюрихе (1897 г.) со специальным докладом «Об отношении техники к математике», который получил большую известность.

История возникновения регуляторов непрямого действия

Усиление мощности паровых машин, сопровождавшееся увеличением расхода пара и утяжелением заслонки в паропроводе, привело, как мы знаем, к возрастанию масса грузов регуляторов. Применение катаракта для обеспечения устойчивости существенно утяжеляло конструкцию.

Конструкторы решили ввести в состав управляющего устройства специальный двигатель, призванный перемещать регулирующий орган (заслонку). При этом устройство, являющееся регулятором в предыдущих конструкциях, стало выполнять функцию измерителя частоты вращения и управления работой двигателя, на что требовались незначительные усилия. Сам измеритель (по конструкции соответствующий старым регуляторам) становился очень легким.

Так появились регуляторы нового типа - регуляторы непрямого действия (прежние регуляторы, стали называться регуляторами прямого действия). Однако на первых порах было трудно обеспечить точное следование положения заслонки за положением регулятора.

В 1873 году французский инженер С.Фарко опубликовал идею жесткой отрицательной обратной связи, суть которой была в следующем: в то время как измеритель, воздействуя на сервомотор, осуществляет изменения положения заслонки, сервомотор в своем движении осуществляет обратное (выключающее) воздействие на действия измерителя. Отрицательная обратная связь обеспечивала в системе непрямого регулирования такую же зависимость положения заслонки от положения измерителя, которая характерна для регуляторов прямого действия. Началась эра работоспособных регуляторов непрямого действия.

В это время значительное влияние на практику и теорию регулирования начали оказывать гидравлические турбины. В гидравлических турбинах для перестановки заслонки требуется очень большая сила. Поэтому для регулирования частотой вращения гидравлической турбины возможно только не прямое регулирование.

Чем же гидравлические турбины - потомки водоподъемного колеса, обеспечивавшего водой земледельцев Древнего Египта и Вавилона и обслуживавшего средневековые мануфактуры, привлекли к себе внимание? - Водоподъемное колесо получило второе рождение в виде гидравлической турбины после изобретения электрогенератора, электродвигателя, трансформатора.

Развитие электротехники на первом этапе сдерживалось потерями энергии, вызванными сопротивлением металлических проводов линий электропередачи.

Первым, кто понял, как преодолеть это препятствие, был известный русский электротехник Д.А.Лачинов - необходимо увеличить напряжение источника, питающего линию. В 1880 году Лачинов обосновал это теоретически и опубликовал свою работу в журнале «Электричество».

Через год француз М.Депре реализовал эту идею, передав энергию, вырабатываемую гидравлической турбиной (гидромашинной) на водопаде в Мисбах при помощи генератора постоянного тока (напряжение 2000 вольт), на выставку в Мюнхен, удаленном на расстояние 57 километров от источника энергии. Потери энергии составили 78 %. Увы, таковы были возможности постоянного тока.

В 1887 году югославский ученый Г.Тесла изобретает двухфазный двигатель переменного тока. Двигатель оказался недостаточно совершенным для широкого практического применения.

Революцию в электротехнике произвел М.О.Доливо-Добровольский. Он открыл, что при помощи трехфазного переменного тока можно создать вращающееся магнитное поле в электрических двигателях. Свою идею он реализовал, построив генератор, двигатель и трансформатор. Этим Доливо-Добровольский сделал возможной экономичную передачу электрической энергии на большие расстояния. Потери энергии при этом оказались ничтожно малы по сравнению с попытками передачи энергии с помощью постоянного тока.

В 1891 году он продемонстрировал свои изобретения, передав энергию, вырабатываемую водяной (гидравлической) турбиной в г. Лауфен, с помощью генератора и повышающего трансформатора (напряжение 12500 вольт) в г. Франкфурт-на-Майне (расстояние 175 километров). До места назначения дошло 77,4 % энергии!!!

В связи с этим, конструкторы, казалось, забывшие о водяных турбинах под влиянием бурного триумфа паровых машин, вновь вспомнили о них.

Регулятор непрямого действия без обратной связи (РНД без ОС)

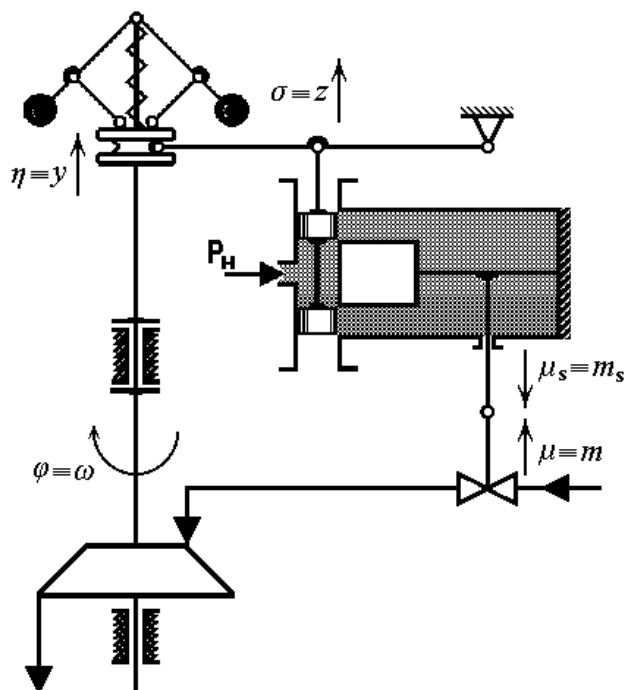


Рисунок 1 – Принципиальная схема регулирования частоты вращения турбины с РНД без ОС

Уравнения движений турбины, регулируемой РНД без ОС

$$\begin{cases} T_a \dot{\varphi} + \theta \varphi = \mu - f; \\ T_r^2 \ddot{\eta} + T_k \dot{\eta} + \gamma \eta = \varphi; \\ T_s \dot{\mu}_s = \sigma; \\ \sigma = \eta; \\ \mu = -\mu_s. \end{cases}$$

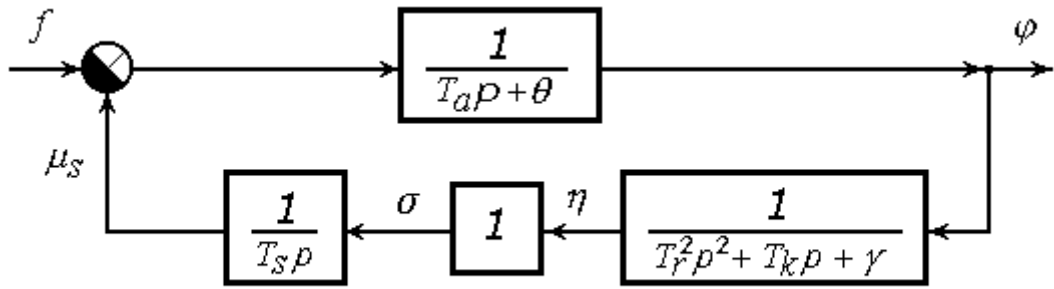


Рисунок 2 – Структурная схема регулирования частоты вращения турбины с РНД без ОС

Регулятор непрямого действия с жесткой отрицательной обратной связью (РНД с ЖООС)

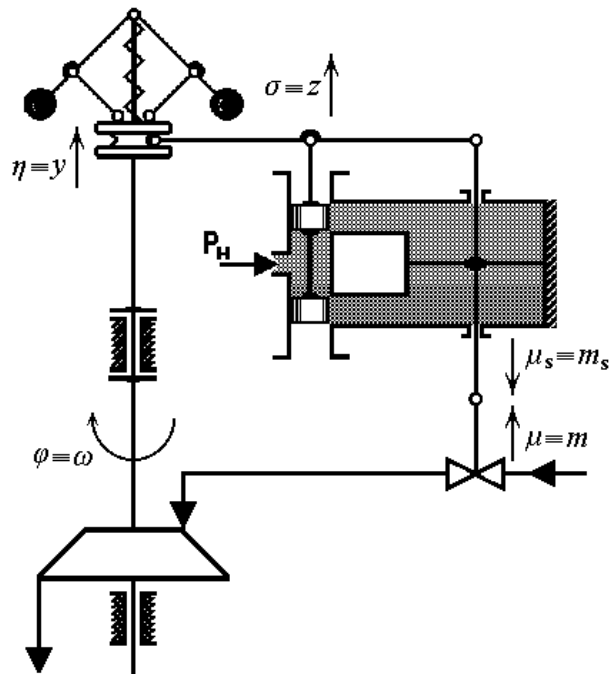


Рисунок 3 – Принципиальная схема регулирования частоты вращения турбины с РНД с ЖООС

Уравнения движений турбины, регулируемой РНД с ЖООС

$$\begin{cases} T_a \dot{\varphi} + \theta \varphi = \mu - f; \\ T_r^2 \ddot{\eta} + T_k \dot{\eta} + \gamma \eta = \varphi; \\ T_s \dot{\mu}_s = \sigma; \\ \sigma = \eta - \mu_s; \\ \mu = -\mu_s. \end{cases}$$

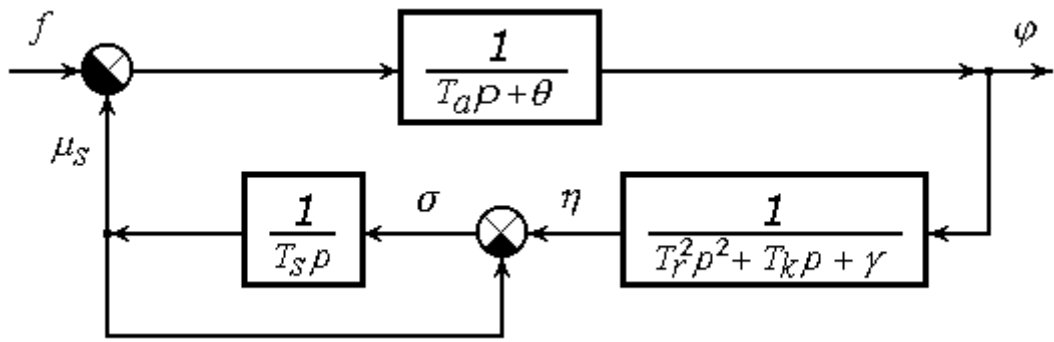


Рисунок 4 – Структурная схема регулирования частоты вращения турбины с РНД с ЖООС

Регулятор непрямого действия с гибкой отрицательной обратной связью (РНД с ГООС)

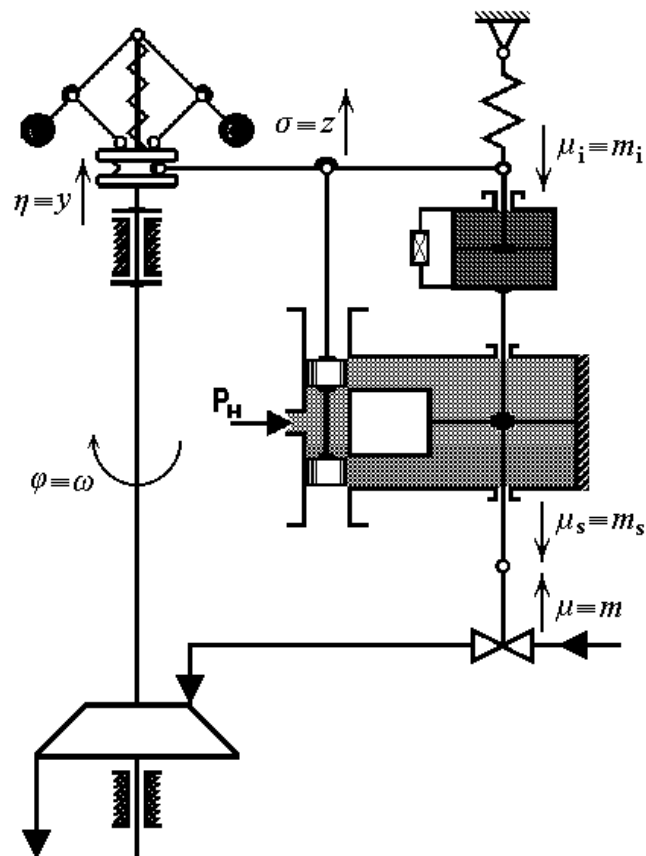


Рисунок 5 – Принципиальная схема регулирования частоты вращения турбины с РНД с ГООС

Уравнения движений турбины, регулируемой РНД с ГООС

$$\begin{cases} T_a \dot{\varphi} + \theta \varphi = \mu - f; \\ T_r^2 \dot{\eta} + T_k \dot{\eta} + \gamma \eta = \varphi; \\ T_s \dot{\mu}_s = \sigma; \\ \sigma = \eta - \mu_i; \\ T_i \dot{\mu}_i + \mu_i = K_i \mu_s; \\ \mu = -\mu_s. \end{cases}$$

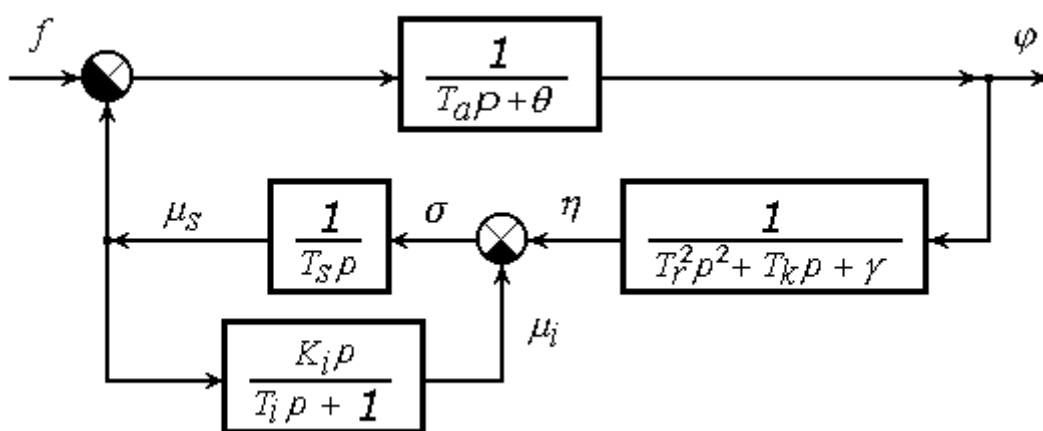


Рисунок 6 – Структурная схема регулирования частоты вращения турбины с РНД с ГООС