

ВАЖНИ КРЪГЛИ ГОДИШНИНИ В РАЗВИТИЕТО НА АВТОМАТИКАТА

Георги Радулов¹, Димитър Тодоров²

¹ Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail: radoulov@mgu.bg

² Териториална организация на НТС-Монтана

РЕЗЮМЕ. Докладът е посветен на важни исторически моменти от развитието на автоматиката. Отбелязани са важни кръгли годишнини в това развитие, които се навършват през 2008 г. По-специално внимание е обърнато на труд на Максвел поставил началото на теория на автоматичното регулиране.

IMPORTANT ANNIVERSARIES IN THE DEVELOPMENT OF THE AUTOMATION

Georgi Radulov¹, Dimitar Todorov²

¹ University of mining and geology "St Ivan Rilski", 1700 Sofia, E-mail radoulov@mgu.bg

² Teritorialna organizaciya na NTS- Montana

ABSTRACT. The report is dedicated of the important historical moments from the development of the automation. Attention is drawn on significant anniversaries which are to be celebrated during the year 2008. Special attention is paid on a work of Maxwell who initiated a theory of the automatic regulation.

Автоматизацията, и като практика, и като теория получи голямо развитие днес. В основата на тези й успехи е залегнал трудът на много учени и изобретатели. Този труд е една съкровищница на идеи от която могат да черпят днешните специалисти работещи в областта. Наложила се е практиката да се обръщаме към тези събития при навършването на кръгли годишнини. Според нас през 2008 г. се навършват следните важни кръгли годишнини свързани с развитието на автоматиката:

1. В 1588 г. А. Рамели описва устройство за автоматично подаване на зърното в мелниците, което представлява система с обратна връзка – една от големите идеи в техниката.

2. В 1788 г. Уат приспособява изобретения (1877 г.) от Томас Мийд центробежен регулатор за регулиране скоростта на въртене на вятърна мелница за управление на парните машини.

3. През 1838 г. проф. Чижов, преподавател по механика в Петербургския университет, публикувал курс по теория на регулаторите, който влязъл в учебници и монографии по механика и парни машини.

4. През 1868 г. излиза трудът на Максвел: "За регулаторите" (J.C. Maxwell, On Governors, The proceedings of Royal Society, № 100, 1868, p.105-120.

5. Преди 70 години (1938 г.) А.В. Михайлов в труда си "Хармоничния метод в теория на регулирането", обосновава целесъобразността от използване на честотните методи и предлага нов критерии за оценка на САР.

6. В 1948 г. излиза на бял свят трудът на Н. Винер: Кибернетика Norbert Wiener Cybernetics, John Wiley, New York, 1948.

7. Навършва се половин век от излизането на труда на Kalman "Design of a Self-optimizing Control Systems (1958).

8. В 1968 г. излиза от печат фундаменталния труд на Я.З.Цыпкин "Адаптация, обучение и самообучение в автоматических системах".

Изброените творчески дела имат съществен принос в развитието на автоматиката, като наука и практика. Всеки един от авторите им трябва да получи заслужена оценка от нас последователите им. Всяка от тези важни технически идеи е целесъобразно да бъде анализирана като тласък в развитието на автоматиката. Да се оцени изчерпана ли е докрай или търпи развитие. В това отношение особено внимание заслужават идеите в събитията 6, 7 и 8. За съжаление в един доклад това нещо е невъзможно. Освен това изисква се сериозна теоретична подготовка и задълбочен общ поглед в областта. Тези изисквания са над нашите възможности.

Спираме се на приноса на Максвел в развитието на теорията на автоматичното регулиране, защото поставя начало на задълбочено теоретично разглеждане на проблема за точността и устойчивата работа на автоматични системи.

На инженерите и физиците Максвел е известен навече с приносите си в областта на електромагнетизма, но той има съществени приноси в областта на механиката и автоматиката.

Максуел получава задълбочена подготовка в областта на математиката и физиката още като студент. От 1847 до

1850 г. учи в Единбургския университет. Тук самостоятелно се занимава с изследвания в областта на геометрията и механиката. В края на 1850 г. продължава следването си в Кембридж, където изучава математика, физика, механика. Особено внимание отделя на трудовете на Фарадей, Ампер, Лагранж и Хамилтон. Общува с У. Томсън (W. Thomson), Д. Стокс и други известни професори от Университета, оставили съществени следи в неговото развитие. Благодарение на тази подготовка, по-нататък в изследователската си дейност той решава редица теоретични проблеми в различни области на науката. Така през 1868 г. той публикува труда си "За регулаторите" (On Governors).

Идеята за написването на този труд се поражда във връзка с изобретения регулатор от Флеминг Дженкин, колега на Максвел. Настройката на регулатора създавала проблеми и Максвел се заинтересувал от условията за устойчива работа при регулиране. Но той не тръгва изведнъж и случайно към решаването на този проблем.

През 1859 г. Максвел публикува работата си "За устойчивостта на движение на пръстените на Сатурн". Той линеаризира разглежданата задача и обобщава резултатите на Лагранж, отнасящи се до малки колебания на консервативна система около положението на равновесие. Свежда задачата до система линейни уравнения с постоянни коефициенти. Именно тази негова работа генетично е свързана с труда му "За регулаторите". И тук той линеаризира задачата за устойчивост на движението на машина, снабдена с регулатор, чиято скорост се колебае около установеното положение.

В труда си, в обем от 21 страници (в руския превод), Максвел най-напред на 6 страници ни въвежда в проблема. Дефинира понятието регулатор. С няколко думи показва недостатъците на три вида регулиращи устройства (на Сименс, Уат и Дж. Томсън). Според него недостатъкът им се изразява в това, че те не могат да поддържат винаги една и съща скорост, а само намаляват промяната ѝ. За отбелязване е, че той разграничава два вида регулиращи устройства – регулатори и модератори. Под модератор разбира регулатор работещ със статична грешка, към които се отнася и регулаторът на Уат. Вниманието му е насочено към регулатори, които поддържат постоянна скоростта на движение. Това са регулаторите, които днес отнасяме към класа на астатичните. Именно тях Максвел нарича регулатори.

По-нататък формулира целите на изследването. Той пише: "В този труд аз искам да насоча вниманието на инженерите и математиците към динамическата теория на такива регулатори, без да навлизам в каквито и да е детайли, засягащи тяхната конструкция." Разглежда три типа регулатори – а) на Дженкин, б) на У. Томсън и М. Фуко) и регулатор конструиран от Кралската астрономическа лаборатория.

Следващият раздел е озаглавен "Различие между регулатори и модератори". В него авторът ни дава основното уравнение от което по-нататък произтичат изследванията и изводите:

$$M \frac{d^2 x}{dt^2} = M_\delta - M_c - F \left(\frac{dx}{dt} - V \right), \quad \text{където}$$

членът $F \left(\frac{dx}{dt} - V \right)$ дава противодействащият момент,

създаван от регулиращото устройство при изменение на съпротивителния или двигателния момент, $\frac{dx}{dt}$ е

действителната скорост, V - нормалната скорост, F – константа, M_δ - двигателният момент, M_c – съпротивителният момент (и двата момента са приведени към вала на машината). Когато скоростта е установена, то левият член в уравнението става равен на нула и новата установена скорост ще се определя от израза

$$\frac{dx}{dt} = V - \frac{M_\delta - M_c}{F}.$$

От тук Максвел прави извода, че при този тип регулатори, щом се промени двигателния или съпротивителния момент на машината, новата установена скорост се различава от нормалната (зададената) с члена $\frac{M_\delta - M_c}{F}$. Колкото разликата в числителя е по-голяма,

при една и съща константа F , толкова и разликата в двете скорости е по-голяма. Поради тази причина той нарича този тип регулиращи устройства модератори, термин употребен преди него от Сименс.

При втория тип регулиращи устройства, които Максвел

нарича регулатори, моментът $F \left(\frac{dx}{dt} - V \right)$, вместо да се

прилага непосредствено към машината, се прилага към независимо движещо се тяло B , което увеличава съпротивителния или намалява двигателния момент с величина зависеща от сумарното преместване на тялото B .

Ако означим с y преместването на тялото B , то уравнението на движението на B ще бъде

$\frac{d}{dt} \left(B \frac{dy}{dt} \right) = F \left(\frac{dx}{dt} - V \right)$, а уравнението за движение

на машината, с инерционен момент M , ще бъде

$M \frac{d^2 x}{dt^2} = M_\delta - M_c - F \left(\frac{dx}{dt} - V \right) + G.y$, където

G е съпротивителен момент, пораждан от тялото B , когато то се премества на единица път.

Интегрирайки първото уравнение се получава

$$B \frac{dy}{dt} = F(x - V.t). \quad \text{От което следва, че щом}$$

регулаторът доведе системата в установен режим, то $x = V.t$. Следователно не само скоростта на машината е равна на нормалната (зададената), но и сумарния ъгъл на завъртане на вала на машината ще бъде такъв както и при отсъствие на изменение на двигателния или съпротивителен момент.

На такава база по-нататък съставя уравненията на "хронометричните центробежни регулатори", разглежда работата на регулаторите на Томсън и Фуко, на течностния регулатор на К.В.Сименс и др.

В работата си Максвел пише: "Аз не съм в състояние да определя в пълнота тези условия (условията за устойчива работа, б.м.) за уравнения на степен по-висока от трета, но се надявам, че този въпрос ще привлече вниманието на математиците". На заседание на математическото общество той поставя въпроса: "Не може ли някой от математиците да покаже метод за получаване на необходимото и достатъчно условие за отрицателността на действителните части на корените на алгебричното уравнение от n -та степен". Поставената от Максвел задача за устойчивост на движението в окончателен вид е решена (1877 г.) от Е. Дж. Раут(с) (E.Routh), състудент на Максвел. Той е също изявен механик. Достатъчно е да се спомене само това, че написаният от него труд "Динамика на системи от твърди тела" е актуален и се ползва като учебник и до сега.

Десетилетия по-късно, решавайки проблеми за устойчивата работа на система машина – регулатор с непряко действие, с подобен проблем се сблъсква Аурел Стодола. Стодола не познава работите на Максвел и Раус. Той се обръща към своя приятел от Цюрихската политехника, изявеният немски математик Адолф Хурвиц (Adolf Hurwitz), да намери необходимите и достатъчни условия, които трябва да удовлетворяват коефициентите на алгебричното уравнение от n -та степен, за да имат корените му отрицателни действителни части. Хурвиц намира (1893 г.) тези условия в елегантна детерминантна форма. Тези условия наричаме критерии на Раус-Хурвиц.

Макар че се интересувал от технически проблеми, Максвел остава настрана от инженерните проблеми на неговото време. В годината на публикуването на разглежданата работа само в Англия работят 75 000 регулатори на Уат. Въпреки това в труда си той не анализира поведението на системи управлявани с регулатора на Уат, а се занимава с регулатори намиращи

единично приложение при някои физически и астрономически уреди. Така с избора на изследваните видове регулатори той се откъсва от злободневните инженерни проблеми – регулирането на промишлени машини. Това вероятно е основната причина поради която трудът му остава незабелязан и неизползван от инженерите по това време. Те нито в неговите изводи, нито даже в неговите уравнения могли да намерят указания как да се борят с появяващите се в много случаи склонности на системата парна машина - регулатор на Уат към неустойчива работа и самовъзбуждане (саморазколебаване).

Причина за равнодушието на инженерите към важните общи идеи в труда на Максвел е, че те са изпреварили времето. Инженерите не са готови за разработването на обща теория на регулаторите на Уат и така да превъзможат натрупаните практически трудности. Освен това структурата на теорията за регулиране приета от Максвел в цитирания труд не съответствала на тези обекти - промишлени парни машини, с регулирането на които имали работа инженерите.

Въпреки казаното появата на трудът на Максвел е крупно събитие за теория на регулирането. Интерес представлява строгата математична постановката на задачата и нейното решение. От особена важност е това, че той поставя проблема за необходимите и достатъчни условия за устойчивост на системите машина – регулатор. Решава този въпрос за алгебрични уравнения до 3-та степен и го поставя пред математиците за решение при по-висока степен.

Литература

1. Максвелл, Д.К., А.И.Вишнеградский, А. Стодола. Теория автоматического регулирования. Издательство Академии наук СССР, 1949.
2. Радулов, Г. История на техниката – еволюция на техническите идеи. София, 2005

Препоръчана за публикуване от катедра
"Автоматизация на производството", МЕМФ