

**Державна служба України з надзвичайних ситуацій
Національний університет цивільного захисту України
Кафедра автоматичних систем безпеки та інформаційних технологій**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Начальник кафедри АСБтаІТ

Роман ШЕВЧЕНКО

Навчальна дисципліна

**СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ
ТА СПОСТЕРЕЖЕННЯ**

Лекція № 1

**ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ
ТА СПОСТЕРЕЖЕННЯ. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ, ВИЗНАЧЕННЯ, СТРУКТУРНІ
СХЕМИ. МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ.**

**ЛІНЕАРИЗАЦІЯ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ. ФОРМИ ЗАПИСУ
ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ . ПОНЯТТЯ
ПЕРЕДАТНОЇ ФУНКЦІЇ. ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА І ЇЇ ПЕРЕТВОРЕННЯ.**

Лекцію розробив:
Доцент кафедри АСБтаІТ

Вячеслав ДУРЄЄВ

Зміст лекції.

1. Вступ
2. Історія становлення пожежної та виробничої автоматики як науки.
3. Предмет і задачі дисципліни.
4. Терміни та визначення.
5. Структурні схеми САУ.
 - 5.1. Принцип управління по відхиленню
 - 5.2. Принцип управління по збурюванню
 - 5.3. Комбінований принцип регулювання
6. Критерії якості АС.
7. Лінеаризація ДР АС.
 - 7.1. Метод повного диференціала.
 - 7.2. Метод січної.
8. Форми запису ДР.
 - 8.1. Звичайна форма запису ДР
 - 8.2. Стандартна форма запису ДР.
 - 8.3. Операторна форма запису ДР.
9. Функціональні схеми і їхні перетворення.
 - 9.1. Послідовне з'єднання ланок.
 - 9.2. Паралельне з'єднання ланок.
 - 9.3. Зустрічно-паралельне з'єднання ланок.
10. Висновки, урахування впливу воєнного стану.

1. ВСТУП

З метою урахування на навчальний процес можливих повітряних тривог, відключення світла та інших проявів нападу росії на Україну, матеріал дисципліни АРВНС розташовано на сайті кафедри АСБтаІТ

<http://itasbit.ho.ua/disciplines.php>

Сьогодні ми починаємо вивчення нової дисципліни

«СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ТА СПОСТЕРЕЖЕННЯ».

На вивчення дисципліни приділяється:

Аудиторних: 60 годин.

Лекції: 22 години;

ПЗ: 26 годин;

ЛР: 12 годин.

Звітність по дисципліні:

- 8 семестр – екзамен.

Дисципліни, що забезпечують: вища математика, теоретична механіка, теорія механізмів і деталей машин, технічна термодинаміка і теплопередача, гідравліка, електротехніка, інформатика.

Забезпечувані дисципліни: сучасні системи пожежної автоматики, засоби автоматичного протипожежного захисту.

У результаті вивчення дисципліни необхідно:

ЗНАТИ:

- основні поняття САКС; принципи дії, характеристики, умови роботи, особливості конструктивного виконання елементів автоматичних систем (АС); принципи керування й структуру типових АС;
- методи розрахунку характеристик лінійних АС й їхні елементи.

УМІТИ:

- становити лінійні математичні моделі елементів АС і виконувати розрахунок динамічних параметрів; становити структурні й функціональні схеми АС; виконувати математичний аналіз і синтез АС по їхніх функціональних моделях; аналізувати роботу АС у різних умовах.

БУТИ ОЗНАЙОМЛЕНИМ: з основами теорії АС

Література основна:

1. Теорія автоматичного управління. Практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Н.І. Бурау, Д.О. Півторак; КПІ

Російсько-українська війна [1], також російська збройна агресія проти України – війна між росією і Україною, викликана прямим й опосередкованим застосуванням збройної сили російською федерацією проти суверенітету і територіальної цілісності України, що триває з 2014 року. Відкритими складовими російської збройної агресії проти України були та є:

- російське збройне вторгнення в Крим у лютому-березні 2014 року (з подальшим початком тимчасової окупації півострова росією 20 лютого 2014 року);

- війна на сході України (на Донбасі) з квітня 2014 року, яка розпочалася зі створення під прикриттям «народних» виступів спецслужбами рф терористичних так званих Донецької і Луганської «народних республік» та тривала до початку широкомасштабного вторгнення;

- широкомасштабне вторгнення росії в Україну з 24 лютого 2022 року, яке розпочалося після тривалого військового нагнітання та визнання росією своїх маріонеткових утворень «днр» та «лнр» як незалежних держав;

- 27 січня 2015 року, Верховна Рада України визнала російську федерацію агресором. 22 травня 2022 року Верховна Рада України визнала російську федерацію державою-терористом із тоталітарним неонацистським режимом та заборонила його пропаганду, а також пропаганду акту агресії росії проти України.

Станом на січень 2021 року, за даними ООН, загальна кількість людських втрат у війні становила 13 100—13 300 осіб. До цього числа входять 3 375 загиблих цивільних осіб, приблизно 4 150 загиблих українських військових, а також приблизно 5 700 загиблих проросійських бойовиків. Майже 1,8 млн осіб стали вимушеними переселенцями.

На 2021 рік під російською окупацією перебувало 43 300 кв. км, або 7 % української території.

24 лютого 2022 року росія розпочала новий етап восьмирічної війни проти України — повномасштабний наступ. О 5 годині ранку путін офіційно оголосив про «спеціальну операцію» в Україні, насправді ж це було початком звичайнісінького вторгнення в суверенну державу. Війська росії розпочали інтенсивні обстріли підрозділів ЗС України на сході та перетнули північно-східні кордони, а також нанесли ракетно-бомбові удари по аеродромах і складах зброї по всій території України. Верховна Рада України одноголосно ухвалила запровадження воєнного стану. Інфраструктура в Україні погіршилася в результаті кібератак і бомбардувань армією росії.



Після початку російського вторгнення 2022 року окупована площа зросла у 2,9 рази. Тимчасово окупованими є Автономна Республіка Крим, частини Донецької, Луганської, Харківської, Херсонської, Запорізької, Миколаївської областей та місто Севастополь.

До 8 квітня 2022 року Збройні Сили України повністю звільнили Київщину, Житомирщину, Чернігівщину та Сумщину.

Станом на 31 січня 2021 року, за даними Управління верховного комісара ООН з прав людини, загальна кількість людських втрат становить 42 - 44 тис. осіб, з яких загинуло 13 100 - 13 300 осіб, поранено 29 500 - 33 500. До цієї кількості входить 3 375 загиблих і 7 000 - 9 000 поранених цивільних осіб, приблизно 4 150 загиблих і 9 700 - 10 700 поранених українських військових, а також приблизно 5 700 загиблих і 12 700 - 13 700 поранених проросійських бойовиків.

За даними Книги Пам'яті полеглих за Україну, станом на 1 грудня 2021 року загинуло 4 490 українських військовиків.

На квітень 2024 року, за даними Книги Пам'яті полеглих за Україну, за 10 років війни загинуло 45510 українських військовослужбовців[197].

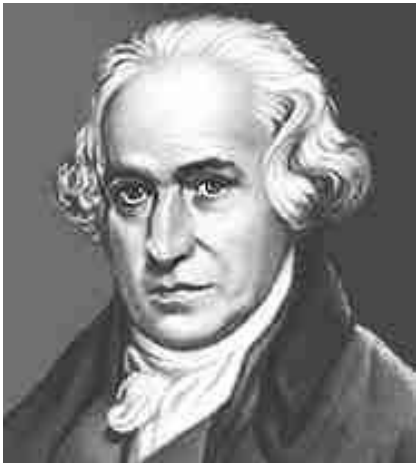
2. ІСТОРІЯ СТАНОВЛЕННЯ ПОЖЕЖНОЇ ТА ВИРОБНИЧОЇ АВТОМАТИКИ ЯК НАУКИ⁵

Протягом розвитку людства видатні винахідники створювали різні самодіючі механізми. Але тільки у зв'язку із промисловою революцією й механізацією виробництва виникли проблеми, вирішити які виявилось можливим тільки на основі фундаментальних теоретичних досліджень.

1765р. - Ползунов І.І. застосував перший промисловий регулятор для стабілізації рівня води в паровому казані на Барнаульском заводі.

Ползунов Іван Іванович (1728-66), російський теплотехнік. В 1763 розробив проект універсального парового двигуна - першої у світі двоциліндрової машини безперервної дії, здійснити який йому не вдалося. В 1765 побудував по іншому проекті першу в Росії паросилову установку для заводських потреб, що проробила 43 днів; за тиждень до її пробного пуску Ползунов помер.

1785р. - Джеймс Уатт (англ.) винайшов відцентровий регулятор частоти обертання на паровій машині.



УАТТ (Watt) Джеймс (1736-1819 рр.), англійський винахідник, розробив універсальний тепловий двигун. Винайшов (1774-84 рр.) парову машину з циліндром подвійної дії, в якій застосував відцентровий регулятор, передачу від штоку циліндра до балансиру з паралелограмом та ін. (патент 1784 р.). Машина Уатта відіграла велику роль у переході до машинного виробництва.

1834р. - Якобі Б.С. і Ленц Э.Х. винайшли регулятор напруги.



Якобі Борис Семенович (дійсне ім'я та прізвище - Мориц Герман фон Якобі, von Jacobi) (21 вересня 1801 р., Потсдам — 11 березня 1874 р., Санкт-Петербург), російський фізик і винахідник в області електротехніки, академік Петербургської АН (1847 р.; член-корр. 1838 р.)

ЛЕНЦ Емілій Христіанович (1804-65 рр.), російський фізик і електротехнік, академік Петербургської АН (1830 р.), ректор Санкт-Петербурзького університету (з 1863 р.). Встановив (1833 р.) перше заводське електромагнітне реле, запропонував ім'я електричного



1867 р. – Давидов О.П. – розробив електричну систему, що стежить, для корабельної артилерійської установки.

Загальним недоліком перших регуляторів була низька точність регулювання. Спроби збільшити точність часто приводили до неоясненої погіршеності якості регулювання – тривалим коливанням чи взагалі до втрати стійкості. Почалася формуватися ТАУ як наука.

1838 р. – з'явився перший курс теорії регуляторів, опублікований професором Петербурзького університету Чижевим Д.С.



ЧИЖОВ Дмитро Семенович (1785-1852 рр), російський математик і механік, член-кореспондент (1826 р.) і почесний член (1841 р.) Петербурзької АН. Основні праці по прикладній механіці, теорії механізмів і машин. Вивчав динамічну силу людини і тварин.



1866 р. – Максвелл Д.К. **МАКСВЕЛЛ (Maxwell) Джеймс Клерк (Clerk) (1831-1879рр.), англійський фізик, творець класичної електродинаміки, один з основоположників статистичної фізики, організатор і перший директор (з 1871 р.) Кавендишської лабораторії. Розвиваючи ідеї М. Фарадея, створив теорію електромагнітного поля, (рівняння Максвелла), увів поняття про струм зсуву, пророчив існування електромагнітних хвиль, висунув ідею електромагнітної природи світла. Встановив статистичний розподіл, названий його**

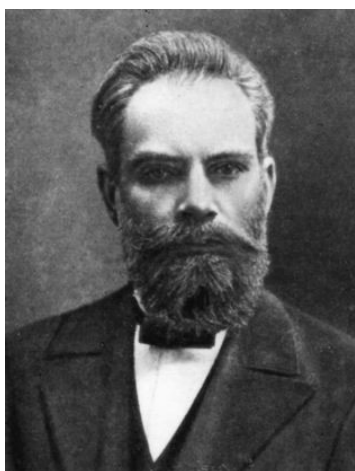


ВИШНЕГРАДСЬКИЙ Іван Олексійович (1831/32-95), російський державний діяч і підприємець. У 1886-94 рр. Почесний член Петербурзької АН (1888 р.). З родини священика. Математик, учень М. В. Остроградського. Один з основоположників теорії автоматичного регулювання, засновник наукової школи по конструюванню машин. У 1865-75 рр. професор прикладної математики в Михайлівській артилерійській академії, у 1875-78 рр. директор Петербурзького технологічного інституту. Одночасно з кінця 1860-х рр. до 1878 р. служив інженером-механіком у Головному артилерійському управлінні, де по його розробках був обладнаний Охтинський пороховий завод, механічні майстерні Петербурзького арсеналу. Член Ради торгівлі і мануфактур. Як підприємець займався в основному залізницями, міськими службами, входив у правління ряду залізниць. Мільйонер. З 1884 р. член ради Міністерства народної освіти, з 1886 по 1895 рр. член Державної ради. З 1887 р. керуючий Міністерством фінансів, у 1888-92 рр. міністр. Підвищив ряд податків, увів додаткові акцизи. Прихильник протекціонізму в митній політиці. Прагнув залучити в країну іноземний капітал і обмежити ввіз іноземних товарів. Сприяв розвитку експортно-орієнтовних галузей, розширенню експорту. Провів конверсію зовнішніх позик з 5-процентних у 4-процентні. Домігся встановлення активного платіжного балансу в зовнішній торгівлі, підготував уведення винної і тютюнової монополій. У цілому його політика спиралася на зроблене Н. Х. Бунге, причому Вишнеградський також прагнув до зменшення витрат на озброєння і пропонував почати міжнародні переговори про обмеження нарощування озброєнь.

1876р. Вишнеградский И.А. досліджував проблеми стійкості й точності регулювання. Показав, що безглуздо досліджувати регулятор без об'єкта регулювання, безглуздо збільшувати точність регулювання шляхом зниження тертя в регуляторі. Без тертя регулятор не працездатний. Розробив критерій стійкості систем 3-го порядку. Вышнеградский И.А вважається по праву основоположником ТАУ.

1877р. Раус Э. - описав спосіб дослідження стійкості АС по співвідношенню коефіцієнтів їх лінійних диференціальних рівнянь.

1892р. Ляпунов А.М. -розробив теорію стійкості нелінійних систем.



ЛЯПУНОВ Олександр Михайлович (1857-1918), російський математик і механік, академік РАН (1917; академік Петербурзької АН з 1901). Створив сучасну теорію стійкості рівноваги й рухи механічних систем з кінцевим числом параметрів. Праці по диференціальних рівняннях, гідродинаміці, теорії ймовірностей.

1934р. Вознесенський І.М. - розробив теорію регулювання систем з декількома регульованими параметрами.

ВОЗНЕСЕНСЬКИЙ Іван Миколайович (1887-1946), російський учений, член-кореспондент АН СРСР (1939). Основні праці по гідромаши-

нобудуванню (керував проектуванням і будівлею потужних турбін і насосів) і автоматичному регулюванню (парові турбіни й казани). Державна премія СРСР (1947, посмертно).

1938р. Михайлов А.В. - розробив частотні методи дослідження САР.

3. ПРЕДМЕТ І ЗАДАЧІ ДИСЦИПЛІНИ

Предмет ДИСЦИПЛІНИ

Автоматична система – взаємозалежна система автоматичного управляючого пристрою (АУП) і об'єкта управління (ОУ).

$$АУ = АУП + ОУ.$$

АУП – сукупність всіх елементів що виробляють, перетворюють і виконують управляючі сигнали.

Предметом дисципліни є інформаційні АС що дозволяють здійснити процес управління без особистої участі людини.

Задачі дисципліни:

А) Аналіз АС. Визначення параметрів, що характеризують роботу АС:

1. Стійкості АС.

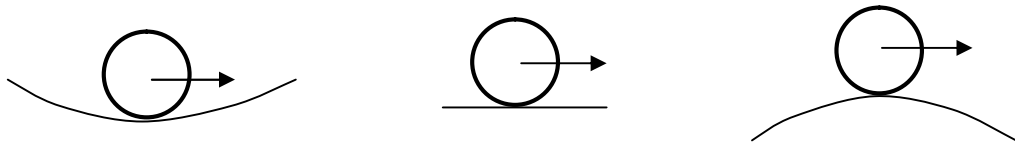


Рис.1.1. Приклад стійкої, нейтральної і нестійкої систем

2. Статичної точності АС – забезпечення мінімальної помилки управління на сталих режимах роботи.

3. Динамічної точності АС – забезпечення оптимальних параметрів регулювання при дотриманні всіх обмежень, що накладаються на параметри ОУ.

Б) Синтез АС. Визначення параметрів елементів АУП з вимог стійкості і заданої якості управління (статичної і динамічної точності).

4. ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

Інформаційні АС – системи, управління в яких здійснюється на підставі інформації про умови процесу і результати управління (запуск АУПГ).

Детерміновані АС – системи, в яких управління здійснюється по жорстких тимчасових програмах (запуск насосу).

Управління – це доцільна організація процесу з метою одержання заданої його ефективності.

Регулювання – це приватний вид управління, при якому параметри процесу підтримуються в заданих межах.

Об'єкт управління (ОУ) – це частина системи, у якій відбувається процес, що підлягає управлінню.

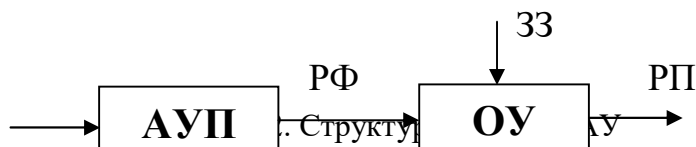
Регульований параметр (РП) – параметр процесу, що характеризує його стан, контролюється АУП, та підлягає управлінню (n).

Регулюючий фактор (РФ) – фізична величина, яка прямо чи побічно впливає на регульований параметр (m).

Зовнішнє збурювання (ЗЗ) – фізична величина навколишнього середовища, що істотно впливає на процес.

5. СТРУКТУРНІ СХЕМИ САУ

В автоматичі АС прийнятий зображувати у вигляді структурних схем, на яких елементи АС умовно зображуються прямокутниками з назвами елементів, а функціональні зв'язки стрілками, причому напрямком стрілки показує й напрямом впливу.



Принцип побудови АС - це основні положення (правила), що визначають взаємодію АУУ й ОУ, а, отже, структуру самого АУУ і його властивості.

Розглянемо принципи побудови на прикладі систем регулювання, як найбільш простий АС.

5.1. Принцип управління по відхиленню

В АС із принципом управління по відхиленню регулятор «стежить» за регульованим параметром і порівнює поточне значення РП із еталонним (заданим) його значенням. Якщо РП відхиляється від заданого значення, то регулятор у такий спосіб змінює значення РФ, щоб відновити задане значення РП.

Наприклад: У САР частоти обертання ротора ГТД регулятор $n_{\text{тк}}$ стежить за поточним значенням частоти обертання ротора. Якщо частота обертання ротора по якій або причині зменшиться, то регулятор збільшить витрату палива в камеру згоряння так, щоб частота обертання ротора відновилася.

1. Необхідно знати поточне значення РП, отже, потрібний **датчик РП (ДАТ)**.
2. Необхідно знати задане значення РП, потрібний **задаючий пристрій (ЗП)**.
3. Необхідно порівнювати поточне значення РП із заданим, отже, потрібний **порівнювальний пристрій (ПП)**.

Порівняння відповідає математичній операції вирахування:

$$\varepsilon = n_{\text{зад}} - n$$

де ε - називається відхиленням, неузгодженістю, помилкою регулювання.

Якщо $\varepsilon = 0$, то $n_{\text{зад}} = n$ і в зміні РФ немає необхідності.

Якщо $\varepsilon > 0$, то $n_{\text{зад}} > n$ - необхідно збільшити РФ.

Якщо $\varepsilon < 0$, то $n_{\text{зад}} < n$ - необхідно зменшити РФ.

4. Можливо, деякі сигнали буде потрібно підсилити, отже, буде потрібний **посилюючий пристрій (ПосП)**.

5. Можливо, деякі сигнали буде потрібно відкоригувати, отже, буде потрібний **коригувальний пристрій (КП)**.

6. Необхідно потрібним чином змінити РФ, отже, буде потрібний **виконавчий пристрій (Вик.П)**.

Таким чином, повна структурна схема САР, що реалізує принцип управління по відхиленню буде мати вид:

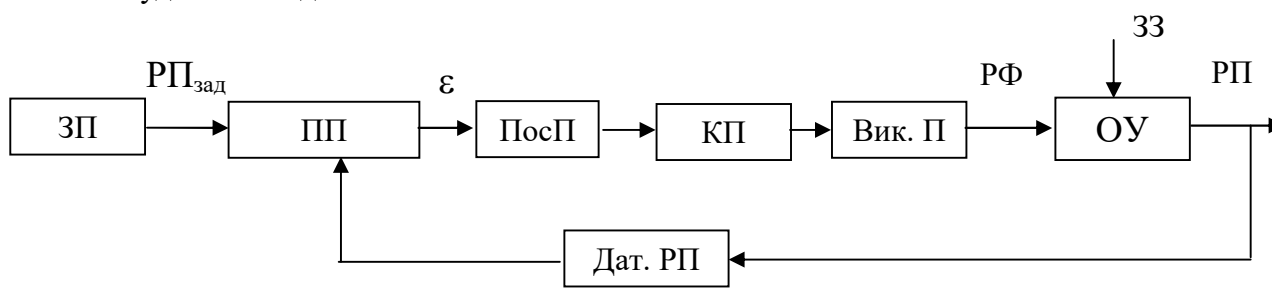
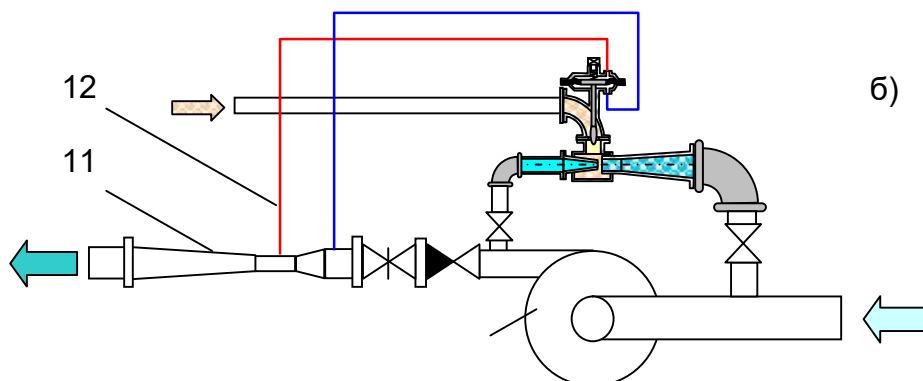
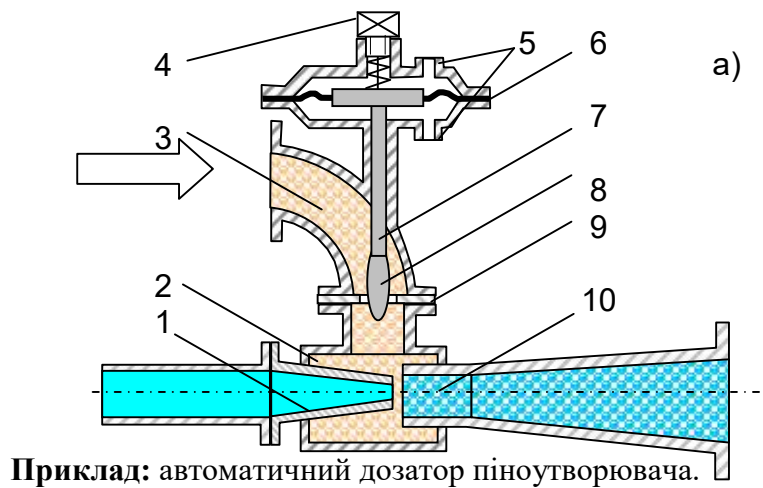


Рис.1.3. Структурна схема замкнутої САУ



Автоматичний дозатор діафрагменного типу

а — струйний змішувач; б — схема підключення;

1 — струменевий насадок; 2 — змішувальна камера; 3 — підведення піноутворювача; 4 — регулюючий винт; 5 — штуцери командних тисків; 6 — діафрагма; 7 — шток; 8 — плунжер; 9 — седло клапану; 10 — дифузор; 11 — труба Вентурі; 12 — трубки командних тисків; 13 — насос

Можна спростити структурну схему скориставшись поняттям регулятор.

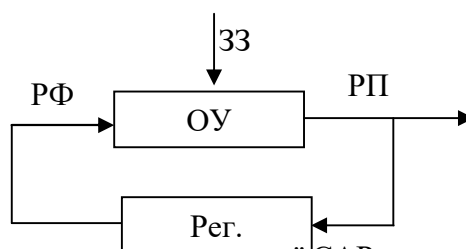


Рис. 1.4 Спрощена схема замкнутої САУ

Видно, що САУ, яка реалізує принцип управління по відхиленню, має замкнутий контур через регулятор. Тому така САУ називається **замкнутою**.

ПРИМІТКА. Наявність замкнутого контуру не є достатньою ознакою замкнутої САУ. САУ буде замкнутої тільки в тому випадку, якщо замкнутий контур утворений через регулятор.

Перевагою замкнутих САУ є висока статична точність. Керування можна здійснювати доти величина ε не буде задовольняти заданим вимогам. Регулятор може нарощувати регулюючий вплив доти, поки помилка не стане рівною нулю.

Недоліком замкнутих САУ є обмежені динамічні можливості (обмежена швидкість), тому що регулятор вступає в роботу тільки при наявності помилки керування ε , тобто тоді, коли зміна РП уже відбулася.

5.2. Принцип управління по збурюванню (дозування піноутворювача)

В АС із принципом управління по збурюванню регулятор «стежить» за зовнішніми збурюваннями, що впливають на ОУ, і відповідно до стану навколишнього середовища забезпечує таке значення РФ, щоб значення РП залишалося увесь час незмінним.

Для реалізації такого принципу управління структура регулятора повинна включати:

1. Датчики зовнішніх збурювань.
2. Обчислювальний пристрій, що формує задане значення РФ.
3. Замкнуту підсистему регулювання РФ.

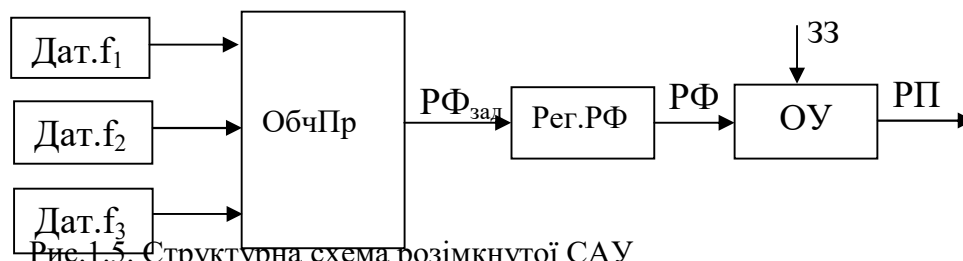


Рис.1.5. Структурна схема розімкнутої САУ

Можна спростити структурну схему, скориставшись поняттям регулятор.

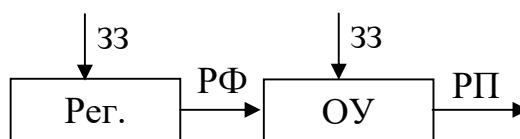


Рис.1.6. Спрощена структурна схема розімкнутої САУ

Видно, що система автоматичного регулювання, що реалізує принцип керування по збурюванню, є **розімкнутою**.

Переваги розімкнутих САУ є висока швидкість. РФ починає змінюватися одночасно зі зміною зовнішніх збурювань, при цьому РП може й не відхилитися від заданого значення.

Недоліком розімкнутих САУ є низька статична точність. Справа в тому, що для забезпечення високої точності керування необхідно стежити за більшим числом зовнішніх збурювань. У ряді випадків може знадобитися інформація про швидкості зміни збурювання, його прискоренні або взагалі (і)-я похідна збурювання. У загальному випадку необхідно обробити матрицю виду:

$$\begin{matrix} f_1, & f_2, & f_3, & f_n; \\ f_1^{(1)}, & f_2^{(1)}, & f_3^{(1)}, & f_n^{(1)}; \\ f_1^{(2)}, & f_2^{(2)}, & f_3^{(2)}, & f_n^{(2)}; \\ f_1^{(n)}, & f_2^{(n)}, & f_3^{(n)}, & f_n^{(i)}; \end{matrix}$$

Обчислювальний пристрій, необхідний для обробки такої матриці даних, виходить дуже складним. Для спрощення обчислювача зневажають зовнішніми збурюваннями, вплив яких досить мало. У самому обчислювачі складні нелінійні залежності заміняють більше простими лінійними залежностями. У результаті таких спрощень керування виявляється неточним і наприкінці керування неминуче нагромадження помилки.

5.3. Комбінований принцип регулювання (перспективна АУПГ)

Комбіновані АС являють собою комбінацію замкнутої й розімкнутої АС, що дозволяє об'єднати їх переваги й уникнути недоліки.

Структурна схема АС буде мати вигляд:

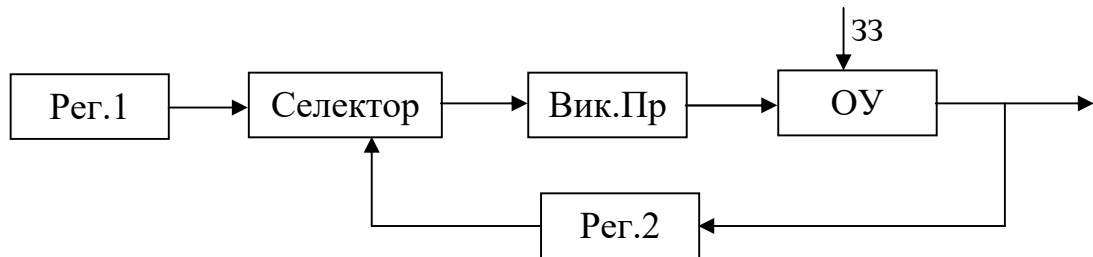


Рис. 1.7. Структурна схема комбінованої АС

При зміні зовнішніх впливів вступає в роботу розімкнута частина АС і приблизно її парирує, не допускаючи появи надмірної помилки. На другому етапі вступає в роботу замкнута частина АС і повністю усуває помилку. Селектор забезпечує порядок взаємодії регуляторів.

6. Критерії якості АС

При оцінці роботи АС виникає необхідність у застосуванні загальних критеріях, що дозволяють чисельно оцінити дійсну точність АС і виконувати порівняння АС між собою.

Такими критеріями є:

Статична точність АС – величина помилки регулювання на сталих режимах
 $\varepsilon(t) = X_{\text{зад}}(t) - X(t)$ при $t \rightarrow \infty$.

ПРИМІТКА: режим називається сталим, якщо регульований параметр чи його похідні приймають постійні значення:

$X^{(0)} = \text{Const}$ – сталий (рівноважний) режим;

$X^{(1)} = \text{Const}$ – режим сталої швидкості;

$X^{(2)} = \text{Const}$ – режим сталої прискорення.

Якщо наприкінці перехідного процесу з'являється помилка, то АС називається статичною, якщо помилки немає - то астатичною.

Астатизм АС залежить від виду вхідного сигналу. Чим складніше вид вхідного сигналу, тим складніше парирувати його без помилки. Можливість парирувати без помилки сигнал складного виду визначається порядком астатизму АС.

АС називається астатичною першого порядку, якщо вона парирує без помилки тільки східчастий сигнал:

$$\varepsilon(\infty) = 0, \quad f(t) = a(t).$$

АС називається астатичною другого порядку, якщо вона парирує

без помилки східчастий сигнал швидкості вхідного сигналу:

$$\varepsilon(\infty)=0, \quad f^{(1)}(t)=a(t), \quad f(t)=at.$$

АС називається астатичною третього порядку, якщо вона парирує

без помилки східчастий сигнал прискорення вхідного сигналу:

$$\varepsilon(\infty)=0, \quad f^{(2)}(t)=a(t), \quad f^{(1)}(t)=at, \quad f(t)=at^2/2.$$

За аналогією можна ввести поняття астатизму n-го порядку. Порядок астатизму повинний бути обґрунтованим, тому що підвищення порядку астатизму веде до ускладнення АС, росту її вартості і додаткових витрат енергії.

Динамічна точність АС (якість перехідних процесів) – характеризується наступними параметрами:

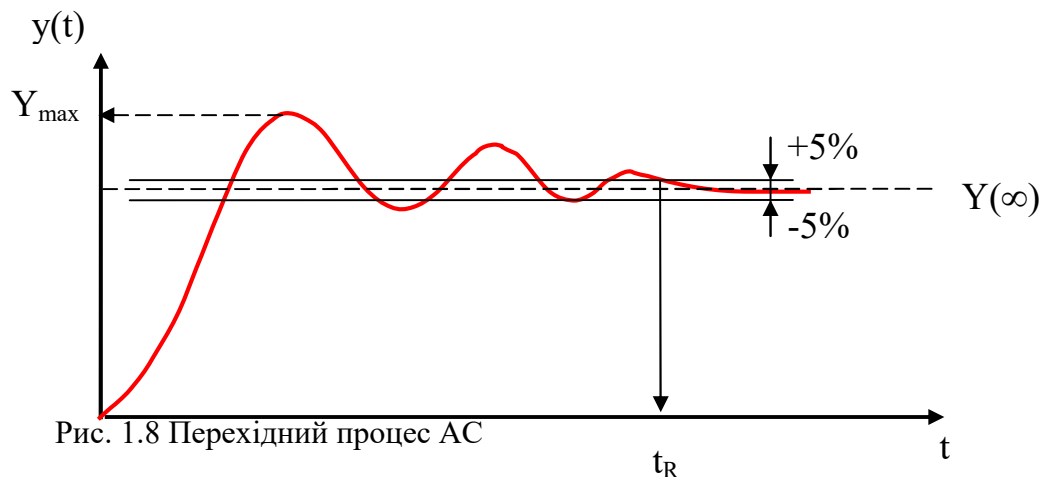


Рис. 1.8 Перехідний процес АС

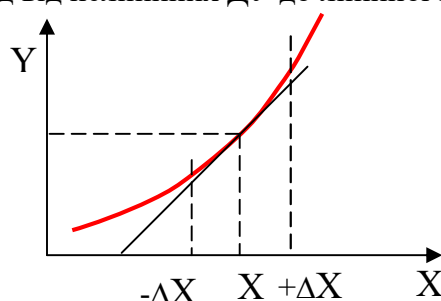
Час перехідного процесу τ_R . Відраховується до моменту, коли крива перехідного процесу входить в 5% зону сталого значення РП.

Максимальна відносна величина забросу РП

$$\overline{\sigma}_{\max} = \frac{Y_{\max} - Y(\infty)}{Y(\infty)} \cdot 100 \%$$

7. Лінеаризація ДР АС.

У загальному випадку динаміка роботи пожежних АС описується системою нелінійних ДУ. Однак, використання нелінійних ДУ сильно ускладнює рішення завдань автоматики. Завдання істотно спрощується, якщо нелінійні рівняння приблизно замінити лінійними. Такий перехід від нелінійних ДУ до лінійного називається лінеаризацією.



$$\Delta Y = \left(\frac{dY}{dX} \right)_0 \cdot \Delta X = \operatorname{tg} \alpha \cdot \Delta X$$

Основною умовою лінеаризації є обмеження області досліджуваних режимів малими відхиленнями. Чим вузьче область дослідження, тим точніше результати, отримані по лінійній моделі.

Більші успіхи автоматики були досягнуті завдяки тому, що динаміка АС вивчалася в лінійній постановці.

7.1. Метод повного диференціала.

Нехай динаміка АС описується ДУ:

$$F \left(\dot{Y}, Y \right) = \varphi (x) .$$

Якщо функція диференціюєма, то можна скористатися методом повного диференціала.

1. Дорівнюємо повний диференціал лівої й правої частини ДУ.

$$\left(\frac{\partial F}{\partial \dot{Y}} \right)_0 \cdot d \dot{Y} + \left(\frac{\partial F}{\partial Y} \right)_0 \cdot dY = \left(\frac{\partial \varphi}{\partial X} \right)_0 \cdot dX .$$

2. Замінімо диференціали малими відхиленнями.

$$\left(\frac{\partial F}{\partial \dot{Y}} \right)_0 \cdot \Delta \dot{Y} + \left(\frac{\partial F}{\partial Y} \right)_0 \cdot \Delta Y = \left(\frac{\partial \varphi}{\partial X} \right)_0 \cdot \Delta X .$$

3. Перейдемо до відносним змінного.

$$\left(\frac{\partial F}{\partial \dot{Y}} \right)_0 \cdot \frac{Y_0}{Y_0} \Delta \dot{Y} + \left(\frac{\partial F}{\partial Y} \right)_0 \cdot \frac{Y_0}{Y_0} \Delta Y = \left(\frac{\partial \varphi}{\partial X} \right)_0 \cdot \frac{X_0}{X_0} \Delta X .$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial \dot{Y}} \right)_0 \cdot Y_0 \dot{\bar{Y}} + \left(\frac{\partial F}{\partial Y} \right)_0 \cdot Y_0 \bar{Y} = \left(\frac{\partial \varphi}{\partial X} \right)_0 \cdot X_0 \bar{X} .$$

$$\bar{Y} = \frac{\Delta Y}{Y_0} ; \quad \dot{\bar{Y}} = \frac{d \left(\frac{\Delta Y}{Y_0} \right)}{dt} = \frac{1}{Y_0} \left(\frac{d(\Delta Y)}{dt} \right) = \frac{\Delta \dot{Y}}{Y_0} .$$

В автоматичі прийнято використати не абсолютні відхилення змінних, а відносні, щодо розглянутої базисної крапки X_0, Y_0 .

Коефіцієнти при змінних є постійними, отже, одержали лінійне диференціальне рівняння з постійними коефіцієнтами, яке можна записати у формі Коші:

$$a_0 \dot{\bar{Y}} + a_1 \bar{Y} = b \bar{x} .$$

Примітка. Якщо лінеаризуєма функція являє собою добуток і частку змінних, то перед лінеаризацією функцію зручно попередньо прологарифмувати.

Приклад: лінеаризувати рівняння:

$$G = m \frac{PF}{\sqrt{T}} .$$

Прологарифмуємо дане рівняння:

$$\ln G = \ln m + \ln P + \ln F - 0,5 \ln T .$$

Дорівнюємо диференціали правої й лівої частини:

$$\frac{dG}{G_0} = \frac{dP}{P_0} + \frac{dF}{F_0} - 0,5 \frac{dT}{T_0}.$$

Замінімо диференціали малими збільшеннями щодо крапки «0»:

$$\frac{\Delta G}{G_0} = \frac{\Delta P}{P_0} + \frac{\Delta F}{F_0} - 0,5 \frac{\Delta T}{T_0}.$$

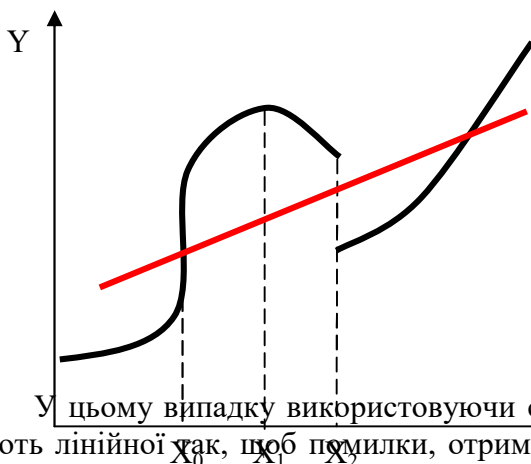
Перейдемо до відносних перемінних:

$$\bar{G} = \bar{P} + \bar{F} - 0,5\bar{T}.$$

Одержали шукане лінійне рівняння з постійними коефіцієнтами.

7.2. Метод січної.

Методом січної користуються в тих випадках, коли метод повного диференціала не можливо застосувати.



У точці X_0 похідна $\left(\frac{\partial Y}{\partial X}\right)_0 = \infty$

отже лінійна модель буде давати нескінченні помилки.

У точці X_1 похідна $\left(\frac{\partial Y}{\partial X}\right)_0 = 0$

отже лінійна модель нерухома.

У точці X_2 функція $F(X)$ не диференціюєма.

У цьому випадку використовуючи статистичні дані нелінійну модель приблизно заміняють лінійною так, щоб помилки, отримані в результаті застосування лінійної моделі були найменшими (наприклад методом найменших квадратів). Представлена лінійна модель буде являти собою не дотичну, а січну. Звідси й назва методу.

8. Форми запису диференціальних рівнянь.

8.1. Звичайна форма запису ДУ

Звичайна форма запису ДУ відповідає лінійному ДУ з постійними коефіцієнтами:

$$a_0 \overset{\cdots}{y} + a_1 \overset{\ddot{}}{y} + a_2 \overset{\dot{}}{y} + a_3 \overline{y} = b \overline{x}.$$

8.2. Стандартна форма запису ДУ

У стандартній формі запису прийнято, щоб коефіцієнт при нульовій похідній рівнявся одиниці. Розділимо праву й ліву частини рівняння у звичайній формі на коефіцієнт при нульовій похідній.

$$\frac{a_0}{a_3} \overset{\cdots}{y} + \frac{a_1}{a_3} \overset{\ddot{}}{y} + \frac{a_2}{a_3} \overset{\dot{}}{y} + \overline{y} = \frac{b}{a_3} \overline{x}$$

Одержимо рівняння в стандартній формі.

$$T_1^3 \overset{\cdots}{y} + T_2^2 \overset{\ddot{}}{y} + T_3 \overset{\dot{}}{y} + \overline{y} = K \overline{x}.$$

Коефіцієнти ДУ, записаного в станд. формі, мають певний фізичний зміст.

Коефіцієнт підсилення K показує співвідношення вихідного сигналу до вхідного на рівноважних режимах.

$$\overset{\cdots}{y} = 0; \quad \overset{\ddot{}}{y} = 0; \quad \overset{\dot{}}{y} = 0; \quad \overline{y} = K \overline{x}$$

Постійні часу T_1, T_2, T_3 - характеризують інерційні властивості системи й визначають тривалість динамічних процесів. Розмірність постійних часу дорівнює секунді. Розмірність змінних – величина зворотна часу:

$$\left[\frac{\dot{y}}{y} \right] = \left[\frac{d \bar{y}}{dt} \right] = \frac{1}{c}; \quad \left[\frac{\ddot{y}}{y} \right] = \left[\frac{d^2 \bar{y}}{dt^2} \right] = \frac{1}{c^2}; \quad \left[\frac{\dddot{y}}{y} \right] = \left[\frac{d^3 \bar{y}}{dt^3} \right] = \frac{1}{c^3}.$$

Очевидно, для того щоб усі рівняння, що складаються, були безрозмірними, коефіцієнти при похідних повинні мати розмірність часу.

$$[T_1]=c; [T_2]=c; [T_3]=c.$$

8.3. Операторна форма запису ДУ

В основі операторної форми запису ДУ лежить теорія перетворення Лапласу.

Формально застосувати операторну форму запису можна, якщо замінити символ диференціювання оператором Лапласа:

$$\frac{d}{dt} \Rightarrow P.$$

В операторній формі запису, певним чином змінюється зміст перемінних, які тепер називаються **зображеннями**. Тоді, скориставшись формальним правилом, запишемо ДР в операторній формі:

$$T_1^3 P^3 Y + T_2^2 P^2 Y + T_3 P Y + Y = K X.$$

З ДР, записаним в операторній формі, можна поводитися, як із простим алгебраїчним рівнянням.

Винесемо Y за дужки:

$$Y (T_1^3 P^3 + T_2^2 P^2 + T_3 P + 1) = K X.$$

Передаточною функцією (ПФ) називається відношення зображення вихідного сигналу до зображення вхідного сигналу:

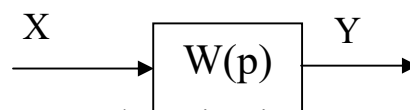
$$W(P) = \frac{Y}{X} = \frac{K}{T_1^3 P^3 + T_2^2 P^2 + T_3 P + 1}.$$

Знаючи передатну функцію і вхідний сигнал легко одержати вихідний сигнал:

$$Y = W(P) \cdot X.$$

Таким чином, ПФ показує, які перетворення необхідно зробити над вхідним сигналом X , щоб одержати вихідний сигнал Y .

Така властивість ПФ дозволяє зображувати АС у виді функціональної схеми.



Довідка. Перетворення Лапласу зв'язує функцію дійсної перемінної $f(t)$ з функцією комплексної перемінної $F(p)$. Дійсну функцію називають оригіналом, а комплексну функцію – зображенням. Математичний зв'язок оригіналу з зображенням установлюється формулою L – перетворення.

$$L[f(t)] = \int_0^{\infty} f(t) e^{-pt} dt = F(p).$$

Не для всякого оригіналу можна знайти відповідне зображення. Для цей оригінал повинний відповідати наступним умовам:

- функція $f(t)$ повинна бути визначена в інтервалі $\pm \infty$;
- дорівнювати нулю при $t < 0$;
- бути на кожному відрізку безупинної і мати кінцеве число екстремумів чи кінцеве число розривів першого роду;

- не прагнути до нескінченності при $t \rightarrow \infty$.

Цим вимогам задовольняє широкий клас функцій, якими оперує лінійна ТАУ. Перетворення Лапласу цікаво тим, що інтегральне і диференціальне числення в просторі зображень заміняється простими алгебраїчними операціями. Це істотно спрощує аналітичне дослідження складних динамічних систем.

Диференціювання.

Диференціювання оригіналу в просторі зображень заміняється множенням зображення на комплексний аргумент «р».

$$L[f'(t)] = \int_0^{\infty} f'(t)e^{-pt} dt = p \cdot F(p) .$$

Інтегрування.

Інтегрування оригіналу в просторі зображень заміняється розподілом зображення на комплексний аргумент «р».

$$L\left[\int_0^t f(t)\right] = \frac{1}{p} \cdot F(p) .$$

Запізнювання.

Якщо $F(p)$ зображення $f(t)$, то зображенням функції $f(t-\tau)$ є:

$$L[f(t-\tau)] = \int_0^{\infty} f(t-\tau)e^{-pt} dt = e^{-p\tau} \cdot F(p) \text{ Межі.}$$

Якщо $F(p)$ зображення $f(t)$, то: $L[f(t)] = L[f(\infty)] = \lim_{p \rightarrow 0} p \cdot F(p) .$

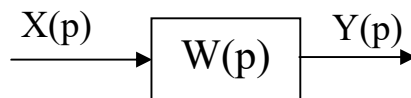
Таблиця перетворень Лапласа.

№п/п	Оригінал $f(t)$	Зображення $F(p)$
1.	$\delta(t)$	1
2.	$a \cdot \delta(t)$	a

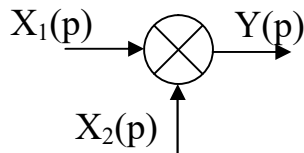
3.	$1(t)$	$\frac{1}{p}$
4.	$a(t)$	$\frac{a}{p}$
5.	$a \cdot t^n \quad (n=1,2,\dots)$	$\frac{a \cdot n!}{p^{n+1}}$
6.	$\frac{t}{T} - \frac{T_1}{T} (1 - e^{-\frac{t}{T_1}})$	$\frac{1}{Tp (T_1 p + 1) p}$
7.	$\frac{a}{T} e^{-\frac{t}{T}}$	$\frac{a}{Tp+1}$
8.	$a(1 - e^{-\frac{t}{T}})$	$\frac{a}{p(Tp+1)}$
9.	$a(1 - \frac{T_1}{T_1 - T_2} e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T_2}{T_2 - T_1} e^{-\frac{t}{T_2}})$	$\frac{a}{p(T_1 p + 1) \cdot (T_2 p + 1)}$
10.	$a \cdot (1 - \frac{1}{\sqrt{1-d^2}} e^{-\frac{t}{T_d}} \cdot \sin(\frac{\sqrt{1-d^2}}{T} t + \arctg \frac{\sqrt{1-d^2}}{d})$	$\frac{a}{p(T^2 p^2 + 2dTp + 1)}; \quad d < 1$

9. Функціональні схеми і їхні перетворення.

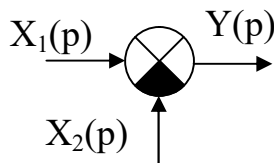
Взаємозв'язок простих динамічних ланок у складних АС зручно відображати за допомогою функціональних схем. На цих схемах ланки зображують прямокутниками, усередині яких записані передатні функції, а стрілками - сигнали. Причому напрямок стрілки показує і напрямок впливу.



Найпростіші арифметичні операції додавання і вирахування сигналів на функціональних схемах зображують у такий спосіб:



Додавання: $Y(p) = X_1(p) + X_2(p)$



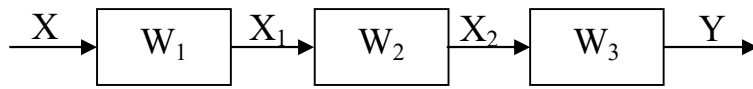
Вирахування: $Y(p) = X_1(p) - X_2(p)$

Таким чином, функціональні схеми відображають ті математичні операції, що здійснюються при передачі сигналів через ланки.

За допомогою функціональної схеми легко одержати загальну передатну функцію (рівняння динаміки) в

сієї АС, не вирішуючи систему диференціальних рівнянь, що описують динаміку її елементів.

9. 1. Послідовне з'єднання ланок (спрацювання: СП, ППКП, АУПГ)



$$\begin{aligned} X_1 &= W_1 \cdot X; \\ X_2 &= W_2 \cdot X_1; \\ Y &= W_3 \cdot X_2; \end{aligned}$$

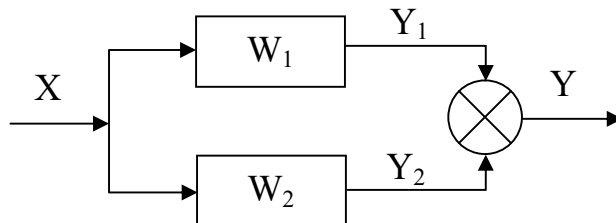
Виключимо змінні X_1, X_2 , отже:

$$Y = W_3 \cdot W_2 \cdot W_1 \cdot X$$

Еквівалентна передатна функція буде дорівнює:

$$W_{\text{ЭКВ}} = \frac{Y}{X} = W_1 \cdot W_2 \cdot W_3$$

9. 2. Паралельне з'єднання ланок (робота диференційного сповіщувача)



$$\begin{aligned} Y_1 &= W_1 \cdot X; \\ Y_2 &= W_2 \cdot X; \\ Y &= Y_1 + Y_2. \end{aligned}$$

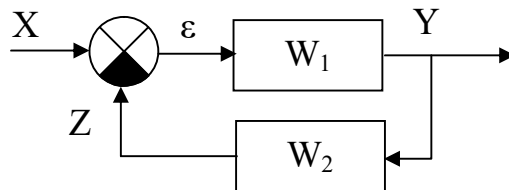
Виключимо змінні Y_1, Y_2 , отже:

$$Y = W_1 \cdot X + W_2 \cdot X = (W_1 + W_2) \cdot X.$$

Еквівалентна передатна функція буде дорівнює:

$$W_{\text{ЭКВ}} = \frac{Y}{X} = W_1 + W_2.$$

9. 3. Зустрічно-паралельне з'єднання ланок (підтримання тиску в АУВПГ)



$$\begin{aligned} Y &= W_1 \cdot \varepsilon; \\ Z &= W_2 \cdot Y; \\ \varepsilon &= X - Z. \end{aligned}$$

Виключимо змінні Y, Z , одержимо:

$$Y = W_1 \cdot (X - W_2 \cdot Y) = W_1 \cdot X - W_1 \cdot W_2 \cdot Y.$$

$$Y + W_1 \cdot W_2 \cdot Y = W_1 \cdot X \quad \text{или} \quad Y \cdot (1 + W_1 \cdot W_2) = W_1 \cdot X$$

Еквівалентна передатна функція буде дорівнює:

$$W_{\text{ЭКВ}} = \frac{Y}{X} = \frac{W_1}{1 + W_1 \cdot W_2}.$$

В автоматичі сигнал Z називають сигналом зворотного зв'язку (ОС).

Якщо ($=X-Z$ ОС називається негативної).

Якщо ($=X+Z$ ОС називається позитивної й еквівалентна передатна функція визначається по формулі:

$$W_{\text{ЭКВ}} = \frac{Y}{X} = \frac{W_1}{1 - W_1 \cdot W_2}$$

Підсумки за лекцією

Таким чином, загальні відомості будови систем пожежної автоматики, що нами розглянуто, будуть вами використані для більш глибокого опанування основних теоретичних положень теорії роботи автоматики пожежних систем, яка буде розглянута на наступній лекції.

Завдання на самопідготовку

2. Теорія автоматичного управління. Практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Н.І. Бурау, Д.О. Півторак; КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – С 05-08.
https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/42076/1/TAU_praktykum.pdf

10. Висновки, урахування впливу воєнного стану.

Таким чином, загальні відомості, що нами розглянуто, будуть вами використані для більш глибокого опанування основних теоретичних положень теорії автоматичного управління, яка буде розглянута на наступній лекції.

Онлайн доступ до матеріалів дисципліни на випадок тривоги та вимикання світла.

З метою урахування на навчальний процес можливих повітряних тривог, відключення світла та інших проявів нападу росії на Україну, матеріал дисципліни АРВНС розташовано на сайті кафедри АСБтаІТ

<http://itasbit.ho.ua/disciplines.php>

Основні етапи нападу росії на Україну.

Російсько-українська війна [1], також російська збройна агресія проти України – війна між росією і Україною, викликана прямим й опосередкованим застосуванням збройної сили російською федерацією проти суверенітету і територіальної цілісності України, що триває з 2014 року. Відкритими складовими російської збройної агресії проти України були та є:

- російське збройне вторгнення в Крим у лютому-березні 2014 року (з подальшим початком тимчасової окупації півострова росією 20 лютого 2014 року);

- війна на сході України (на Донбасі) з квітня 2014 року, яка розпочалася зі створення під прикриттям «народних» виступів спецслужбами рф терористичних так званих Донецької і Луганської «народних республік» та тривала до початку широкомасштабного вторгнення;

- широкомасштабне вторгнення росії в Україну з 24 лютого 2022 року, яке розпочалося після тривалого військового нарощування та визнання росією своїх маріонеткових утворень «днр» та «лнр» як незалежних держав;

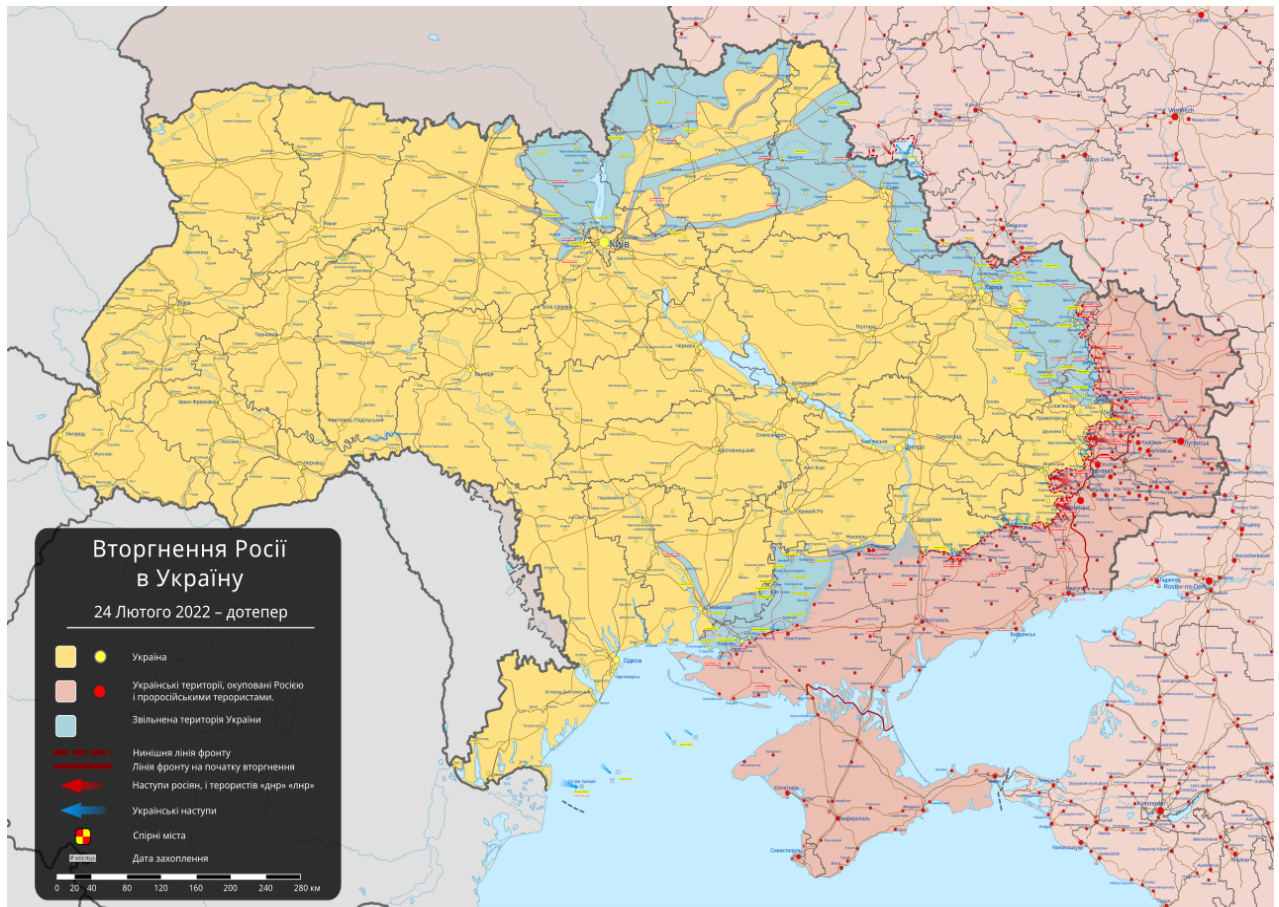
- 27 січня 2015 року, Верховна Рада України визнала російську федерацію агресором. 22 травня 2022 року Верховна Рада України визнала російську федерацію державою-терористом із тоталітарним неонацистським режимом та заборонила його пропаганду, а також пропаганду акту агресії росії проти України.

Станом на січень 2021 року, за даними ООН, загальна кількість людських втрат у війні становила 13 100—13 300 осіб. До цього числа входять 3 375 загиблих цивільних осіб, приблизно 4 150 загиблих українських військових, а також приблизно 5 700 загиблих проросійських бойовиків. Майже 1,8 млн осіб стали вимушеними переселенцями.

На 2021 рік під російською окупацією перебувало 43 300 кв. км, або 7 % української території.

24 лютого 2022 року росія розпочала новий етап восьмирічної війни проти України — повномасштабний наступ. О 5 годині ранку путін офіційно оголосив про «спеціальну операцію» в Україні, насправді ж це було початком звичайнісінького вторгнення в суверенну державу. Війська росії розпочали інтенсивні обстріли підрозділів ЗС України на сході та перетнули північно-східні кордони, а також нанесли ракетно-бомбові удари по аеродромах і складах зброї по всій території України. Верховна Рада України одноголосно ухвалила запро-

вадження воєнного стан. Інфраструктура в Україні погіршилася в результаті кібератак і бомбардувань армією росії.



Після початку російського вторгнення 2022 року окупована площа зросла у 2,9 рази. Тимчасово окупованими є Автономна Республіка Крим, частини Донецької, Луганської, Харківської, Херсонської, Запорізької, Миколаївської областей та місто Севастополь.

До 8 квітня 2022 року Збройні Сили України повністю звільнили Київщину, Житомирщину, Чернігівщину та Сумщину.

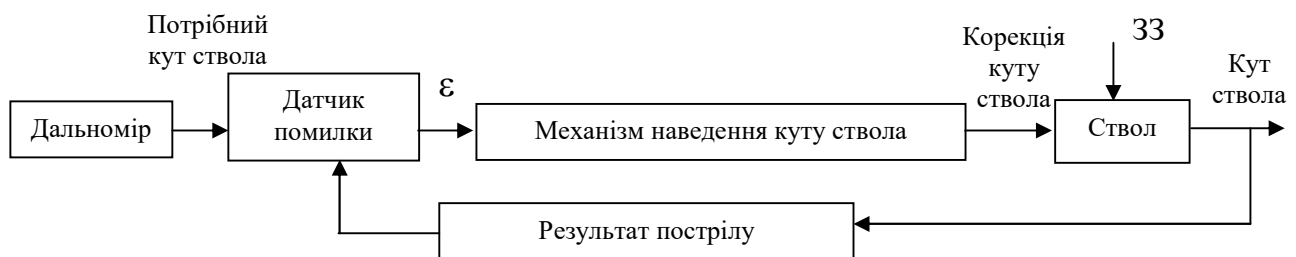
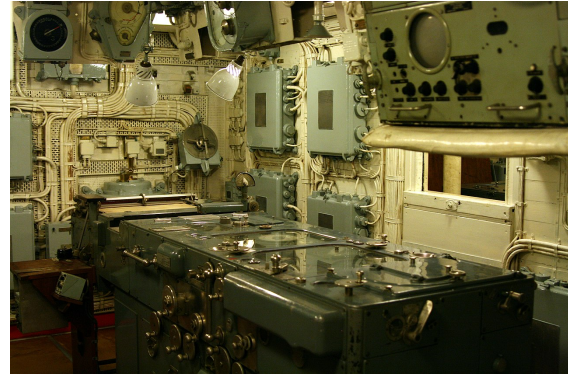
Станом на 31 січня 2021 року, за даними Управління верховного комісара ООН з прав людини, загальна кількість людських втрат становить 42 - 44 тис. осіб, з яких загинуло 13 100 - 13 300 осіб, поранено 29 500 - 33 500. До цієї кількості входить 3 375 загиблих і 7 000 - 9 000 поранених цивільних осіб, приблизно 4 150 загиблих і 9 700 - 10 700 поранених українських військових, а також приблизно 5 700 загиблих і 12 700 - 13 700 поранених проросійських бойовиків.

За даними Книги Пам'яті полеглих за Україну, станом на 1 грудня 2021 року загинуло 4 490 українських військовиків.

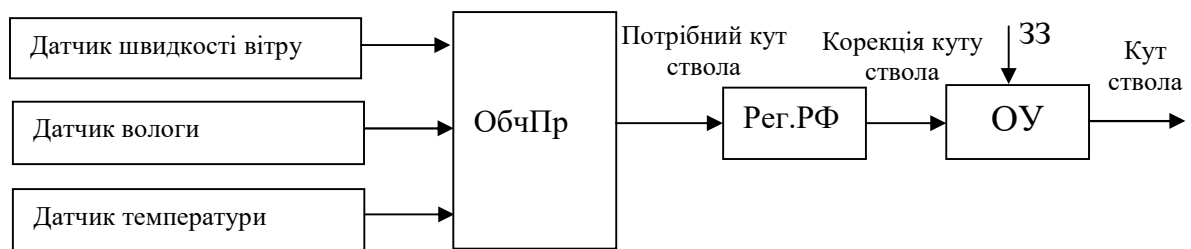
На квітень 2024 року, за даними Книги Пам'яті полеглих за Україну, за 10 років війни загинуло 45510 українських військовослужбовців[197].

Застосування принципів управління АС у військовій сфері.

Слід відмітити, що застосування принципу управління по відхиленню, збурюванню та комбінований методи широко застосовується в системах наведення гармат, для підвищення точності та швидкості їх пострілів.



Структура системи точного наведення гармати з застосуванням принципу управління по відхиленню



Структура системи швидкого наведення гармати з застосуванням принципу управління по збурюванню

Зауважимо, що принцип управління роботою АС по збурюванню дозволяє покращити швидкодію систем наведення, що забезпечує актуальність його застосування навіть у військовій сфері для систем наведення.

Таким чином відмітимо, що застосування комбінованих законів управління дозволяє покращити швидкодію та точність роботи систем, що застосовуються у військовій сфері, таких як автоматичних системах наведення гармат.