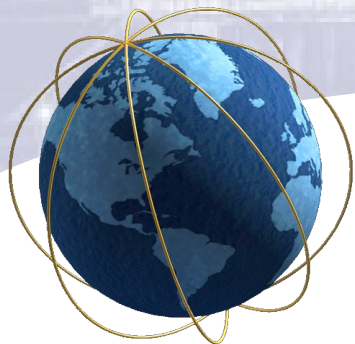


# **APC**

## **ОПТИМАЛНОТО УПРАВЛЕНИЕ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИ ПРОЦЕСИ НА ПРАКТИКА**

Владимир Ангелов



**Honeywell**

# КАКВО Е «АРС»

## ЗА ТЕРМИНА

- **АРС** (произнася се «Эй-Пи-Си») – е абревиатура на английския термин «**Advanced Process Control**», което означава прогнозиращо управление, а се употребяват и термини като «**Развито или Усъвършенствано или Подоброено управление на технологическите процеси**»
- Няма общо приет български термин, приел съм термина «**оптимално управление**».

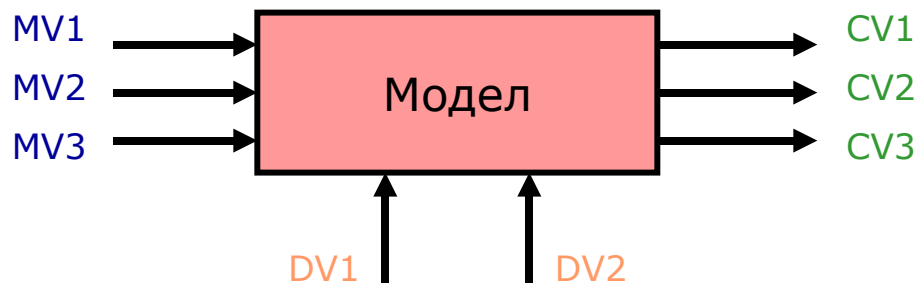
# КАКВО Е «АРС»

АРС (в широк смисъл) – това е комплекс от **икономически**, **технически** и **организационни** мероприятия, целящи повишаване на ефективността на работата на една или няколко технологически инсталации с **нетехнологически** методи.

# КАКВО Е «АРС»

- «**Нетехнологически** методи» означава, че ефектът от внедряването на АРС ще бъде достигнат **не** за сметка на «технологията», например, нов катализатор, реконструкция, и др. скъпи мероприятия, а за сметка на рационализация на системата за управление.
- Терминът «**икономически** мероприятия» означава, че движещата сила за АРС-проектите са икономически съображения: повишаване на печалбата.
- Терминът «**технически** мероприятия» означава въвеждане на нови елементи в системата на управление – специално програмно осигуряване, реализиращо АРС-функции.
- Терминът «**организационни** мероприятия» означава, че за изпълнението на АРС-проект е необходима сериозна подготовка и организация.

## КАКВО Е APC ОТ ТЕХНИЧЕСКА ГЛЕДНА ТОЧКА



- APC – това е система за многомерно прогнозиращо управление, основаващо се на модел, с оптимизация, решаваща следните задачи:
  - ✓ Управление на инсталацията в стационарен режим (при това APC компенсира смущенията по бързо и гладко от оператора)
  - ✓ Оптимален преход от един стационарен режим към друг
  - ✓ Оптимизация на работата на инсталацията в стационарен режим.

## ПРОСТА АНАЛОГИЯ

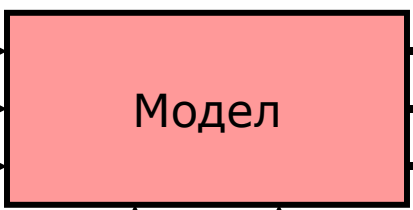
### АРС – «автопилот» за технологическата инсталация

- Автопилотът управлява самолет в хоризонтален полет – **АРС управлява инсталацията в нормален режим.** Автопилотът не работи при излитане и кацане – **АРС не работи при пуск/стоп на инсталацията.**
- Автопилотът стабилизира самолета при външни смущения – **АРС по аналогичен начин стабилизира работата на инсталацията**
- Автопилотът освобождава пилота в значителен участък на полета – **АРС освобождава оператора от рутинното управление.**
- Автопилотът води самолета по маршрут, състоящ се от няколко прави участъка – **АРС води инсталацията от един режим към друг.**
- Автопилотът икономисва гориво – **АРС решава различни икономически задачи (и то много по важни, от енергоспестяване).**

# APC: ТЕХНИЧЕСКИ АСПЕКТИ / МОДЕЛ НА ПРОЦЕСА

Управляващи

- MV1
- MV2
- MV3
- ..
- .



DV1 .. DV2  
Наблюдаеми

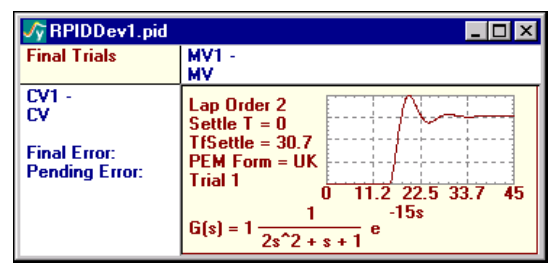
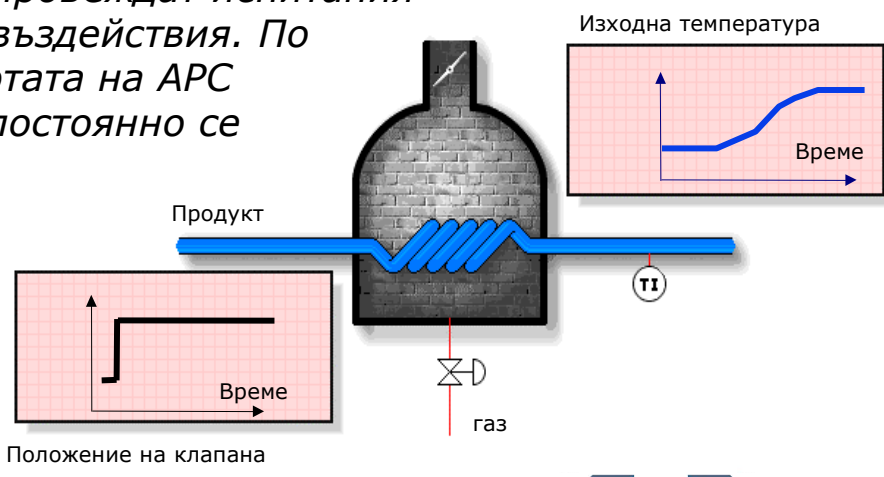
Прогноза

- CV1
- CV2
- CV3
- ..
- .

Управляеми

	MV1	MV2	MV3	DV1
CV1				
CV2				
CV3				

За първоначалното построяването на модела се провеждат изпитания със стъпкови въздействия. По време на работата на APC корелациите постоянно се актуализират.



# APC: ТЕХНИЧЕСКИ АСПЕКТИ / КОРЕЛАЦИИ

Pulp and Paper

Model Summary System

MV1 - TIC230

MV2 - TIC1\_5

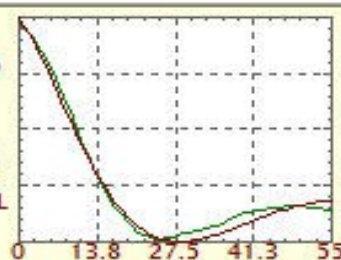
MV3 - PIC201T

CV1 - AM228\_1

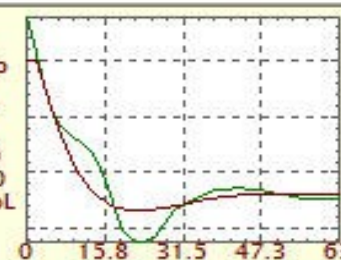
Trial 1  
ARX Order 2  
PEM Order = ho  
Stable  
Dead T = 0  
Gain = 1.22  
Settle T = 17.0  
TfSettle = 13.0  
PEM Form = hoL



Trial 3  
ARX Order 2  
PEM Order = ho  
Stable  
Dead T = 0  
Gain = -.261  
Settle T = 55.0  
TfSettle = 72.0  
PEM Form = hoL

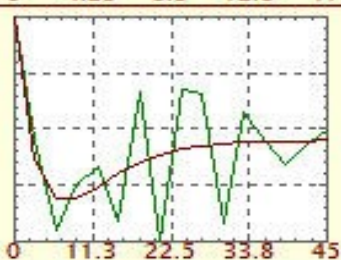


Trial 1  
Lap Order 2  
PEM Order = ho  
Stable  
Dead T = 2.00  
Gain = -.769  
Settle T = 63.0  
TfSettle = 41.0  
PEM Form = hoL

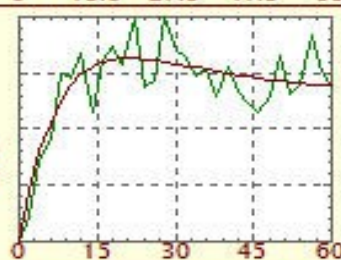


CV2 - FIC224

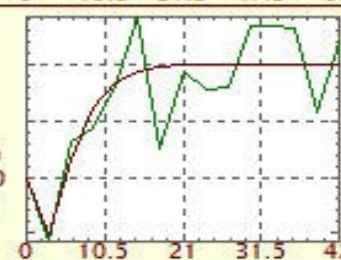
Trial 2  
Lap Order 2  
FIR Order 15  
Stable  
Dead T = 0  
Gain = -1.06  
Settle T = 45.0  
TfSettle = 33.0  
FIR Form = Pos



Trial 1  
Lap Order 2  
FIR Order 30  
Stable  
Dead T = 0  
Gain = .472  
Settle T = 60.0  
TfSettle = 70.0  
FIR form = Vel

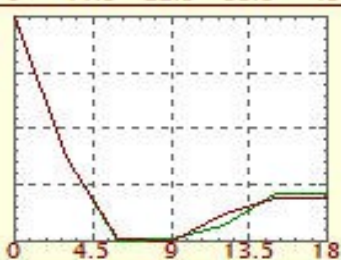


Trial 2  
Lap Order 2  
FIR Order 14  
Stable  
Dead T = 0  
Gain = 11.9  
Settle T = 42.0  
TfSettle = 24.0  
FIR form = Vel



CV3 - VIS\_1FA

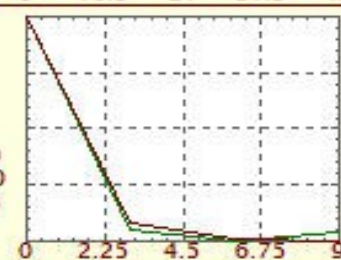
Trial 2  
ARX Order 2  
FIR Order 6  
Stable  
Dead T = 0  
Gain = -.519  
Settle T = 18.0  
TfSettle = 33.0  
FIR Form = Pos



(Empty text box)

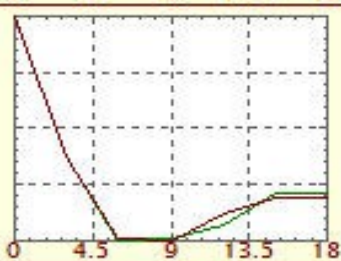


Trial 1  
Lap Order 1  
FIR Order 3  
Stable  
Dead T = 0  
Gain = -109  
Settle T = 9.00  
TfSettle = 9.00  
FIR Form = Pos

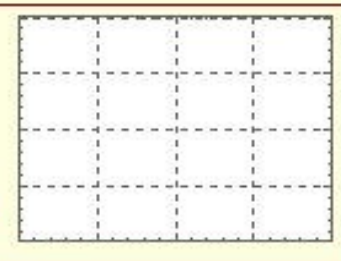


CV4 - VIS\_2FA

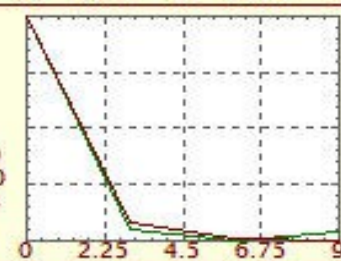
Trial 2  
ARX Order 2  
FIR Order 6  
Stable  
Dead T = 0  
Gain = -.519  
Settle T = 18.0  
TfSettle = 33.0  
FIR Form = Pos



Trial 1  
ARX Order 0  
FIR Order 0  
Stable  
Dead T = 0  
Gain = 0  
Settle T = 0  
TfSettle = 0  
FIR Form = UK

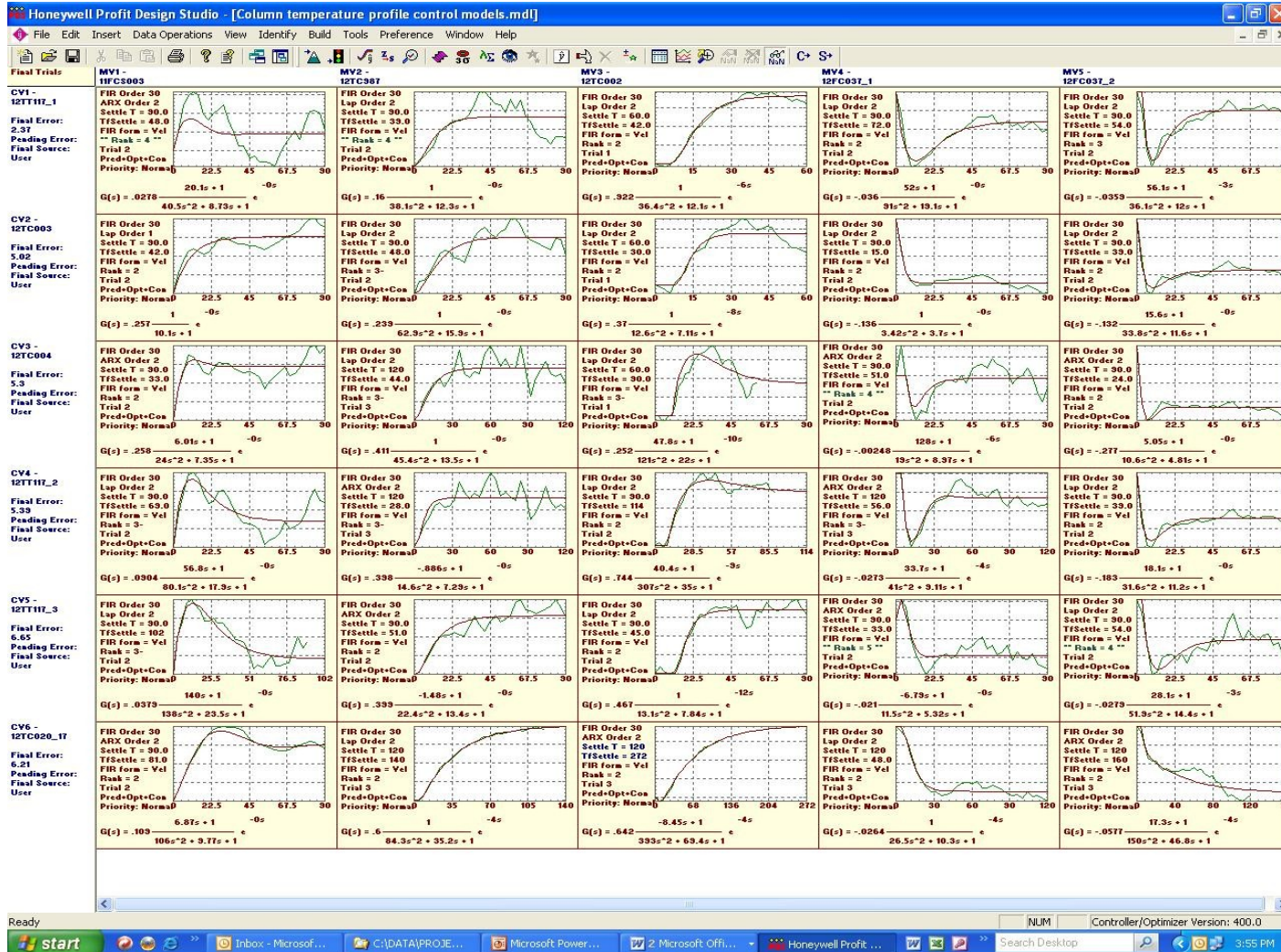


Trial 1  
Lap Order 1  
FIR Order 3  
Stable  
Dead T = 0  
Gain = -109  
Settle T = 9.00  
TfSettle = 9.00  
FIR Form = Pos





# Матрица на контролера на гл. колона



# APC: ТЕХНИЧЕСКИ АСПЕКТИ / ВИРТУАЛНИ ДАТЧИЦИ

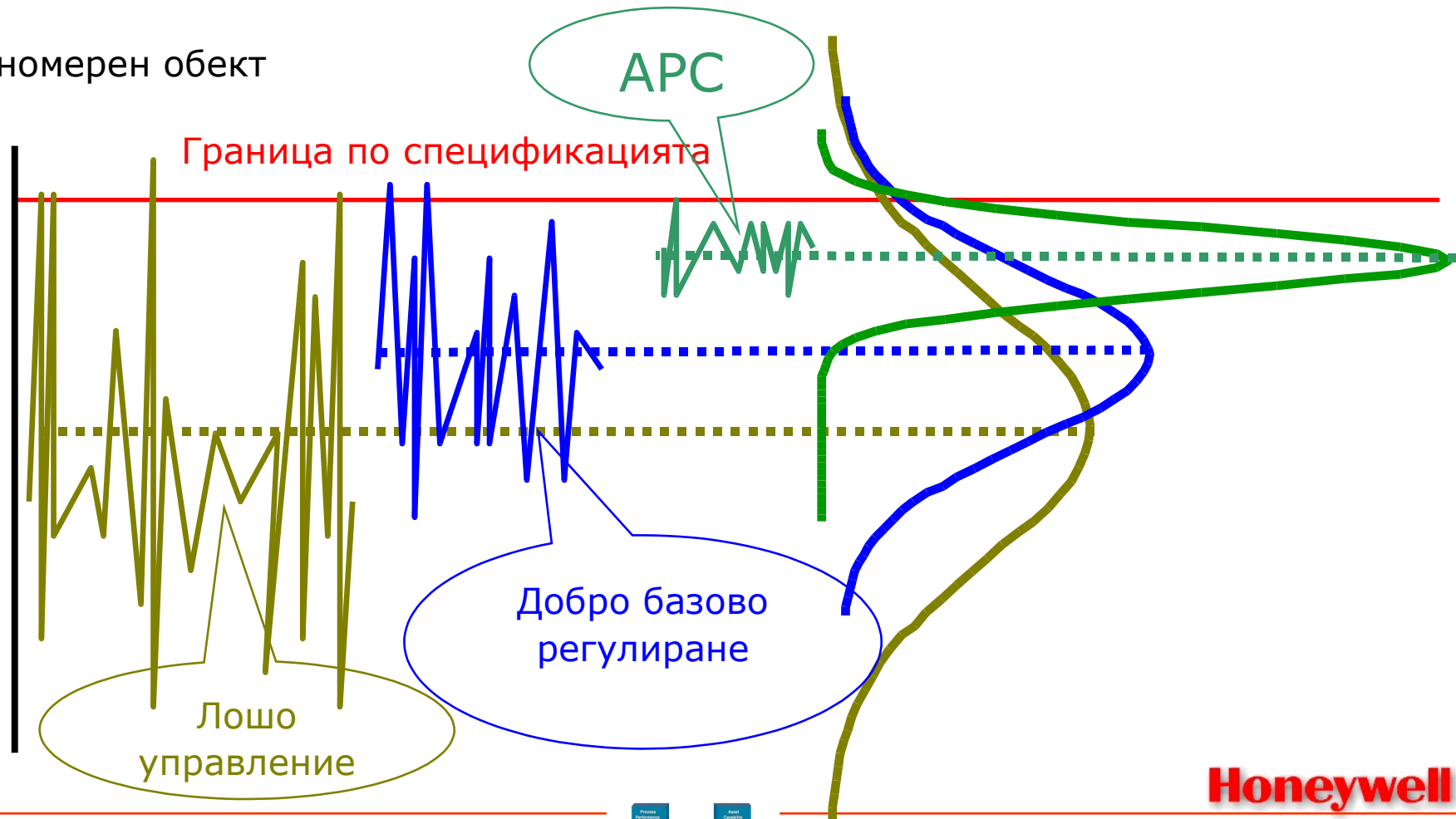
- Цикълът на действие на APC е 1 минута и са необходими съответните стойности на променливите. Това е невъзможно за променливите, които не се измерват автоматично (най- често анализи- лабораторни анализи се правят 1 път на смяна, а и по рядко). Този проблем в APC се решава с *виртуалните датчици*.
- Виртуалния датчик – е на практика регресионна математическа зависимост между показателите на качеството и влияещите му технологически параметри, например:  $Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_nX_n$  и за повечето качествени параметри може да се разработят такива зависимости при наличието на точно и стабилно измервани (автоматично или ръчно) променливи
- Първоначално тези уравнения се установяват на базата на архивна информация, а по време на работата на APC се настройват постоянно на базата на показанията на ръчните анализи.

## APC: ТЕХНИЧЕСКИ АСПЕКТИ/ КАК РАБОТИ APC

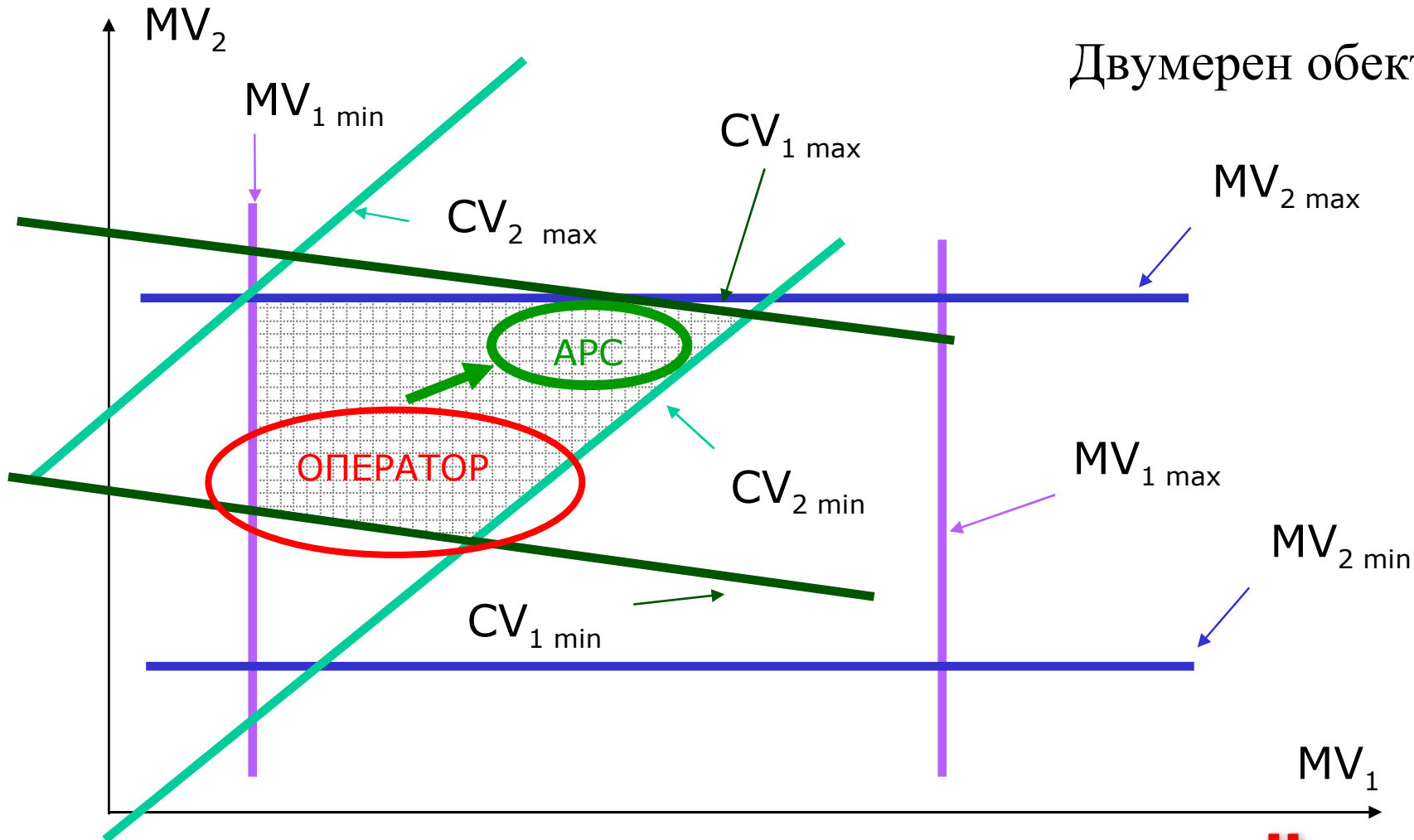
- APC въздейства на технологическия процес чрез *управляващите променливи (MV)*, като променя заданията на локалните регулатори (SP) или изходите (рядко) на регулаторите (OP) **едновременно** на всички MV.
- Тези въздействия се определят така, че да се постигне **оптимално** отработване на смущенията или преминаване на друг режим, като другите променливи на процеса – *управляеми променливи (CV)* да са в рамките на ограниченията.
- Ако съществуват *наблюдаеми променливи (DV)*, които се измерват, но които не са включени в APC, то системата ги компенсира примерно така, както се прави при системите с обратна връзка.
- Операторът задава само целта (някаква целева функция) - операторът управлява APC/ APC управлява процеса

# АРС: ТЕХНИЧЕСКИ АСПЕКТИ / ОТ КЪДЕ Е ЕФЕКТЪТ

Едномерен обект

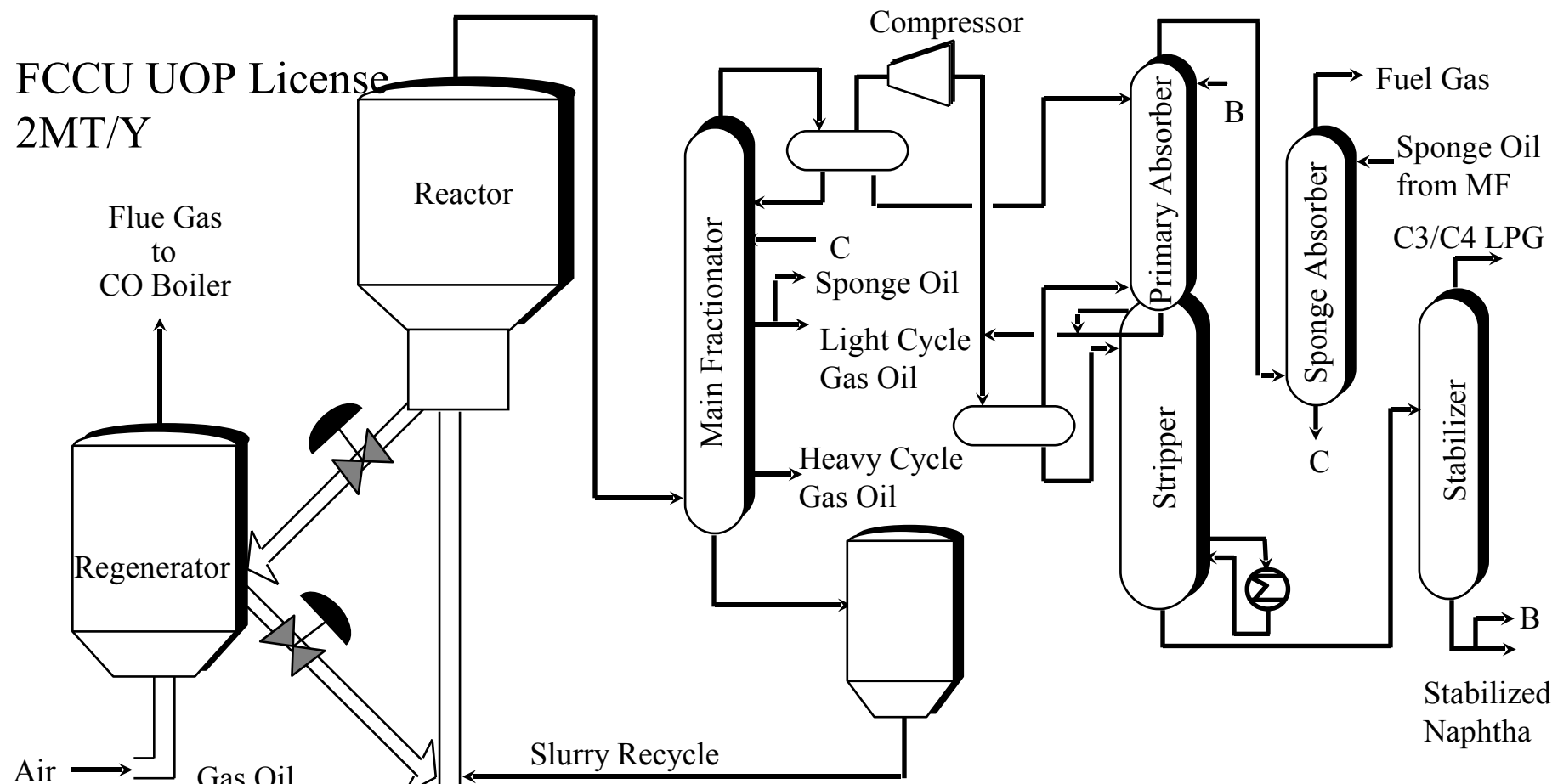


# APC: ТЕХНИЧЕСКИ АСПЕКТ / ОТ КЪДЕ Е ЕФЕКТЪТ?



# Fluid Catalytic Cracking Process Flow Diagram

FCCU UOP License  
2MT/Y



Honeywell Experion/PKS Rel. 310

**Honeywell**



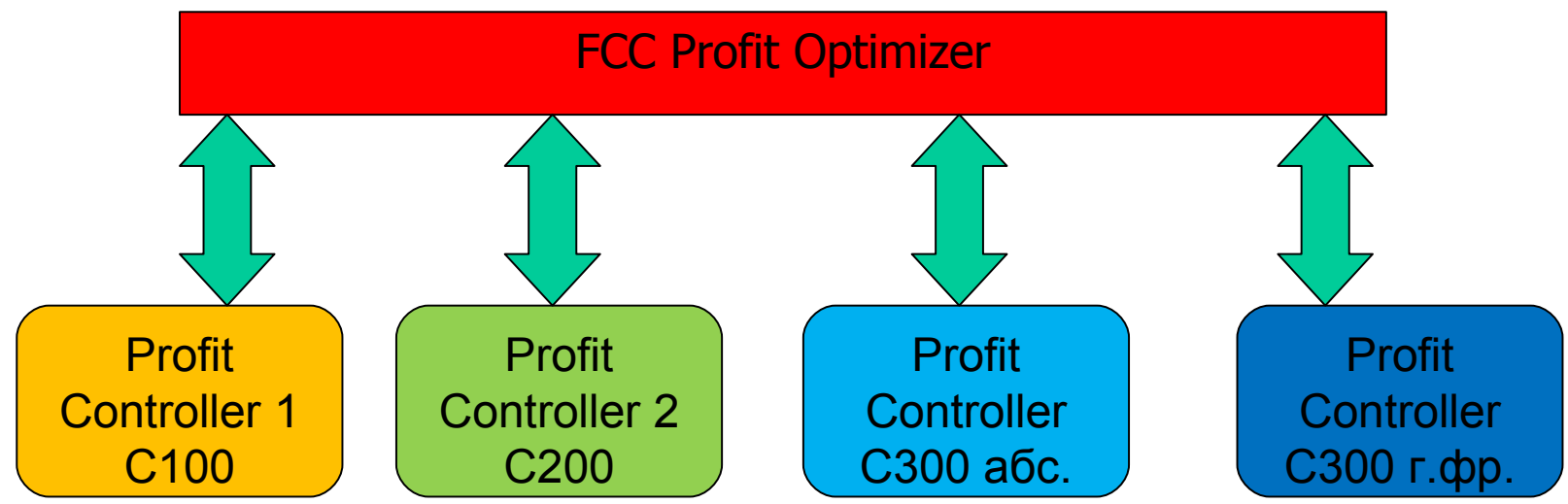
**APC: Profit® Suite**

Pulp and Paper

- Продуктовата линия за APC Profit® Suite включва десетки уникални патентовани продукти, предназначени за разработка, внедряване, поддържане и експлоатация на APC.
- ✓ **Profit Loop** – SISO (1 вход, 1 изход)
- ✓ **Loop Scout** – за оценка на работата на базовото регулиране
- ✓ **Profit Controller** – многомерен прогнозиращ контролер с оптимизация
- ✓ **Profit Optimizer** – динамическа оптимизация
- ✓ **Profit Bridge** – връзка с външен модел
- ✓ **Profit Sensor Pro** – разработка и настройка на виртуални датчици
- ✓ **UniSim** – пакет за точно моделиране
- ✓ **Profit Max** – оптимизация на група инсталации в реално време
- ✓ **Profit Stepper** – автоматическо тестване и идентификация на модела
- ✓ **Profit Expert** – мониторинг на работата на APC
- ✓ **Profit EED** – многомерно статистическо управление
- ✓ **PHD-** архивиране и анализ на процесни данни в реално време

**Honeywell**

# APC Структура





# APC Контролери

Profit Controller 1 - Секция 100

17 MV, 43 CV, 6 DV

Profit Controller 2 - Секция 200

(Реактор/Регенератор/К201)

19 MV, 54 CV, 19 DV

Profit Controller 3 - Секция 300 (Абсорбция К301-К303)

10 MV, 14 CV, 10 DV

Profit Controller 4 - Секция 300 (Стабилизация К304-К306)

13 MV, 32 CV, 6 DV

Profit Optimizer – координира работата на 4 APC контролера и реализира глобалната оптимизационна функция- PVO (product value optimisation)

# Виртуални датчици

## Секция 100

- Сяра в хидро
- Сяра в диз. гориво
- 10% точка на кипене на диз. фракция
- 50% точка на кипене на диз. фракция
- 90% точка на кипене на диз. фракция
- Съдържание на компонентите до 360 ° на кипене на диз. фракция

## Секция 300

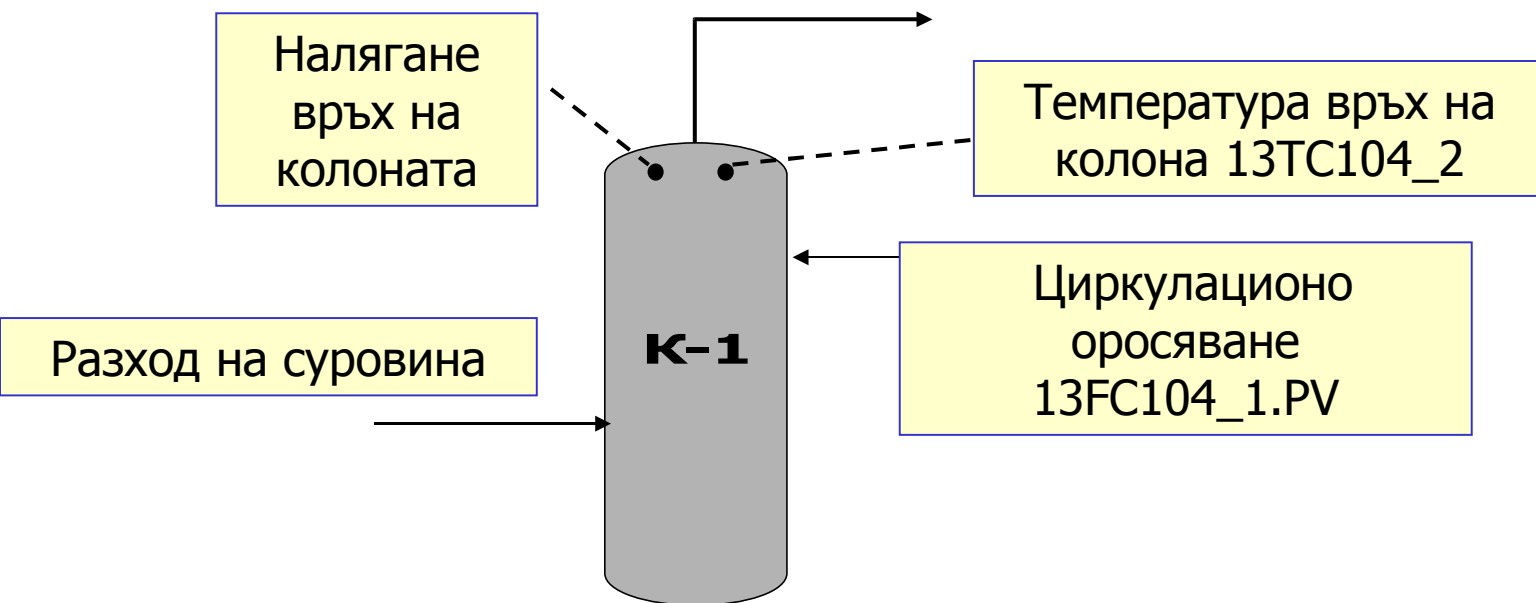
- Композиция на сухия газ от абсорбера (сума C3, C4, C5, C6)
- C5+ в ББФ
- Свиваемост на парите на бензина
- C3 в ББФ
- C4 в ППФ

## Секция 200

- Край на кипенето на бензина
- Дестилация на бензина при 100 °C
- ЛКГ 10% точка на кипене
- ЛКГ 90% точка на кипене
- ТКГ 10% точка на кипене
- ТКГ 90% точка на кипене

# Виртуални датчици

Пример: Виртуален датчик- съдържание на C5+ в изгорелите газове (връх дебутанизатор K304)



$$LPGC5PLUS.PV = - 15.09 + 0.261 * 13TC1042PCT.PV - 8.03 * K304REFLRAT.PV$$

13TC1042PCT.PV - Температура на върха, компенсирана по налягане  
 K304REFLRAT.PV - Отношение (13FC104\_1.PV / 13FT079\_2.PV)

# FCC Profit Optimiser

- **PVO** оптимизация:

$$J = - \sum_i P_i \times Y_i + \sum_j P_j \times F_j + \sum_k P_k \times U_k$$

J	=	целева функция, която трябва да се минимизира (\$/h)
P <sub>i</sub>	=	цена на i продукт (\$/m <sup>3</sup> )
Y <sub>i</sub>	=	разход на i продукта (m <sup>3</sup> /h)
P <sub>j</sub>	=	стойност на j суровина (\$/m <sup>3</sup> )
F <sub>j</sub>	=	разход на j суровина (m <sup>3</sup> /h)
P <sub>k</sub>	=	стойност k (\$/unit)
U <sub>k</sub>	=	разход k (unit/h)

No	Description	Application	Type	Variable	Cost
1.	VGO Feed to VGH unit	Controller 1	MV	11FCS105	+
2.	Diesel product from VGH unit	Controller 1	CV	11FT144	-
3.	Slurry recycle to FCC reactor	Controller 2	MV	12FC359	+
4.	LCO	Controller 2	MV	12FC032	-
5.	HCO	Controller 2	MV	12FC033	+
6.	Slurry	Controller 2	MV	12FC053	+
7.	Dry gas	Controller 3	CV	13FT065	+
8.	Stabilised gasoline	Controller 4	CV	13FU160	-
9.	Propan-propylene fraction (PPF)	Controller 4	MV	13FC167_2	-
10.	Butan-butylene fraction (BBF)	Controller 4	CV	13FT159	-

# Chemicals/Pharmaceuticals Industrial Automation

## APC: Profit® Controller Operator Station

Pulp and Paper

Интерфейс за оператора Profit® Controller Operator Station (PSOS) работи върху стандартните операторски мнемосхеми.

Разполага със специална операторска графика APC (HMI Web APC Visualization Objects) – за APC на Experion PKS R300+).

Интерфейсът е кирилизан

The screenshot displays the Profit Viewer Assistant Mode interface with the following components:

- Application Name:** A dropdown menu.
- Modes:** Warm, On, Off. **Status:** GOOD.
- Gain Matrix Table:**

MV	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
CV											
1		+0.45									
2	-0.14	+1.99	-4.44	-1.07	-2.41	-2.47	-2.70	+8.32			
3	-0.02	+0.04	-0.06			-1.74	+0.56			+2.11	
4		+4.35			-0.73			+3.27	-2.12		
5	-0.02	+0.04	-0.06			-1.74	+0.56				
6	-0.02	+0.04	-0.06			-1.74	+0.56				
7		+4.35			-0.73			+3.27	-2.12		
8	-0.02	+0.04	-0.06			-1.74	+0.56				
9	-0.14	+1.99	-4.44	-1.07	-2.41	-2.47	-2.70	+8.32			
10	-0.02	+0.04	-0.06			-1.74	+0.56				
11		+4.35			-0.73			+3.27	-2.12		
12	-0.02	+0.04	-0.06			-1.74	+0.56				
13	-0.02	+0.04	-0.06			-1.74	+0.56				
14		+4.35			-0.73			+3.27	-2.12		
15	-0.02	+0.04	-0.06			-1.74	+0.56				
- Controlled/Manipulated/FF Table:**

Name	Stat	Val	SP	HI	LO	Ramp	FV	SS
CV1	ON	0	0	0	0	0	0	0
CV2	ON	0	0	0	0	0	0	0
- Process Flow Diagram:** A detailed schematic showing units like Feed Preheat, Combustion Air, Riser/Regen, Fractionator, Waste Heat, Riser, Regenerator, and Disengager with various flow streams and control points.
- Energy/Object function trend:** A line graph showing trends for EF and OF over time.
- Variable trend:** A line graph showing trends for various process variables from 9:00 am to 11:00 am.
- Control Panel:** Includes a Manual/Reset button and a graph showing the current value and setpoint.
- FCU Demo CONTROLLER\_OFF:** A control panel for a Feed Control Unit with ON/OFF buttons and status indicators.
- Process Summary:** A bar chart showing values for PV, SS, and FV.
- Control Matrix:** A circular diagram showing the relationship between various control valves (CV1-CV12).

# APC: ОРГАНИЗАЦИЯ/ ОСНОВНИ ЕТАПИ НА ПРОЕКТА

Екип от двама консултанти от Ханиуел УК, двама системни инженера и Ръководител на проекта от Ханиуел България)

- ✓ Настройка на съществуващите САР (1 седмица на двамата системни инженери);
- ✓ Провеждане на предварителни стъп тестове със смущения до 5% (2 седмици при трисменен режим на целия екип)
- ✓ Разработване на базисния проект (структура на модела и на APC-системата с дефинирани MV, CV, DV и описание на виртуалните датчици, задачите на управление и оптимизация, системните решения- 4 седмици- двамата консултанти)
- ✓ Провеждане на стъп тестване със смущения до 20% (3 седмици при три сменен режим на целия екип)
- ✓ Разработване на детайлния проект (модела, виртуални датчици, конфигурирани APC приложения, операторски интерфейс- 6 седмици на целия екип)
- ✓ Инсталация на конфигурираните APC-приложения ( 1 седмица- двамата системни инженера)
- ✓ Обучение на операторите (3-4 часа на смяна- 1 седмица- двамата консултанти)
- ✓ Настройка на параметрите на APC-система, определяне на динамическите ѝ свойства (скорост на реакция на смущения, скорост по компенсация на наблюдаемите смущения, скорост на извеждане на инсталацията в оптимален режим на работа- 1 седмица- двамата консултанти).
- ✓ Предаване в експлоатация

# АРС: Първото впечатление

## То било проста работа-необходимо е:

- Технологичен процес с добър КИП и съвременна цифрова система за управление с добро базово регулиране
- Лиценз за пакета Profit® Controller и спомагателното програмно осигуряване
- Екип, който да организира и изпълни проекта

# АРС: ВЪПРОСИ

- Защо контролерите са 4?
- Как се определят променливите MV, CV, DV?
- Как се определят виртуалните датчици и структурата на регресионните уравнения?
- Какво означава динамически характеристики на контролерите и как се настройват?
- Как се формира PVO?



# АРС: ЗАКЛЮЧЕНИЕТО

То било проста работа,  
но не е за прости хора- изискват  
се специфични познания и  
дългогодишен професионален  
ОПИТ

# ЗАЩО HONEYWELL ?

Industrial Automation

Pulp and Paper

- Не защото е лидер в технологиите за APC и интеграцията
  - ✓ С уникална продуктова гама Profit®Suite,
  - ✓ В интеграция на продуктите и решенията: Experion® PKS със пакет за моделиране и разработване на тренажори UniSim®, с инструментариума на UOP
- А защото има преимуществата на голямата фирма
  - ✓ Огромен опит – повече от 4500 човеко-години работа с APC, стотици проекти, консултанти с 15-20-годишен опит в работа с APC
  - ✓ С местни инженери, които се включват в проектите и могат да поемат след проектната поддръжка
  - ✓ APC е приоритетен бизнес за Ханиуел и не се пестят средства за неговото развитие



**Honeywell**