

A dark scene featuring a laptop on the left with a rocket on its screen. Two cats are present: a white and orange tabby cat sitting behind the laptop, and a long-haired brown and white cat sitting in the foreground to the right, looking towards the laptop. The text is overlaid in the center.

# Лекция 15

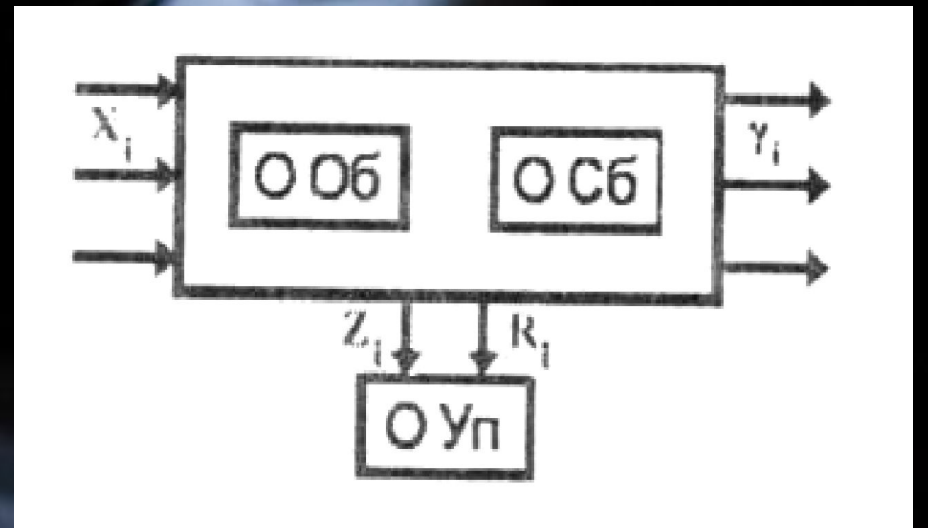
**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА  
ПОДГОТОВКИ РАКЕТЫ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ К  
ПУСКУ**

# Задачи, решаемые при моделировании процесса подготовки ЛА

- задача синхронизации отдельных элементарных стадий процесса подготовки и согласование работы отдельных элементов КСНО во времени
- оценка различных вариантов структурного построения комплекса систем наземного обслуживания

# Схема гипотетического техпроцесса

- $X_i$  – входные (возмущающие воздействия);
- $Y_i$  – выходные переменные (сигналы отклика, переменные состояния);
- $R_i$  – управляющие сигналы;
- $Z_i$  – наблюдаемые переменные;
- $O_{об}$ ,  $O_{сб}$ ,  $O_{уп}$  – операции обработки, сборки и управления;



- Математическая модель технологического процесса:  
$$\bar{Y}(t_i) = f[\bar{Y}(t_0); \bar{X}(t_i, t_0); \bar{R}(t_0, t_i)],$$



# Абстрактные операции технологического процесса подготовки ЛА

- При построении математической модели процесса предстартовой подготовки ЛА можно ограничиться набором небольшого количества абстрактных операций: обработка, сборка и управление.
- Одним из наиболее существенных параметров любого подготавливаемого ЛА или его элемента является время начала данной технологической операции  $t_{ij}$
- Следует помнить, что непрерывные и дискретные параметры, характеризующие подготавливаемый ЛА, в общем случае могут быть случайными, и поэтому для их представления необходимо иметь соответствующие законы распределения

# Математическая модель операции обработки

- Операция обработки представляет собой элементарный акт технологического процесса подготовки ЛА или его элемента, в результате которого меняется значение хотя бы одного из параметров этого аппарата.
- К абстрактной операции обработки относятся, в частности, технологические операции, связанные с изменением размеров элемента ЛА (членение), его положения в пространстве (транспортировка, повороты, подъемы) и сообщаемые ему дополнительный признак (окраска, проверка) и т. д.



# Математическая модель операции обработки

- Значение параметров  $a_{2K}$  для момента времени  $t^K$  после операции будут определяться соотношениями вида:  $a_{2K} = a_{2K}(a_{11}, a_1, \dots, a_{1n}, b_1, b_2, \dots, b_n)$
- $K = 1, 2, \dots, n$  – количество параметров, характеризующих обслуживаемый ЛА или элемент;
- $b_i$  – некоторые параметры, характеризующие обрабатывающий агрегат;
- $t^K = t^H + \tau$ ,  $\tau$  – длительность операции обработки.

# Математическая модель операции обработки

Момент начала операции определяется как

$$t_j^H = \begin{cases} t_j^П, & \text{если } t_{j-1}^К + \tau_{j-1}^\Gamma \leq t_j^П \\ t_{j-1}^К + \tau_{j-1}^\Gamma, & \text{если } t_{j-1}^К + \tau_{j-1}^\Gamma > t_j^П \end{cases}$$

- $t_j$  – момент поступления  $j$ -го ЛА к обрабатывающему агрегату;
- $\tau^\Gamma$  – время, затрачиваемое на подготовку агрегата к выполнению следующей операции.



# Математическая модель операции обработки

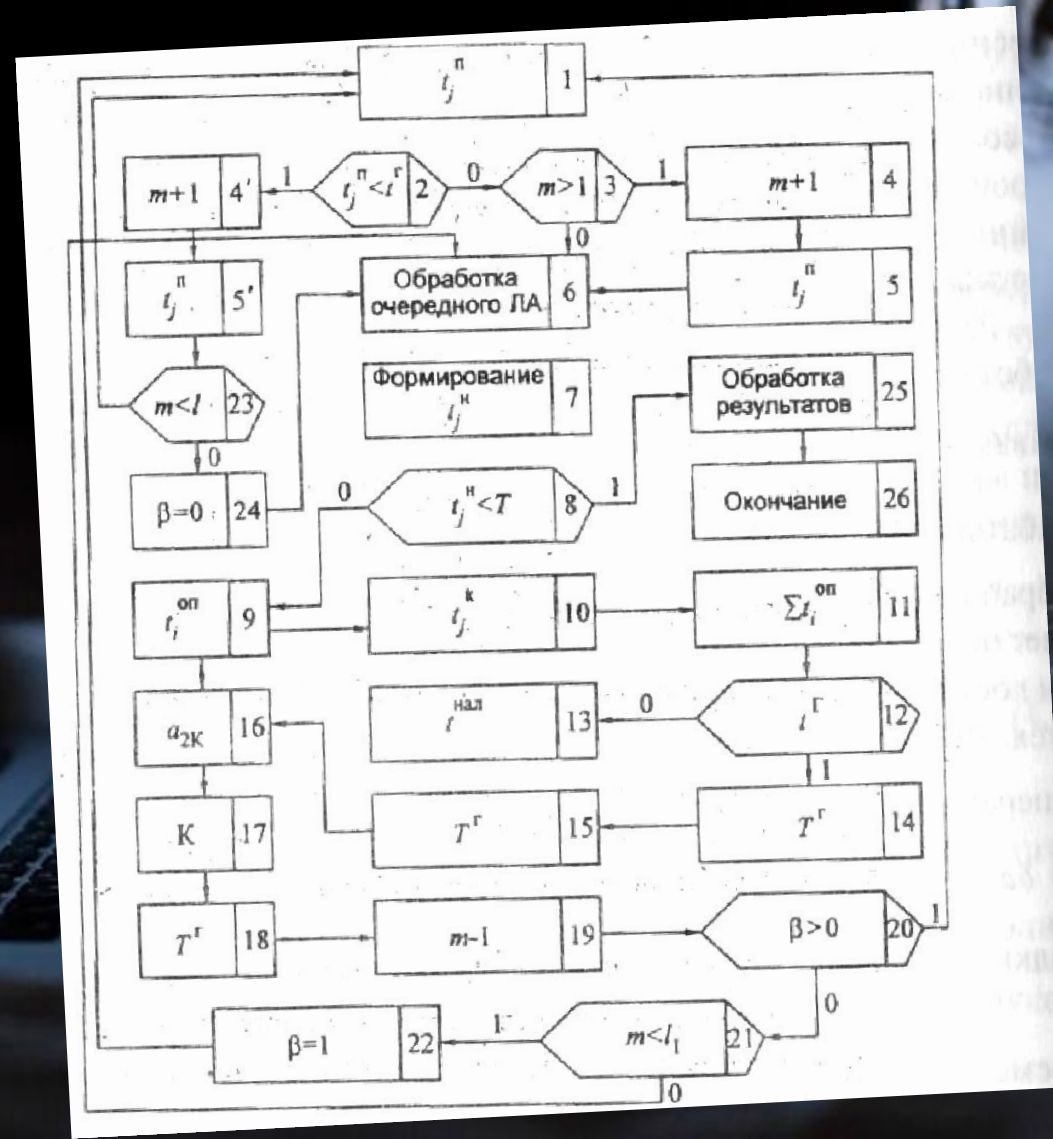
Время, затрачиваемое на подготовку агрегата к выполнению следующей операции, обычно является случайной величиной с показательным законом распределения:

$$f(\tau^\Gamma) = \lambda_{\text{И}} e^{-\lambda_{\text{И}} \tau^\Gamma}$$

- $\lambda_{\text{И}}$  — интенсивность отказов, зависящая от характеристик обрабатываемого агрегата и реже от характеристик обслуживаемого ЛА.



# Блок-схема алгоритма операции обработки



Операторная схема алгоритма, моделирующего работу обрабатывающего агрегата, запишется в  
ВИДЕ

$\Phi_1 P_2 P_3 K_4 A_5 F_6 F_7 P_8 \Phi_9 A_{10} A_{11} P_{12}$

$\Phi_{13} \Phi_{14} A_{15} \Phi_{16} K_{17} F_{18} K_{19} P_{20} P_{21} F_{22} K_4 A_5 P_{23} F_{24} A_{25} Я_{26}$

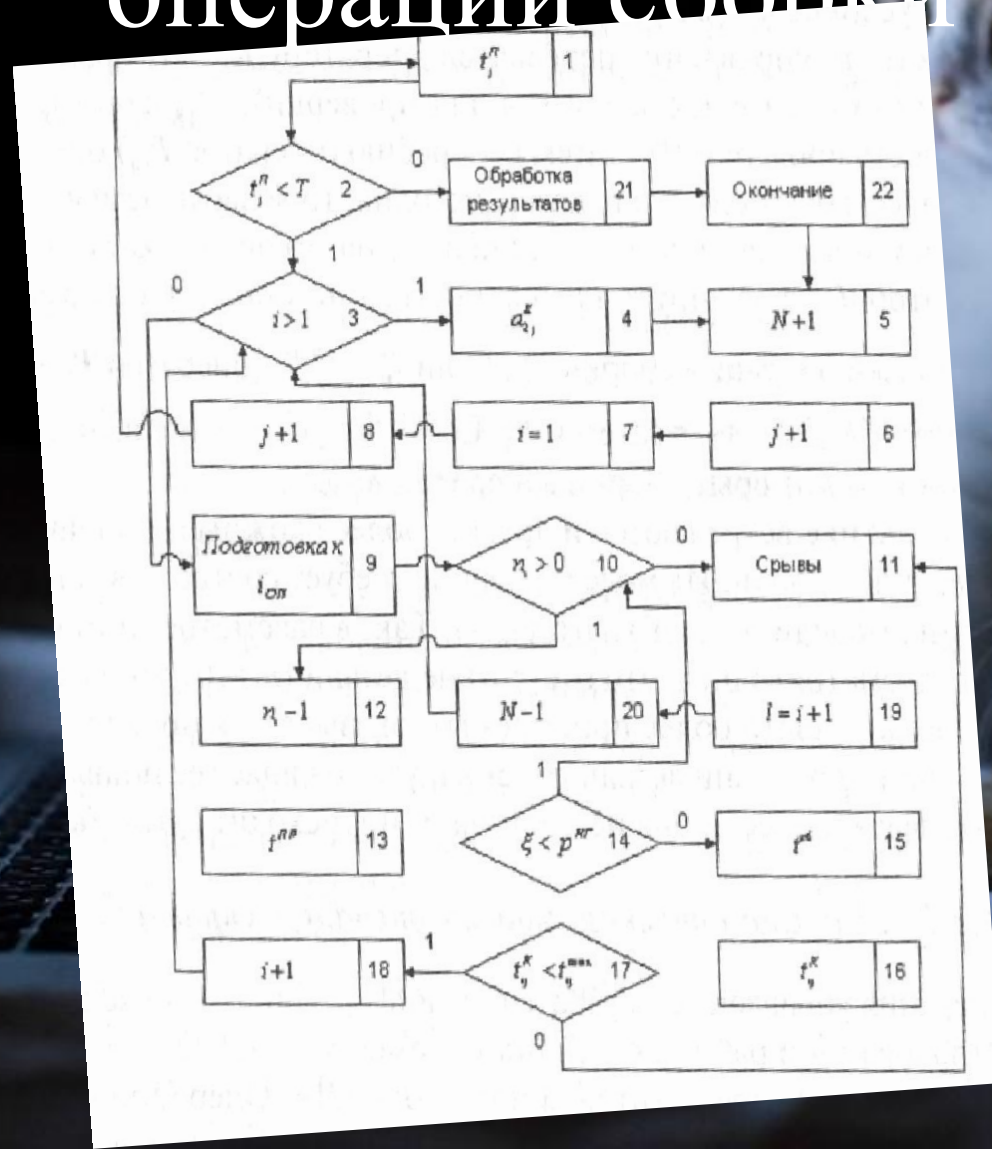


# Математическая модель операции сборки

Математически операция сборки описывается соотношениями вида:

$$a_{2кУ} = a_{2кУ}(a_{1кУ}, a_{1к1}, a_{1к2}, \dots, a_{1км}, b_1, b_2, \dots, b_i)$$

# Блок-схема моделирующего алгоритма операции сборки





# Математическая модель операции управления

Информацию о требуемых изменениях в режимах работы отдельных агрегатов технологического оборудования можно записать в виде:

$$\Delta b_{ki} = \Delta b_{ki}(a_{1i}; a_{2,i-1}; b_{k,i-1}),$$

- $b_{ki}$  — параметры технологического оборудования на  $i$ -й операции,
- $K = 1, 2, \dots, m$ ;
- $a_{1i}, a_{2i}$  — параметры обслуживаемого ЛА или его элемента до начала  $i$ -й операции и после ее окончания соответственно;
- $\Delta b_{ki}$  — поправка, вносимая в параметры технологического оборудования.