

# Разработка цифрового двойника комплекса измельчения обогатительной фабрики

Дмитриев Тихон



## Актуальность

На обогатительных фабриках Якутии вследствие с переходом добычи на глубокие горизонты, где высокое содержание глинистых пород, руда после предварительного дробления поступает в самый энергозатратный и сложный процесс, который требует непрерывное поддержание технологических параметров, там происходит открытие ценного компонента и подготовка к обогащению.

## Проблемы:

- Повышенные энергозатраты при обработке.
- Качество работы мельницы.
- Безотказность функционирования мельницы.
- Нарушенность алмазов после обработки.

## Цель:

Разработка цифрового двойника комплекса измельчения обогатительной фабрики.

## Задачи:

1. Анализ и сбор данных для модели цифрового двойника.
2. Составление математической модели.
3. Выбор оптимального оборудования управления комплексом, для использования параметров в модели.
4. Моделирование процесса в MatLab.
5. Создание цифрового двойника в Scada-системе.

## Назначение производственного объекта

Руда, находясь на ленточном конвейере поступает в мельницу мокрого самоизмельчения. На двигателе конвейера происходит замер его нагрузочных характеристик, регулировка скорости вращения двигателя происходит с помощью регулятора частоты.



Входные параметры: - подача руды в мельницу,  $Q_P$ , т/ч; - расход воды в мельницу,  $Q_B$ , м<sup>3</sup>/ч;  
Выходные параметры: - выход пульпы,  $Q_P$ , м<sup>3</sup>/ч; - уровень заполнения мельницу,  $L$ , м; - номинальный ток двигателя классификатора,  $E_Y$ , мА;  
Возмущающие параметры: - физические свойства руды (прочность, твердость, раскалываемость и т.д.)  $G$ , %; - процессы, связанные с износом, заштыбовкой и старением оборудования,  $F(t)$ , %.  
Параметры управления: - расход руды в мельницу,  $Q_P$ , т/ч; - расход воды в мельницу,  $Q_B$ , м<sup>3</sup>/ч.

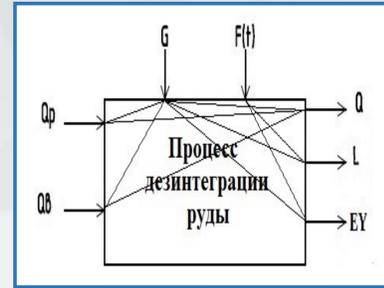
## Технологический процесс, как объект автоматизации

Наименование параметра	Сигналы на контроль и управление				
	Предел измер.	Показание	Регистрация	Регулирование	Сигнализация
Масса руды (расход)	320 000 кг/ч	+	+	+	-
Расход воды	120 м <sup>3</sup> /ч	+	+	+	-
Уровень пульпы	8 м	+	-	+	+
Изм. ном. тока конвейера	1000 мА	+	+	-	+
Изм. ном. тока классификатора	1000 мА	+	+	-	+
Управление задвижкой подачи воды	%	+	+	+	-
Давление в трубопроводе	10 кПа	+	+	-	-

Технологический контроль и управление предусматривается: - с автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора, состоящего из рабочей станции технологического управления (автоматизированный и дистанционный режим); - с шкафа управления (местный режим).

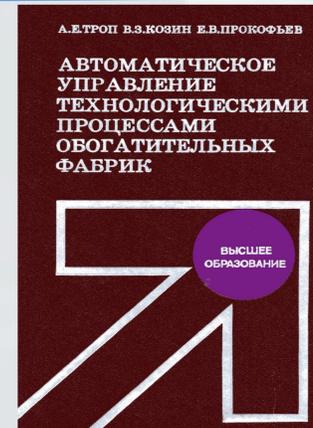
Операторский уровень управления комплексом выполнен с использованием SCADA-системы Trace Mode с выводом информации на АРМ оператора.

Функционирование системы происходит в трёх режимах: - автоматизированном; - дистанционном; - местном.



Параметры работы мельницы:	
Ж (вода) : Т (руда)	0,3 - 0,4 до 1
Вода в мельницу	70 – 120 м <sup>3</sup> /ч
Производительность	до 320 т/ч
Скорость вращения барабана, критическая	16 об./мин
Мощность электродвигателя	2500 кВт

## Практическая работа с мельницей



## Математическое описание модели

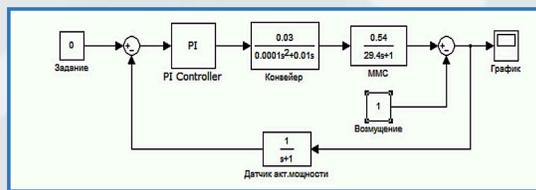
Передаточная функция мельницы по каналу «производительность – выход твёрдого в разгрузку»:

$$W_1(p) = \frac{\Delta q_{\text{ВЫХ.Т}}(p)}{\Delta Q(p)} = \frac{1}{T_1 p + 1}$$

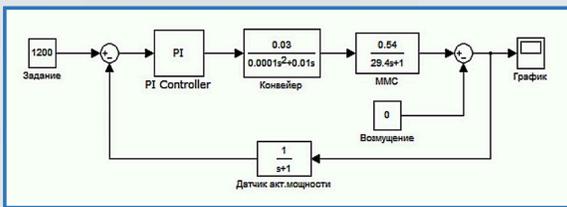
Передаточная функция мельницы по каналу «производительность – выход крупных классов в разгрузку»:

$$W_2(p) = \frac{\Delta q_{\text{ВЫХ.КР}}(p)}{\Delta Q(p)} = \frac{k_2}{T_2 p + 1}$$

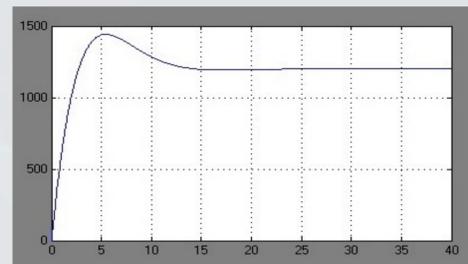
## Построение модели в Matlab



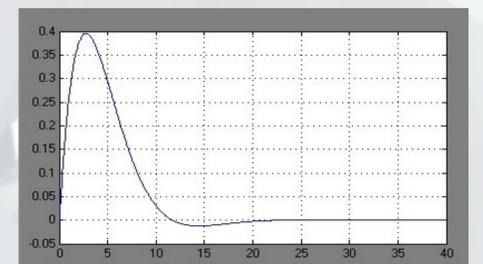
Канал «Возмущение»



Канал «Задание»



Канал «Задание»

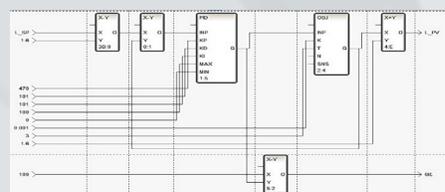


Канал «Возмущение»

Значения параметров настройки ПИ-регулятора для данного объекта принимается:  $K_p = 0.1$ ;  $K_i = 0.07$ .

## Разработка графического интерфейса оператора-технолога управления мельницы

Программирование ПЛК осуществляется в интегрированной информационной системе для управления промышленным производством с помощью программного обеспечения RSLogix 5000



## Разработка графического интерфейса оператора-технолога управления мельницы

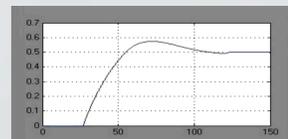


График переходных процессов каскадной САР

САР	По заданию	Настраиваемые параметры ПИ регулятора		Показатели качества переходного процесса		
		$K_p$	$K_i$	Азад.	Амах.	tp
Внутренний контур	По заданию	0,1	0,07	1200	1440	24
	По возмущению	0,1	0,07	-	0,39	22
Внешний контур	По заданию	1,2	0,015	0,5	0,57	121

## Разработка графического интерфейса оператора-технолога управления мельницы

Разработку цифрового двойника комплекса измельчения обогатительной фабрики осуществляем в интегрированной информационной системе для управления промышленным производством TRACE MODE.



## Внедрение проекта позволит:

1. Снизить технологическую нарушенность кристаллов алмазов;
2. Повысить производительность по товарному классу в процессе измельчения;
3. Снизить энергозатраты на тонну перерабатываемого сырья;
4. Повысить качество работы мельницы и безотказность её функционирования.

# Development of a digital twin of the grinding complex of the processing plant

Dmitriev Tikhon



## Technological process as an object of automation

Signals for control and management					
Parameter name	Measuring limit	Indication	Registration	Regulation	Signaling
Mass of ore (consumption)	320,000 kg / h	+	+	+	-
water consumption)	120 m <sup>3</sup> / h	+	+	+	-
pulp level	8 m	+	-	+	+
Change nom. conveyor current	1000 m A	+	+	-	+
Change nom. classifier current	1000 mA	+	+	-	+
Water valve control	%	+	+	+	-
Pipeline pressure	10 kPa	+	+	-	-

Technological control and management is provided: - from an **automated workstation (AWS)** of the operator, consisting of a technological control workstation (automated and remote mode); - from the control cabinet (local mode).

The operator level of complex control is performed using the **Trace Mode SCADA system** with information output to the operator's workstation.

The system operates in three modes: - automated; - remote; - local.

### Relevance

At the processing plants of Yakutia, due to the transition of mining to deep horizons, where there is a high content of clay rocks, the ore, after preliminary crushing, enters the most energy-intensive and complex process, which requires continuous maintenance of technological parameters, a valuable component is discovered there and preparation for enrichment.

### Problems :

- Increased energy consumption during processing.
- The quality of the mill.
- The failure-free operation of the mill.
- Disturbance of diamonds after processing.

### Purpose :

Development of a digital twin of the grinding complex of the processing plant.

### Tasks :

1. Analysis and Data Collection for the Digital Twin Model.
2. Drawing up a mathematical model.
3. Selection of the optimal complex control equipment to use the parameters in the model.
4. Process modeling in MatLab.
5. Creation of a digital twin in Scada -system.

### Purpose of the production facility

The ore, being on a belt conveyor, enters the wet self-grinding mill. On the conveyor motor, its load characteristics are measured, the motor speed is adjusted using the frequency controller.

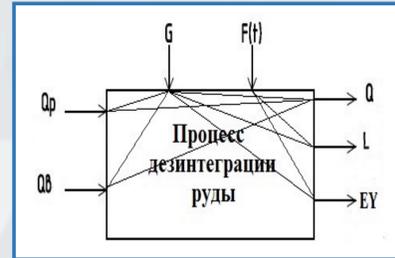


Input parameters: - supply of ore to the mill, **QP**, t/h; - water consumption in the mill, **QB**, m<sup>3</sup>/h;

Output parameters: - pulp output, **Qp**, m<sup>3</sup>/h; - filling level of the mill, **L**, m; - rated current of the classifier motor, **EY**, mA;

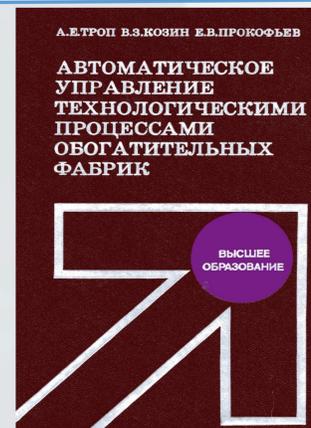
Disturbing parameters: - physical properties of the ore (strength, hardness, splitting, etc.) **G**, %; - processes associated with wear, plugging and aging of equipment, **F(t)**, %.

Control parameters: - ore consumption in the mill, **QP**, t/h; - water consumption in the mill, **QB**, m<sup>3</sup>/h.



Mill operating parameters:	
W (water) : T (ore)	0.3 - 0.4 to 1
Water in mill	70 - 120 m <sup>3</sup> / h
Performance	up to 320 t/h
Drum rotation speed, critical	16 rpm
Motor power	2500 kW

### Practical work with the mill



### Mathematical description of the model

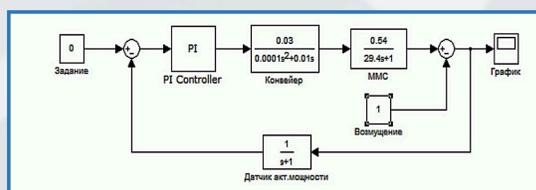
The transfer function of the mill along the channel "productivity - the output of solids in unloading":

$$W_1(p) = \frac{\Delta q_{ВЫХ.Т}(p)}{\Delta Q(p)} = \frac{1}{T_1 p + 1}$$

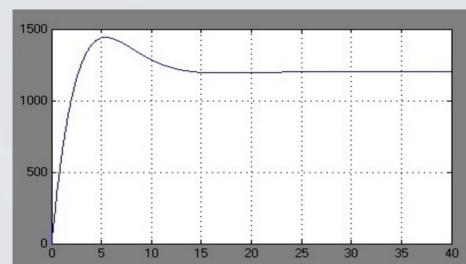
The transfer function of the mill for the channel "productivity - the output of large classes in unloading":

$$W_2(p) = \frac{\Delta q_{ВЫХ.КР}(p)}{\Delta Q(p)} = \frac{k_2}{T_2 p + 1}$$

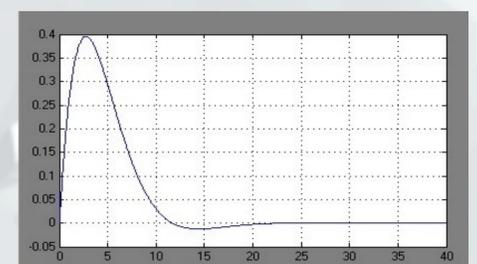
### Building a model in Matlab



Channel "Outrage"

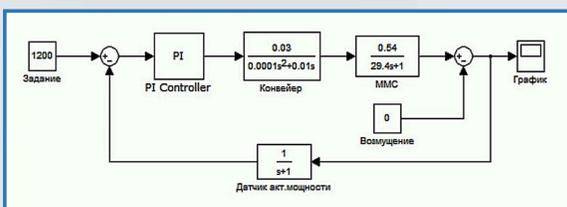


Quest Channel



Channel "Outrage"

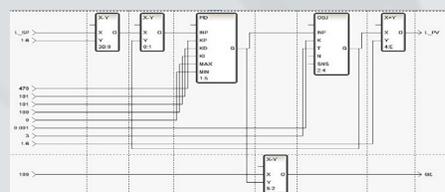
The values of the PI controller settings for this object are accepted:  $K_p = 0.1$ ;  $K_i = 0.07$ .



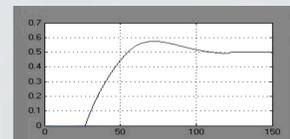
Quest Channel

### Development of a graphical interface for the operator-technologist of the mill control

PLC programming is carried out in an integrated information system for industrial production control using RSLogix 5000



### Development of a graphical interface for the operator-technologist of the mill control

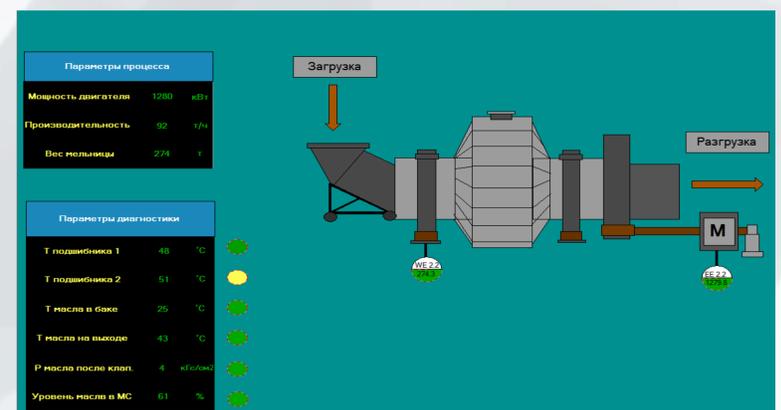


Graph of transient processes of cascade ACS

SAR	PI controller settings	Transition Quality Indicators		
		Kp	Ki	Azad. A max. t p
Inner contour	By order	0.1	0.07	1200 1440 24
	By outrage	0.1	0.07	- 0.39 22
Outer loop	By order	1.2	0.015	0.5 0.57 121

### Development of a graphical interface for the operator-technologist of the mill control

The development of a digital twin of the grinding complex of the processing plant is carried out in the integrated information system for managing industrial production **TRACE MODE**.



### The implementation of the project will allow :

1. Reduce the technological disturbance of diamond crystals;
2. Increase productivity by commodity class in the grinding process;
3. Reduce energy costs per ton of processed raw materials;
4. To improve the quality of the mill and the reliability of its functioning.