

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ В МЕТАЛЛУРГИИ**

**ИНФОРМАЦИОННЫЙ ОБМЕН МЕЖДУ АСУТП И
СМЕЖНЫМИ СИСТЕМАМИ**

*Методические указания к лабораторным работам
для студентов направления подготовки 15.03.04*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2022**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский горный университет

Кафедра автоматизации технологических процессов и производств

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ В МЕТАЛЛУРГИИ
ИНФОРМАЦИОННЫЙ ОБМЕН МЕЖДУ АСУТП И
СМЕЖНЫМИ СИСТЕМАМИ

*Методические указания к лабораторным работам
для студентов направления подготовки 15.03.04*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2022

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В МЕТАЛЛУРГИИ. ИНФОРМАЦИОННЫЙ ОБМЕН МЕЖДУ АСУТП И СМЕЖНЫМИ СИСТЕМАМИ: Методические указания к лабораторным работам / Санкт-Петербургский горный университет; Сост. *Э.Р. Федорова, А.В. Бойков*. СПб. 2022. 48 с.

Методические указания к лабораторным работам направлены на формирование компетенций в области автоматизации технологических процессов в металлургии, получение практических навыков анализа характеристик и результатов функционирования систем, методов оптимизации систем управления.

Основная задача методических указаний – подготовка к решению профессиональных задач, связанных с разработкой автоматизированных системами управления технологических процессов и выбором основных средств решения поставленных перед этими системами задач. Приобретаемые знания и навыки в ходе выполнения лабораторных работ способствуют эффективному решению различных задач в профессиональной деятельности обучаемого.

Методические указания предназначены для студентов направления подготовки 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств», направленность (профиль) «Автоматизация технологических процессов и производств в металлургической промышленности», могут быть использованы студентами других направлений подготовки и слушателями курсов повышения квалификации при изучении основ автоматизации технологических процессов в металлургии.

Табл. 1. Ил. 47. Библиогр.: 22 назв.

Научный редактор проф. *В.Ю. Бажин*

Рецензент канд. техн. наук *А.Н. Николаев* (Начальник отдела АСУТП ООО «ЦПА «РЕСУРС»)

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
Лабораторная работа № 1. Чтение и экспорт производственных данных из архивного файла.....	5
Лабораторная работа № 2. Анализ производственных архивных данных в программной среде GE Proficy troubleshooter	21
Лабораторная работа № 3. Синтез статистической модели объекта управления с помощью программного пакета GE Proficy Csense	31
Лабораторная работа № 4. Синтез блочной математической модели объекта управления	40
Лабораторная работа № 5. Блочная модель объекта управления как надстройка над SCADA - системой	43
Библиографический список	46

ВВЕДЕНИЕ

Цель лабораторных работ – формирование у обучающихся базовых знаний в области автоматизации технологических процессов в металлургии; получение практических навыков анализа характеристик и результатов функционирования систем, методов оптимизации систем управления.

При выполнении лабораторных работ предполагается индивидуализация обучения по принципу «каждому студенту (группе студентов) свой вариант задания». Поэтому в лабораторных работах предусмотрены варианты индивидуальных заданий. По своему усмотрению преподаватель может комбинировать задания, упрощая или усложняя задание на лабораторную работу в зависимости от подготовки обучаемого.

Каждая работа рассчитана на 2/4 академических часа работы в лаборатории и 1/2 часа самостоятельной работы при домашней подготовке и оформлении отчета по работе.

Современный уровень программных и технических средств электронной вычислительной техники позволяет перейти от традиционных ручных методов конструирования к новым информационным технологиям с использованием ПК.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. ЧТЕНИЕ И ЭКСПОРТ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ДАННЫХ ИЗ АРХИВНОГО ФАЙЛА

1. Цель работы – научиться восстанавливать и экспортировать производственные данные из резервного файла РБД (реляционной базы данных).

2. Основные теоретические положения:

В качестве ОУ (объекта управления) выступает секция полу-самоизмельчения (ПСИ) ГОКа (горно-обогатительного комбината). Часть схемы переработки показана на рис. 1. Основываясь на данных практики переработки руды исследуемого месторождения, принимаем коллективно-селективную схему флотационного обогащения с выделением отвальных хвостов в коллективном цикле, выделением медного концентрата пенным продуктом и цинкового концентрата камерным продуктом. Для получения медного и цинкового концентратов требуемого качества предусматривается три перечистных операции в коллективном цикле и одна перечистная операция в медном цикле. Также в коллективном цикле предусматривается доизмельчение грубого коллективного концентрата основной флотации. Практика переработки показывает, что при измельчении руды до 80-85 % готового класса часть медных минералов находится в вскрытом состоянии, поэтому в схеме обогащения перед коллективным циклом предусматривается операция флотации медной «головки».

Флотационное обогащение руд в значительной мере определяет количественные и качественные показатели конечного продукта горно-обогатительного производства. Функции существующих АСУ ТП процессом флотации и предшествующих ей процессов заключаются в стабилизации параметров первичных технологических контуров, таких как уровень пульпы во флотомашинах, расход флотационного воздуха и реагентов, поддержание определенной крупности в секциях измельчения, управление соотношением руда-вода на входе в технологический процесс и т.д.

Существующая проблема регулирования подобных процессов следующая: основные функции управления выполняет оператор-технолог, роль которого заключается в осуществлении воздействий непосредственно на технологические контура, изменяя задания. Несвоевременные и неадекватные действия оператора носят дополни-

тельный возмущающий характер и не позволяют оптимизировать процесс флотации (в целом производственный процесс).

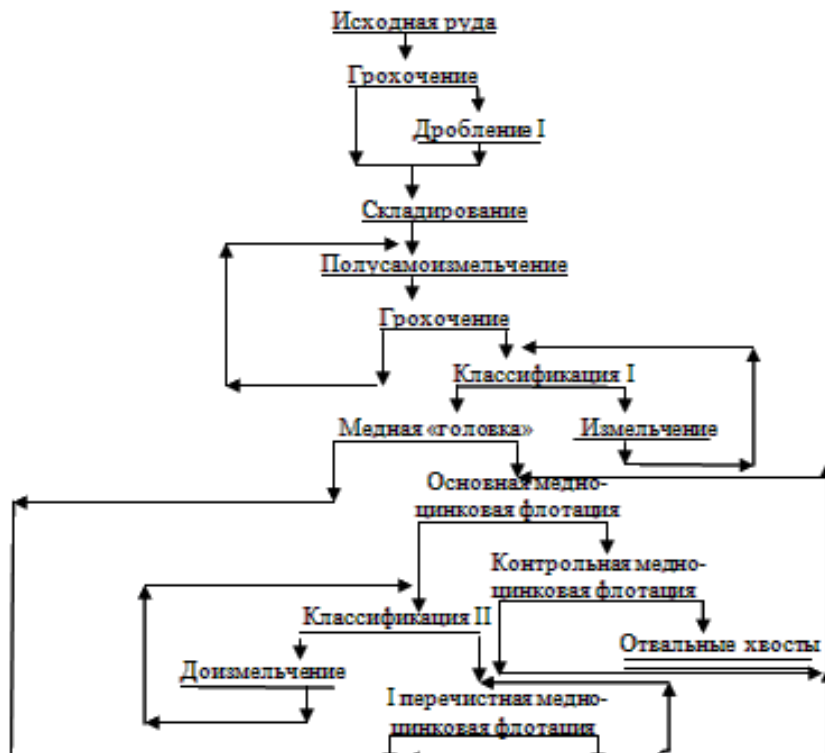


Рис. 1. Схема переработки исследуемого ГОКа

Пусть существует некий процесс. В правой части отображена цель управления (целевая функция). Существует управляющий параметр и возмущающее воздействие, которое оказывает непосредственное влияние на объект управления (рис. 2).

В классической ситуации, когда объект находится в стационарном состоянии, целевая функция колеблется с небольшими отклонениями. Когда же начинает действовать возмущающее воздействие, целевой параметр через определенный интервал времени (определяемый инерцией объекта) отклоняется от заданного значения.

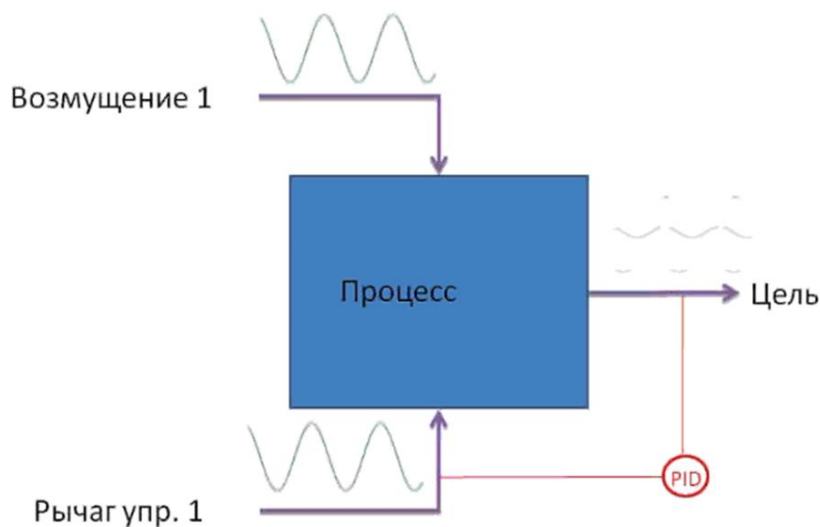


Рис. 2. Схема управления по отклонению

Именно в этот момент классическая система управления, реализующая концепцию управления по отклонению с использованием, например, ПИД-регулятора, зафиксирует данное отклонение и сформирует команду на управляющее воздействие, чтобы вернуть целевой параметр к заданному значению (уставке). Есть множество литературы, описывающей плюсы и минусы данной концепции управления; главным минусом, конечно, является то, что система позволяет отклониться целевой функции от задания и только по факту того, что объект вышел за рамки заданного состояния, начинает регулировать и компенсировать возмущающее воздействие. С учетом того, что возмущающих воздействий может быть несколько и их динамические передаточные характеристики разные, поведение объекта может очень сильно отклоняться от уставки, и тем самым качество управления будет недостаточно высоким.

Схема объекта при использовании в управлении модели представлена на рис. 3.

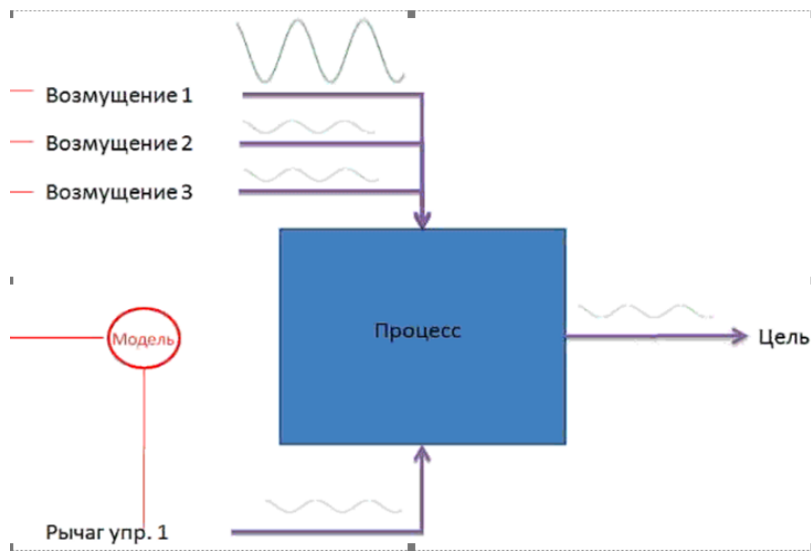


Рис. 3. Схема управления по модели

Модель, отслеживая значение возмущения, прогнозирует поведение целевой функции и, зная коэффициент усиления и период отклика, начинает воздействовать на управляющий параметр таким образом, чтобы компенсировать возмущение и не допустить выхода целевого показателя за требуемые пределы. Данный тип управления отличается тем, что система не ожидает пока возмущение начнет действовать на выходной параметр и только потом изменяет управляющий параметр (принцип управления по отклонению); система изначально не допускает изменения целевой функции при изменении значений возмущающих факторов. Естественно главным элементом при данном типе управления является модель, если она адекватна, точно описывает процесс, то тогда можно обеспечить надлежащее качество выходного параметра. При изучении данного предмета средством для решения поставленной задачи (формирования математической модели) будет являться программный комплекс Proficy Csense. Особенностью комплекса является то, что построение модели формируется не на основании сухих абстрактных расчетах материального и энергетического балансов, а на архивных производственных данных (характеристиках) изучаемого объекта.



Рис. 4. Схематичное отображение стадий анализа и совершенствования технологических процессов

Суть данного подхода в следующем: управляемый объект (процесс) и соответствующая ему информация (данные) - есть неотъемлемая часть предприятия. Зачастую эти объекты типовые и хорошо изучены, оснащены локальными средствами автоматизации, исполнительными механизмами, т.е. большинство объектов оснащены классической АСУТП, SCADA – системой и контурами регулирования.

Совместно со SCADA – системой применяется решение архивирования данных, которые содержат сведения о поведении исследуемого объекта. Идея (концепция), положенная в основу работы состоит в том, что именно на основе анализа полученных архивных данных формируется модель поведения ОУ (объекта управления) (рис. 4).

После того, как модель оценена и скорректирована, она ставится в режим online либо с помощью технологии APC (в режиме непосредственного управления), либо в режиме советчика оператору, который получает сообщения на своем экране SCADA – системы.

Исходными данными являются выданные преподавателем материалы:

1. функциональная схема автоматизации (ФСА) ГОКа;
2. действующий на ГОКе проект SCADA-системы SIMPLICITY (файл TSU02.gef);
3. файл резервной базы данных (GAI_TSU02.bak).

3. Ход работы:

3.1. Изучение функциональной схемы:

На начальном этапе обучающийся изучает выданную ФСА (рис. 5): определяет материальные потоки; изучает, чем представлен полевой уровень, составляет список измеряемых параметров на базе ФСА и фиксирует его в своем отчете.

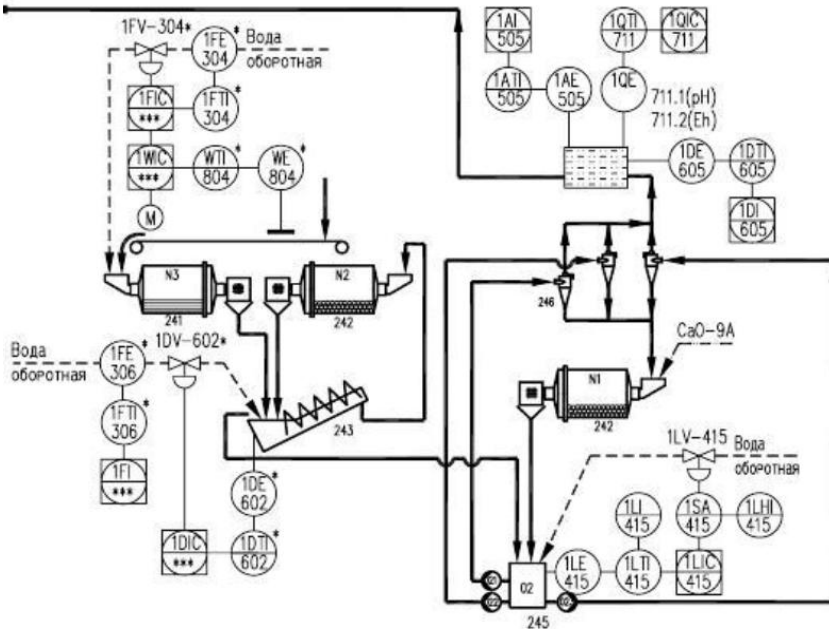


Рис. 5. Часть №1 ФСА. Секция головной флотации

3.2. Изучение мнемосхем действующего SCADA-проекта:

Следующим этапом обучающемуся необходимо сопоставить выбранные потоки, КИП (контрольно-измерительные приборы) и ИМ (исполнительные механизмы), изображенные на ФСА, с мнемосхемами (рис. 6-8) действующего на производстве проекта HMI SCADA-системы GE Proficy Simplicity. Представленные мнемосхемы на рис. 6-8 носят ознакомительный характер в методических указаниях. Действующий проект SCADA-системы выдается преподавателем каждому обучающемуся.

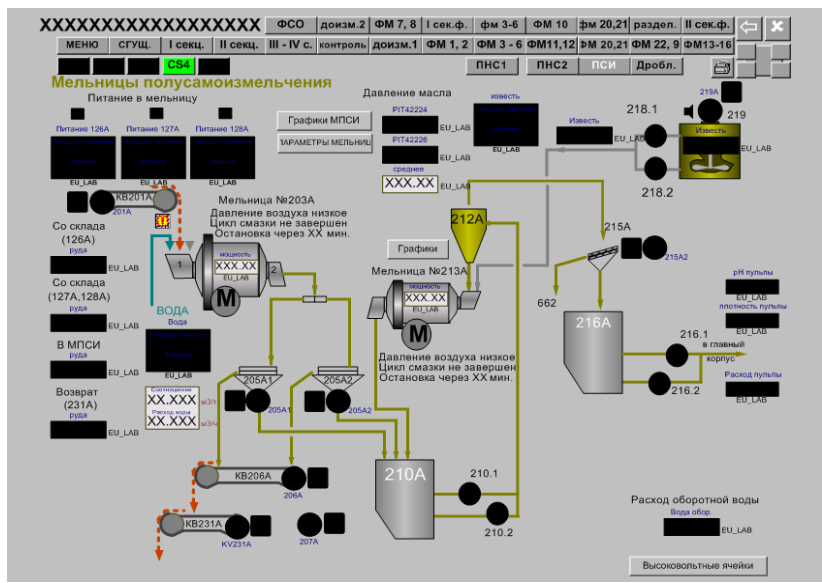


Рис. 6. Мнемосхема проекта HMI SCADA-системы GE Proficy Simplicity. Секция измельчения 1

Многие датчики и ИМ, изображенные на ФСА, не вынесены на экраны SCADA-системы, значения этих параметров не регистрируются в базе данных (БД). На данном этапе работу обучающийся должен откорректировать список измеряемых параметров в отчете.

Следующим этапом обучающемуся необходимо составить таблицу соответствия имен тегов в проекте HMI SCADA и БД с названиями параметров на ФСА и технологическом регламенте.

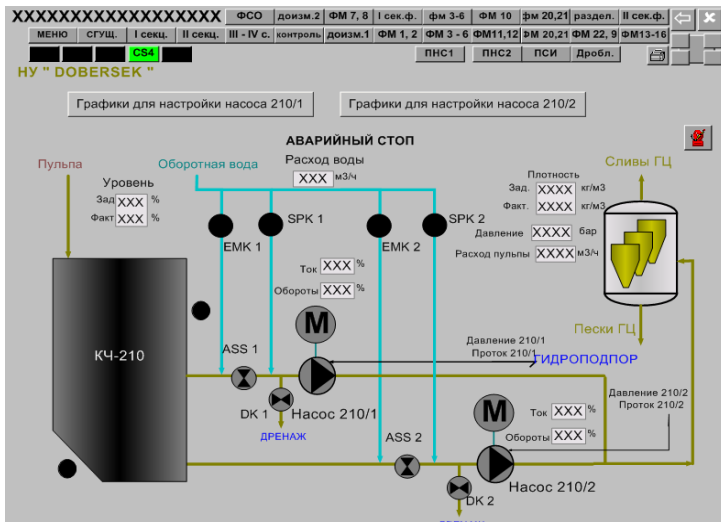


Рис. 7. Подмнемосхема проекта HMI SCADA-системы GE Proficy Simplicity. Секция измельчения 1

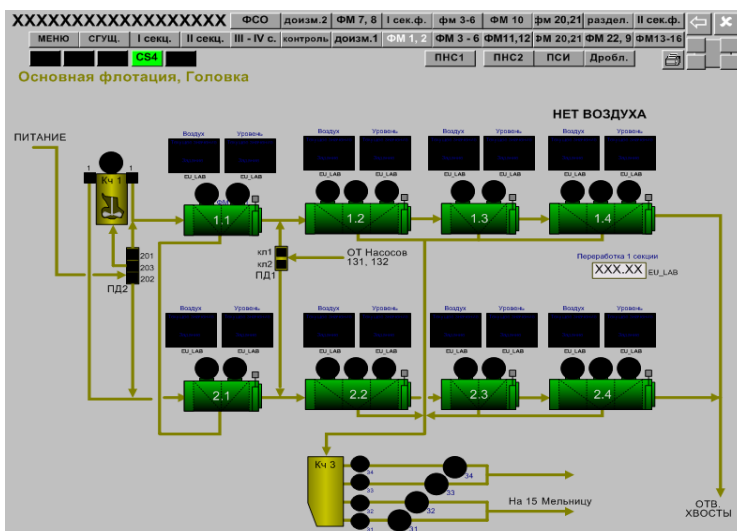


Рис. 8. Мнемосхема проекта HMI SCADA-системы GE Proficy Simplicity. Секция флотации

3.3. Работа со срезом архивных производственных данных:

Следующим шагом после извлечения имен тегов из проекта HMI SCADA, является экспортирование архивных данных, соответствующих этим тегам, за n-ый промежуток времени (рис. 9).

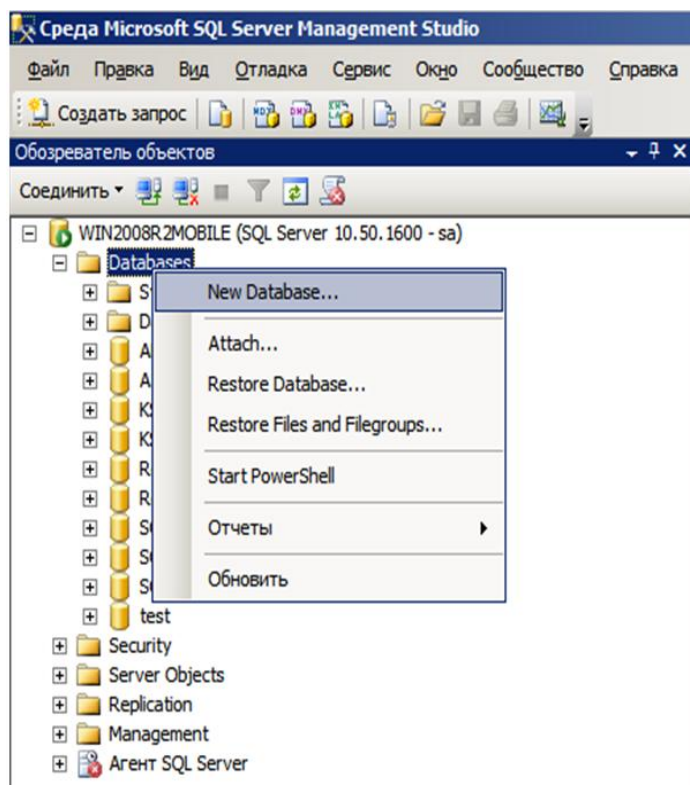


Рис. 9. Создание новой базы данных

В работе архивные данные представлены в виде резервного файла РБД (реляционной БД) (GAI_TSU02.bak). Данный файл необходимо восстановить с помощью среды, например Microsoft SQL Server Management Studio (SQL Server 2008 R2). После восстановления резервного файла в среде Microsoft SQL Server Management Studio необходимо найти таблицы со столбцами, соответствующими именам ранее выписанных в отчет тегов.

Необходимые таблицы SQL базы были экспортированы в файлы с расширением .xls с целью дальнейшей обработки данных и подготовки их для импорта в компонент Troubleshooter программного комплекса Proficy Csense от GE.

Описание основных шагов восстановления БД SQL и экспортирования данных в файлы .xls:

Открываем среду Microsoft SQL Server Management Studio (SQL Server 2008 R2). Создаем новую базу данных (рис. 10):

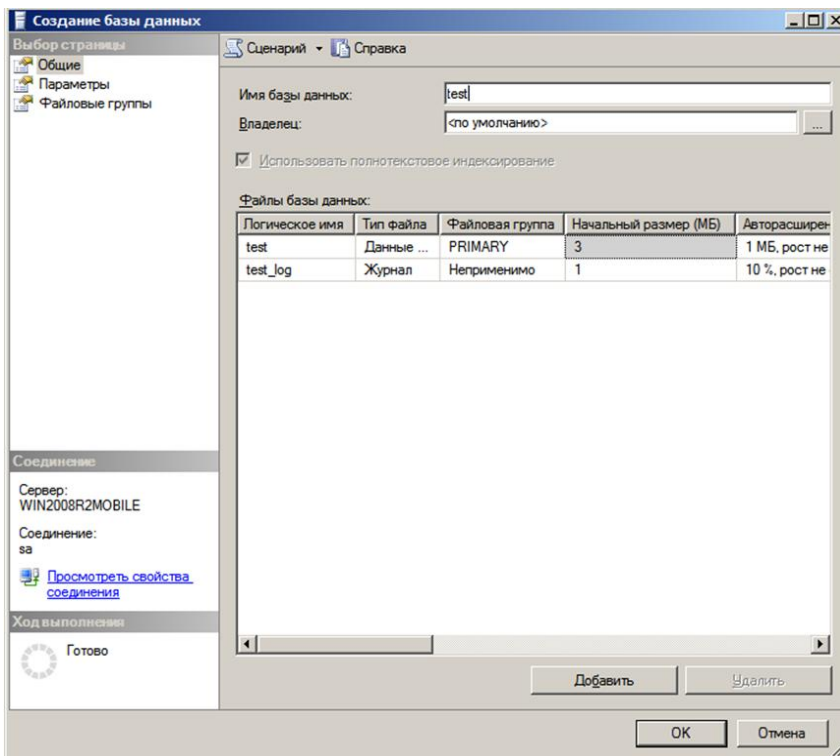


Рис. 10. Задание параметров новой базы данных

Восстанавливаем архивный файл базы данных (рис. 11 - 14):

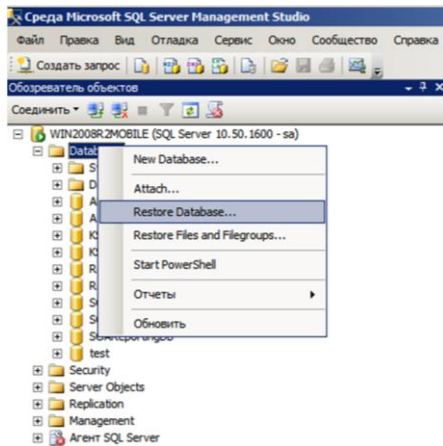


Рис. 11. Восстановление базы данных. Дерево среды

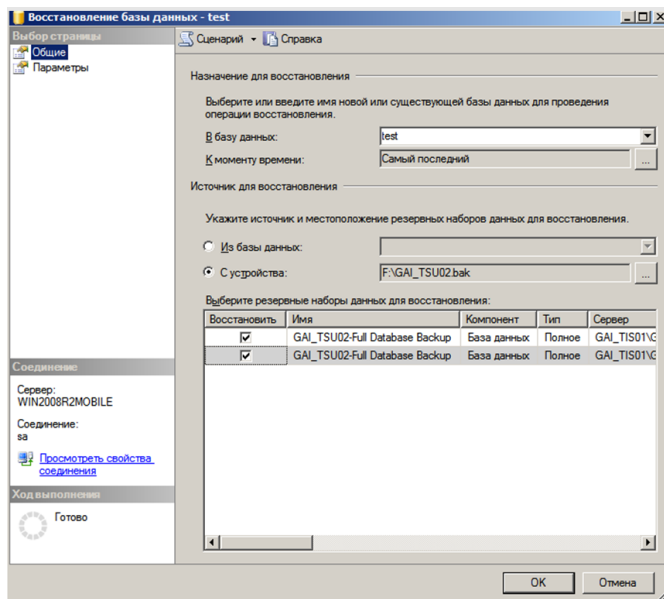


Рис. 12. Восстановление базы данных. Окно выбора файла восстановления

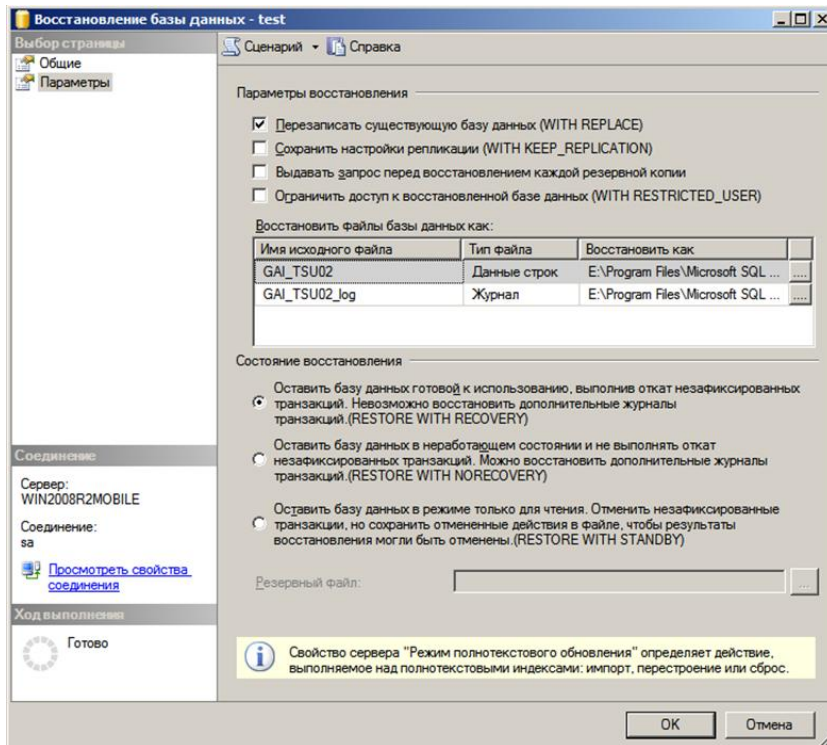


Рис. 13. Восстановление базы данных. Перезапись существующей БД на восстанавливаемую

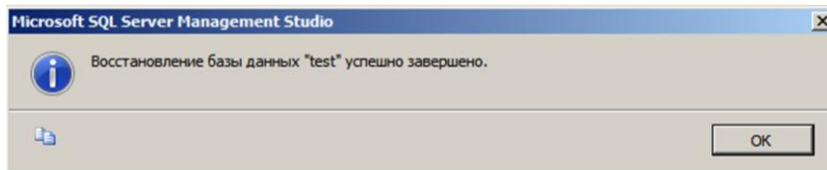


Рис. 14. Окно сообщений по завершении восстановления базы данных

Открываем восстановленную базу данных «test». Ищем таблицы с необходимыми столбцами. Фиксируем имена выбранных (необходимых) таблиц (рис. 15):

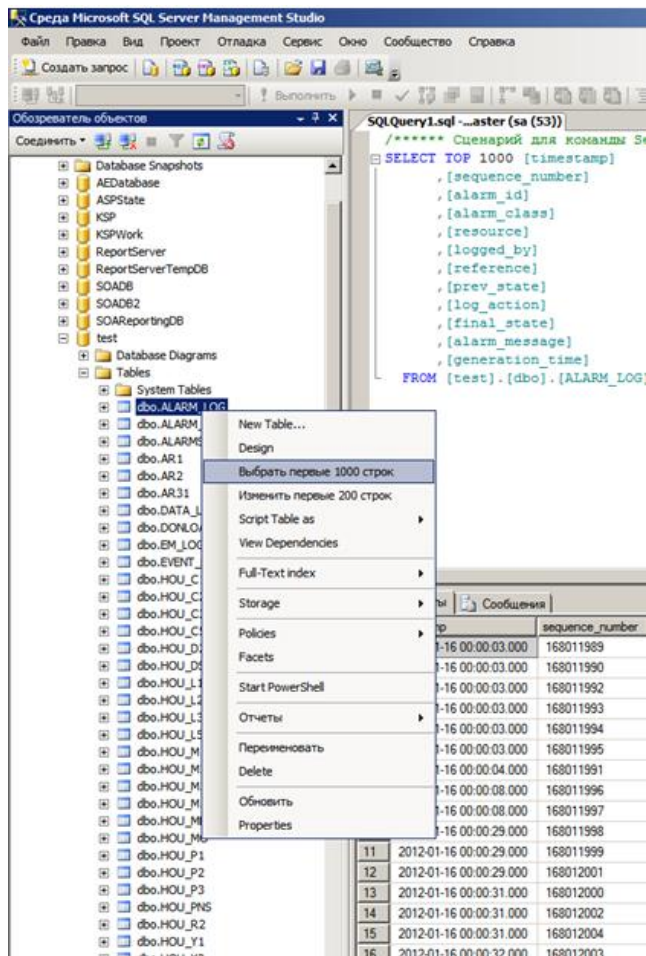


Рис. 15. Восстановленные файлы данных

Открываем программный пакет Microsoft Excel. С помощью функциональных возможностей панели задач импортируем таблицы с данными из базы в Microsoft Excel (рис. 16 - 19):

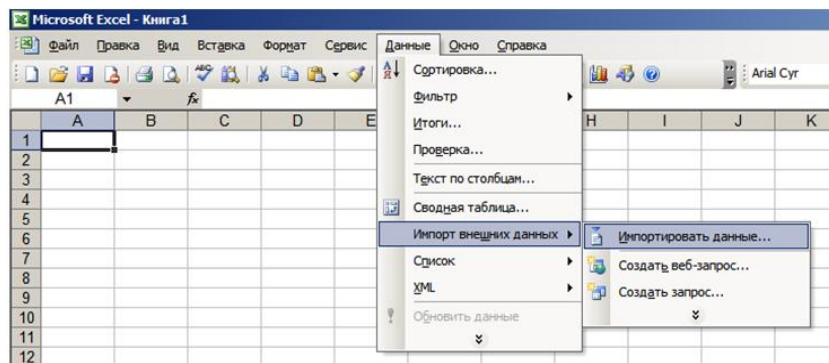


Рис. 16. Панель задач Microsoft Excel

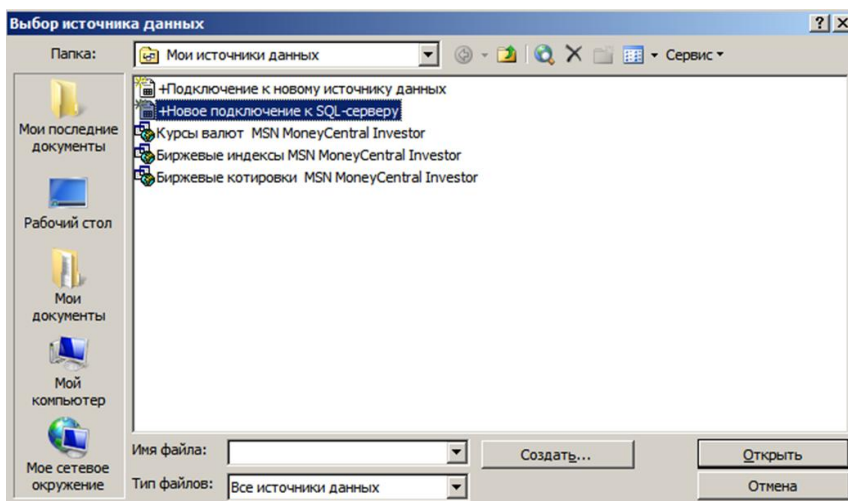


Рис. 17. Выбор источника данных

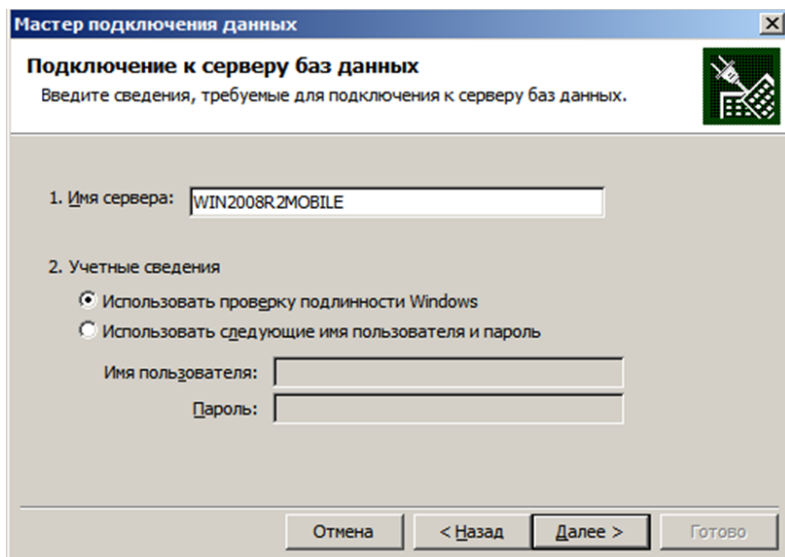


Рис. 18. Подключение к выбранному серверу данных

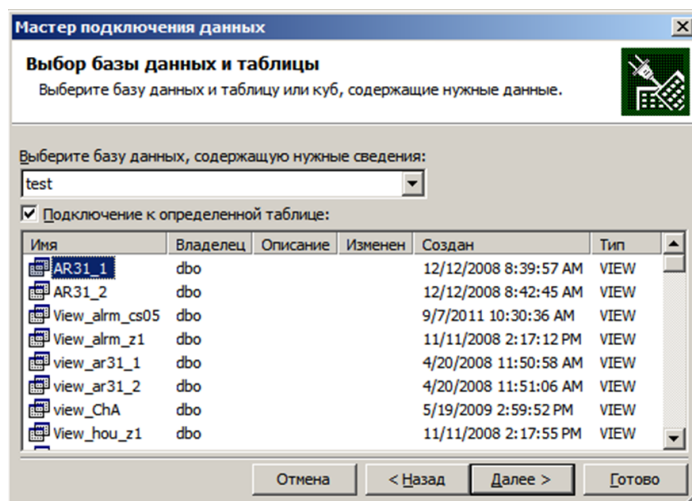


Рис. 19. Выбор базы данных и таблицы для импорта данных

Каждая таблица из SQL базы импортируется в отдельную Книгу Microsoft Excel (рис. 20):

1	timestamp	CS02A001FF_VAL0	CS02A002FF_VAL0	CS02A003FF_VAL0	CS02A004FF_VAL0	CS02A005FF_VAL0	CS02A006FF_VAL0	CS02A007FF_VAL0
2	14.06.2008 17:00	0.83	0.52	16.33	17.87	4.21	39.49	
3	14.06.2008 17:30	0.97	0.5	18.51	17.25	4.06	39.49	
4	14.06.2008 18:00	0.97	0.5	18.76	17.26	4.1	39.33	
5	14.06.2008 18:30	0.99	0.51	19.03	17.38	4.11	39.19	
6	14.06.2008 19:00	1.01	0.52	19.31	17.34	4.11	39.47	
7	14.06.2008 19:30	0.98	0.5	18.34	17.11	3.92	39.61	
8	14.06.2008 20:00	1.03	0.49	18.48	17.03	3.69	39.83	
9	14.06.2008 20:30	1.03	0.44	18.43	15.74	3.36	40.59	
10	14.06.2008 21:00	1.07	0.45	19.85	16.31	3.61	42.15	
11	14.06.2008 21:30	1.01	0.45	19.68				
12	14.06.2008 22:00	0.92	0.49	17.58		0.84		
13	14.06.2008 22:30	0.78	0.47	17.03				
14	14.06.2008 23:00	0.87	0.53	18.19		0.81		
15	14.06.2008 23:30	0.84	0.53	17.58	17.79	4.93	40.51	
16	15.06.2008 0:00	0.66	0.47	15.83	17.56	4.86	40.23	
17	15.06.2008 0:30				17.63	4.78	40.44	
18	15.06.2008 1:00				17.12	4.35	41.17	
19	15.06.2008 1:30	0.29	0.64					
20	15.06.2008 2:00	0.37	0.65			0.73		
21	15.06.2008 2:30	0.22	1.13			0.72		
22	15.06.2008 3:00	0.18	1.11			0.75		

Рис. 20. Импортированные данные в Книгу Microsoft Excel

На следующем шаге данные обрабатываются в Microsoft Excel. Убираются строки, соответствующие простоям оборудования, нулевым или отрицательным значениям параметров. Редактируется столбец с меткой времени.

GE Proficy Troubleshooter распознает следующие раскладки «дата/время» и «язык»: мм/дд/гг ч:м:с, язык английский.

Отредактированные данные необходимо сохранить в файл формата .csv. Когда данные отредактированы, приступаем к их обработке и анализу в компоненте GE Proficy Troubleshooter.

4. Содержание отчета

1. Таблица соответствия тегов и измеряемых параметров;
2. Пошаговое выполнение работы с сопутствующими скриншотами и комментариями;
3. Готовый файл в формате .csv с экспортированными данными;
4. Выводы по проделанной работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ АРХИВНЫХ ДАННЫХ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ GE PROFICY TROUBLESHOOTER

1. Цель работы – анализ производственных архивных данных в программной среде GE Proficy Troubleshooter.

2. Основные теоретические сведения:

Процесс измельчения в существенной степени определяет качество дальнейшей переработки. Существующие способы автоматического регулирования, а тем более ручное управление измельчительным комплексом (мельница – классификатор, мельница-гидроциклон) не обеспечивают ведения стабильного и оптимального по параметрам процесса.

Зачем нужна автоматизация процессов измельчения?

Автоматизация данного процесса предназначена для поддержания требуемых режимов измельчения и классификации в условиях изменяющегося качества измельчаемого сырья и других условий измельчения (водных режимов, циркуляционной нагрузки и т.д.);

Наиболее типичные задачи автоматизации, решаемые посредством введения контуров стабилизации технологических параметров:

- стабилизация расходов руды в мельницу;
- стабилизация соотношения «руда-вода» посредством подачи

воды в мельницу;

Почему данные решения не очень удовлетворительны?

1. Стабилизация расхода руды. Задача важная, но реальная производительность мельницы меняется из-за постоянного изменения свойств подаваемой руды и других факторов, что заставляет оператора менять задание по руде. Постоянно изменяющееся объемное заполнение мельницы рудой заставляет оператора держать производительность мельницы ниже оптимальной из-за опасения аварийной перегрузки (переполнения мельницы). То есть поддержание стабильной подачи руды не позволяет максимально использовать текущую производительность мельницы, а, следовательно, наблюдается снижение производительности.

2. Поддержание соотношения «руда-вода». Почти идеальный контур регулирования для мельниц с открытым циклом, поскольку он

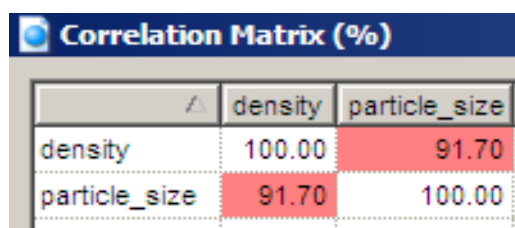
стабилизирует плотностные режимы в мельнице на заданном уровне, и в определенной степени стабилизируя условия измельчения.

Но при работе в замкнутом цикле, когда к исходной руде добавляется циркуляционная нагрузка, объем которой может в несколько раз превышать объем загружаемой руды, стабилизация плотностных режимов нарушается из-за возможных колебаний циркуляционной нагрузки в несколько раз.

Ограниченность такого подхода заключается в том, что в зависимости от качества текущей руды для оптимизации процесса должны изменяться также и плотностные режимы.

3. Стабилизация плотности слива гидроциклона (ГЦ). Наличие данного контура стабилизации позволяет поддерживать требуемые плотностные режимы дальнейших стадий обогащения. Но целью введения этого контура является стабилизация грансостава слива ГЦ. Это опирается на верное утверждение, что выход готового класса тем выше, чем ниже плотность пульпы.

Говоря об имеющемся массиве данных по плотности и крупности пульпы после секции полусамои измельчения (ПСИ) и секции измельчения исследуемого ГОКа, можно сделать корреляционный анализ этих двух параметров. Получим, что зависимость рассматриваемых двух параметров близка к линейной (рис. 21).



	density	particle_size
density	100.00	91.70
particle_size	91.70	100.00

Рис. 21. Пример корреляционной матрицы двух параметров (плотность и грансостав) по секции измельчения и секции ПСИ. Коэффициент корреляции $K \gg 0,75-0,80$ для обеих секций

То есть в данном случае регулирование именно плотности в секции ПСИ и грансостава в секции измельчения должно принести желаемый результат.

Но если просмотреть массив с данными по параметру «процентное соотношение меди, цинка, серы» в поступающей руде, то

можно сделать вывод, что свойства руды менялись не сильно на протяжении предоставленного участка времени. Если же будут большие вариации свойств руды в последующем, то утверждение, что стабилизация плотности слива застabilизирует выход готового класса, окажется не совсем верным.

3. Ход работы:

3.1. Анализ архивных производственных данных.

Данную задачу можно решить с помощью программы Troubleshooter входящей в программный пакет Proficy Advanced Analytics.

Ход работы показан на примере исходных данных по секции ПСИ, где целевым параметром является плотность пульпы, выходящей из ГЦ.

В работе использованы следующие наименования: Target (цель) – density (плотность на выходе гидроциклона); Undefined (все параметры, которые оказывают влияние на выходную цель):

- flow of pulp (расход пульпы в ГЦ);
- flow of recycled water (расход оборотной воды в ГЦ);
- flow ore conveyor 201A (расход руды на конвейер);
- I pump1 (ток насосного агрегата, перекачивающего поток из зумпфа в ГЦ);
- Fpower/Fwater (отношение руда-вода по мельнице);
- level in the sump210A (уровень в зумпфе);
- pump1 speed (обороты насосного агрегата, создающего давление на ГЦ);
- water flow on M203A (расход воды на Мельницу).

Теги, которые необходимы для рассмотрения и моделирования, представлены в Таблице 1.

Общий вид модели с входными и выходными параметрами по секции Основной флотации представлен на рис.22.

Работа выполняется в несколько этапов (шагов):

- Шаг 1 – подготовка данных;
- Шаг 2 – визуализация;
- Шаг 3 – моделирование;
- Шаг 4 – извлечение знаний;
- Шаг 5 – оценка возможностей;

Шаг 6 – правила для управляющего параметра;
 Шаг 7 – экспорт готовой модели в компонент Architect.

Таблица 1

Таблица соответствия имени тега в БД и SCADA – системе и названия параметра в технологическом процессе

Имя объекта	Описание объекта	Единицы измерения
DS11_DRUCK	Плотность	кг/м ³
DS11_DURCHFLUSS_S	Расход пульпы в ГЦ	м ³ /ч
DS11_DURCHFLUSS_W	Расход оборотной воды на ГЦ	м ³ /ч
DS11_STROM_FU1	Ток насосного агрегата 201.1	%
DS11_DREHZAHL_FU1	Обороты насоса 201.1	%
DS11_NIVEAU1V	Уровень в 3Ф210А	%
CS05.AI0062	Возврат руды в секцию Дробления	т/ч
CS05.AI0005	Руда со склада 126А	т/ч
CS05.AI0009	Руда со склада 127А,128А	т/ч

расход оборотной воды



Рис. 22. Входные и выходные параметры, используемые при построении модели, стабилизирующей плотность выходной пульпы с ГЦ в секции ПСИ

Далее были назначены категории для параметров. Выбираем цель управления (target), регулируемые параметры (adjustable), параметры, которые оказывают влияние на цель управления, но не являются возмущающими, помечаем как undefined. Влияние undefined будет учитываться при построении модели.

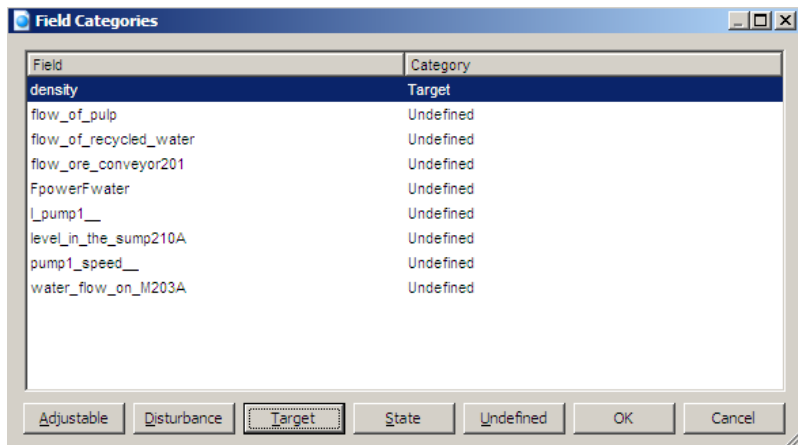


Рис. 25. Окно выбора цели управления, управляемых и влияющих параметров (в данном случае выбор управляемых параметров – рычагов осуществлялось на шаге 5 при непосредственном построении модели)

Загружаем данные (нажимаем кнопку Load Dataset) и переходим к следующему шагу.

3.3 Шаг 2. Визуализация.

На шаге «Визуализация данных» исследуем взаимовлияние параметров друг на друга и на цель, выявляем те параметры, которые оказывают наиболее сильное действие на выходной параметр (исходя из графиков и диаграмм), построим матрицу взаимных корреляций по всем параметрам (рис. 26, 27).

Field	Category	Limits	Low/High	Low	High
density	Target	Disable	1181	1288.41109120573	
flow_of_pulp	Undefined	Disable	215	445.94477848878	
flow_of_recycled_water	Undefined	Disable	0.1200075	43.0375578687515	
flow_ore_conveyor201	Undefined	Disable	0	437.93595585124	
FpowerFwater	Undefined	Disable	0	6.36302725726495	
L_pump1__	Undefined	Disable	49	65.2919346413128	
level_in_the_sump210A	Undefined	Disable	56	60.9027389907088	
pump1_speed__	Undefined	Disable	63.61538462	76.5865919408558	
water_flow_on_M203A	Undefined	Disable	10.40894508	53.9897142350103	

Рис. 26. Окно визуализации данных

На этом же этапе просматривается тренд по каждому параметру. С помощью специального инструмента на графике выделяются и фиксируются те области, в которых значения по данному параметру равны 0. Этот промежуток впоследствии не участвует в расчетах при моделировании.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
4	flow_of_recycled_water	59.81	74.57	100	31.42	31.01	90.71	35.06	81.28	6.67	
5	flow_ore_conveyor201	23.04	36.92	31.42	100	35.86	44.81	22.01	44.36	80.7	
6	FpowerFwater	7.15	22.61	31.01	35.86	100	27.45	8.29	28.85	-15.88	
7	L_pump1__	29.28	79.39	90.71	44.81	27.45	100	46.11	94.62	25.84	
8	level_in_the_sump210A	44.15	36.27	35.06	22.01	8.29	46.11	100	48.06	17.84	
9	pump1_speed__	48.36	75.04	81.28	44.36	28.85	94.62	48.06	100	28.45	
10	water_flow_on_M203A	21.37	23.62	6.67	80.7	-15.88	25.84	17.84	28.45	100	
11											
12											
13											
14											
15											

Рис. 27. Общая матрица корреляций

Графические примеры зависимостей цели управления от остальных имеющихся параметров представлены на рис. 28 - 31.

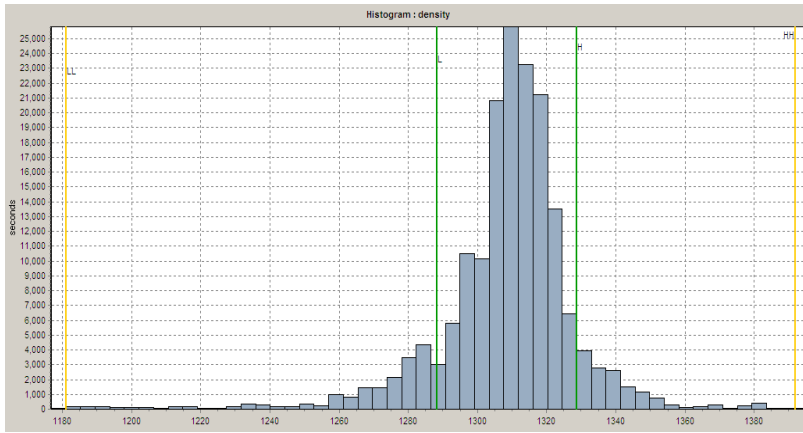


Рис. 28. Диаграмма диапазонов значений плотности на выходе ГЦ212А в кг/м³

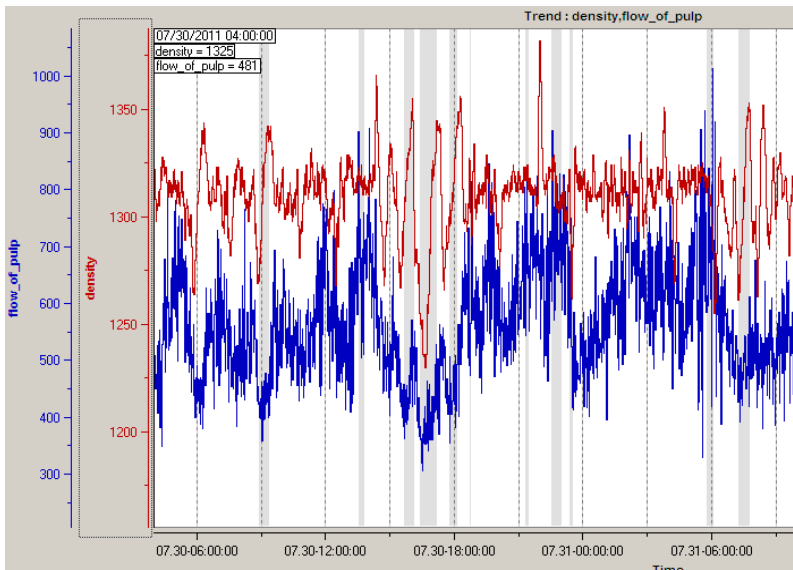


Рис. 29. Зависимость плотности от расхода пульпы на ГЦ212А

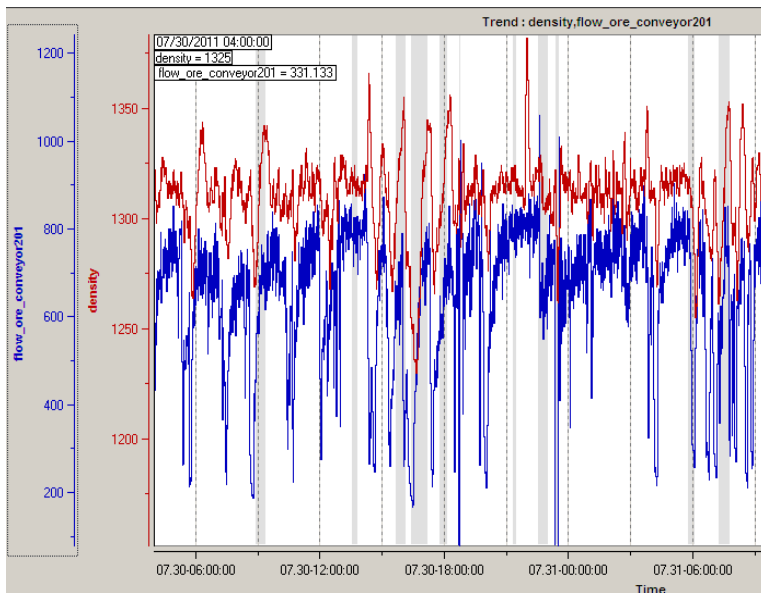


Рис. 30. Зависимость плотности от расхода руды на конвейер201

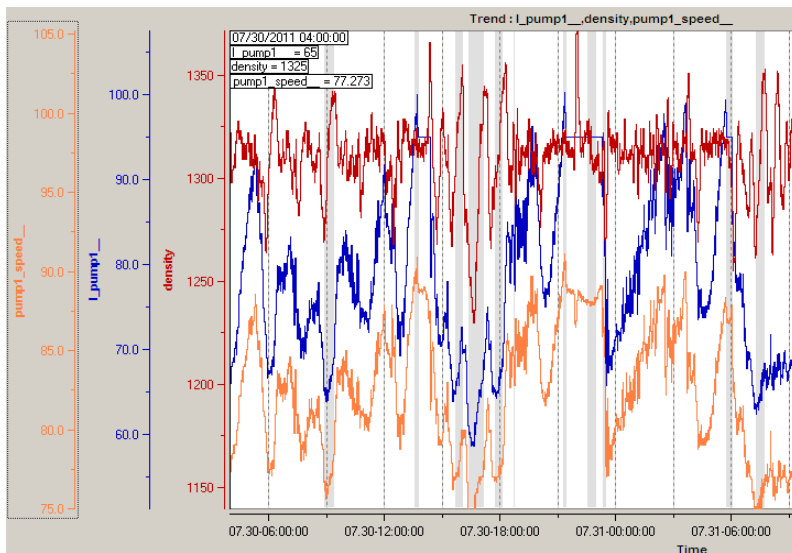


Рис. 31. Зависимость плотности от тока и оборотов НА210.1

Из выше представленных графических зависимостей целевой функции от других параметров процесса и из матрицы корреляций можно сделать предварительный вывод о взаимовлиянии параметров (по существующей схеме управления на ГОКе). Параметр плотности сильно коррелирован с параметрами работы насосного агрегата, расхода воды и руды на конвейер, а также расхода оборотной воды в зумпф.

4. Содержание отчета

1. Пошаговое выполнение работы с сопутствующими скриншотами и комментариями;
2. Программный файл;
3. Выводы по проделанной работе.

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. СИНТЕЗ
СТАТИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ С
ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА GE PROFICy
CSENSE**

1. Цель работы – синтез статистической модели объекта управления (ОУ) на базе архивных производственных данных с помощью программного пакета GE Proficy Csense.

2. Основные теоретические сведения:

Процесс измельчения в существенной степени определяет качество дальнейшей переработки. Существующие способы автоматического регулирования, а тем более ручное управление измельчительным комплексом (мельница – классификатор, мельница-гидроциклон) не обеспечивают ведения стабильного и оптимального по параметрам процесса.

Как повысить эффективность автоматизации измельчения?

1. Одним из методов, позволяющим отследить в какой-то мере изменяющиеся свойства руды и условия измельчения, является контроль объемного заполнения мельницы рудой. При улучшении измельчаемости руды и условий измельчения при постоянной подаче руды объемное заполнение мельницы падает, и наоборот растет при ухудшении условий. Таким образом, стабилизируя объемное заполнение на заданном уровне, можно в определенной степени подстраивать текущую производительность под изменяющиеся условия. Поддерживая объемное заполнение на максимально возможном уровне, можно добиться следующих результатов:

– во-первых, использовать мельницу в режиме максимально возможной в данных условиях производительности;

– во-вторых, снизить абсолютный и удельный расход электроэнергии, что объясняется известным положением утверждающим, что минимум энергии разрушения достигается при максимуме возможного объемного заполнения;

– в-третьих, стабилизация объемного заполнения в определенной степени стабилизирует циркуляционную нагрузку. Это объясняется тем, что последняя состоит из двух частей: циркуляционного объема, находящегося в мельнице и объема, находящегося в контуре

классифицирующего аппарата. Стабилизация циркуляционной нагрузки в некоторой степени улучшает стабилизацию плотностного режима при поддержании соотношения «руда-вода».

Если же перейти на контур «объемное заполнение-вода» (твердое к жидкому), то стабилизация плотностных режимов измельчения будет поддерживаться с более высокой точностью.

2. Другой способ, улучшающий работу измельчительных комплексов – переход к управлению непосредственно по измеренному грансоставу измельченного продукта.

Основная цель измельчения – обеспечить требуемую степень раскрытия минералов для последующих стадий обогащения, поэтому логично, чтобы управление процессом было направлено на решение этой задачи.

Учитывая, что на грансостав влияют многие факторы, может быть предложено комбинированное управление, когда заданный выход готового класса при текущей производительности обеспечивается регулированием водных режимов мельницы и классификатора, а при достижении ограничений – изменением текущей производительности.

Первый метод для последующего моделирования не рассматривается, что связано с отсутствием прямых методов контроля объемного заполнения мельницы рудой. А использование косвенных методов, таких как акустический и вибрационный шум мельницы, не подходит, к тому же данные по этим методам не фиксируются на исследуемом объекте.

При выборе контура регулирования по секциям ПСИ и секции измельчения процесса остановимся на «управлении по измеренному грансоставу».

3. Ход работы:

3.1. Синтез статистической модели ОУ на базе архивных производственных данных. Моделирование с среде GE Proficy Troubleshooter.

На данном этапе выбирается цель моделирования и влияющие параметры (в данном случае выбирались все имеющиеся значения в БД). В качестве области моделирования выбираем non-brushed date (не подкрашенные данные) (рис. 32, 33).

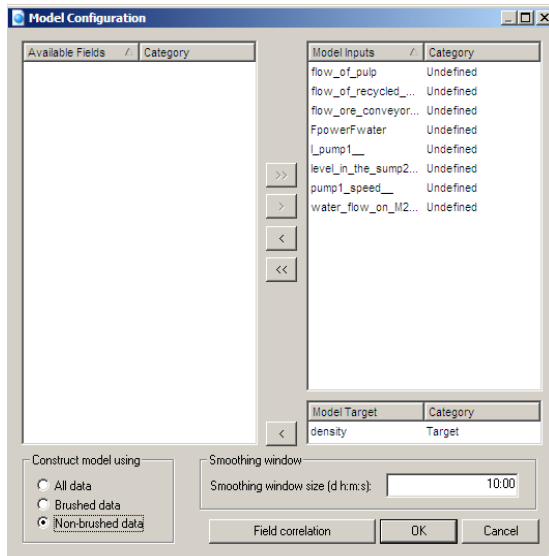


Рис. 32. Окно выбора параметров, участвующих при построении модели, и цели

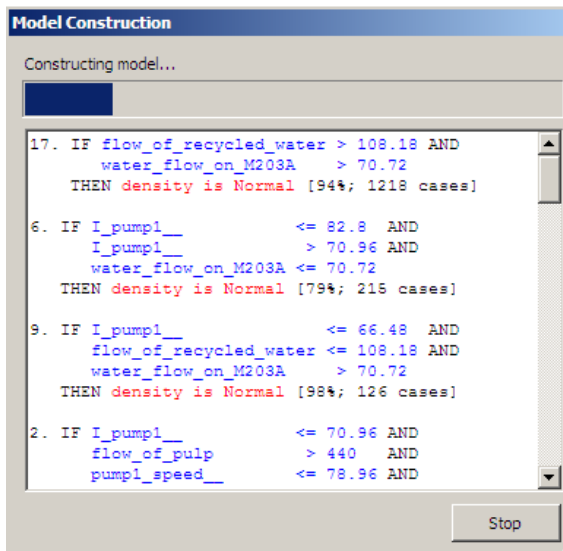


Рис. 33. Окно отображения процесса конструирования модели

3.2. Извлечение знаний.

На данном этапе просматриваем поведение выбранного целевого параметра по предложенной модели во времени и изменение сопутствующих влияющих параметров (рис. 34). Оцениваем диаграммы влияния каждого из параметров на цель управления (также на всем временном промежутке). На данном шаге возможно просмотреть правила, построенные программой и используемые для построения модели (рис. 35), зависимость между целевым параметром и входными измеряемыми параметрами (рис. 36).

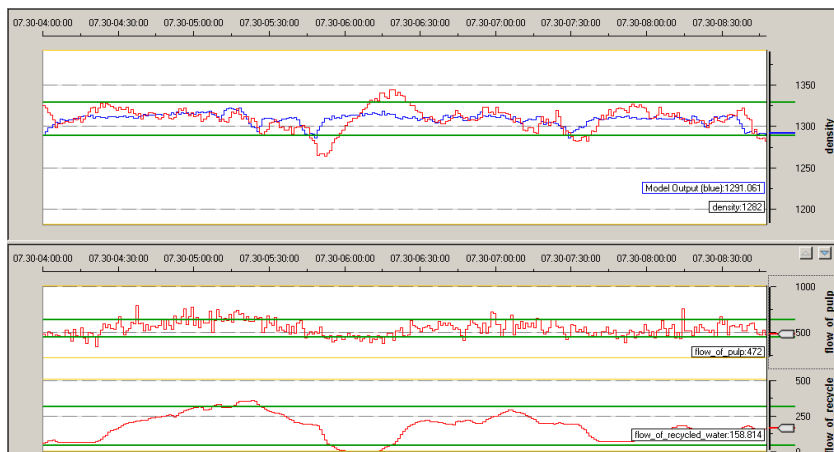


Рис. 34. Вид предложенной модели по цели управления (верхнее окно: красный тренд – исходные данные, синий тренд – построенная модель без заданной уставки на целевой выход)

```
All Rules
17. IF flow_of_recycled_water > 108.18 AND
    water_flow_on_M203A > 70.72
    THEN density is Normal [94%; 1218 cases]
6. IF I_pump1__ <= 82.8 AND
    I_pump1__ > 70.96 AND
    water_flow_on_M203A <= 70.72
    THEN density is Normal [79%; 215 cases]
```

Рис. 35. Правила (rules), выработанные программой, для построения модели и анализ выходных параметров во всем диапазоне их изменений

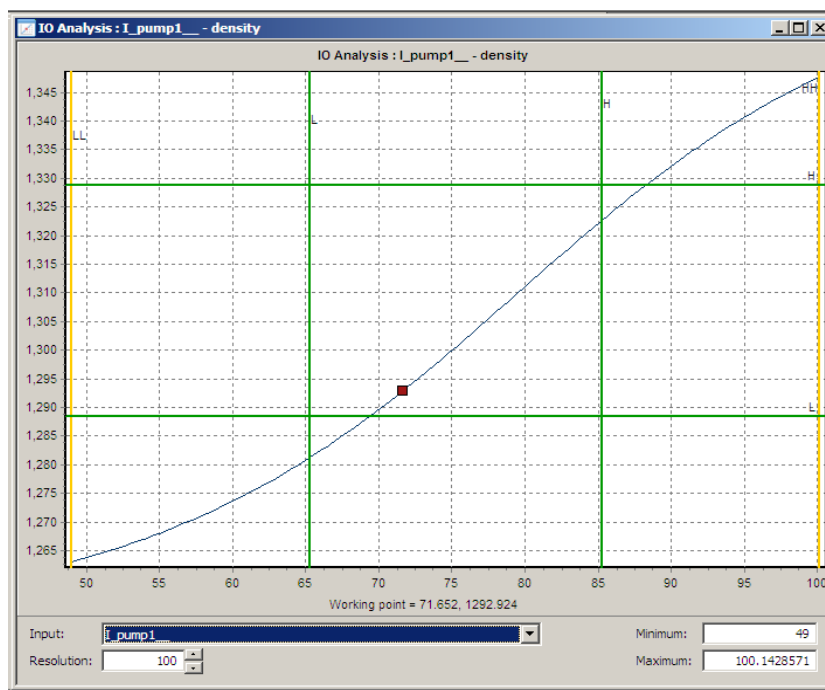


Рис. 36. Графическая зависимость между целевым параметром и каждым из входных параметров

3.3. Оценка возможностей.

На данном этапе работы необходимо выбрать управляющий/управляющие параметры с установленными для них пределами изменений, уставку по цели моделирования (значение плотности, которое необходимо держать на выходе ГЦ) и построить модель исходя из правил, прописанных программой ранее (рис. 37).

Проанализировав предыдущие шаги и технологический регламент ведения процесса, необходимо сделать вывод, что будет управляющим параметром. Пусть в примере управляющим параметром будет расход оборотной воды в зумпф.

На рис. 38 – 41 представлены результаты моделирования процесса.

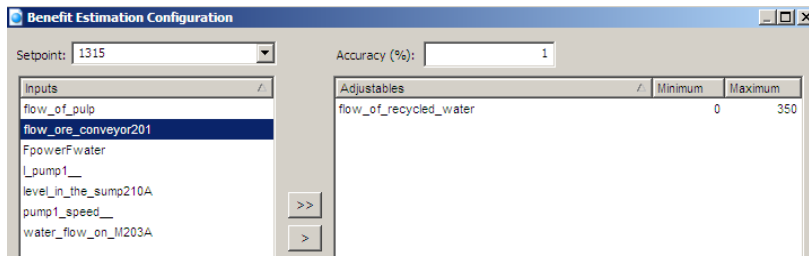


Рис. 37. Окно выбора управляемого параметра-рычага (adjustable), пределов этого рычага, уставки (1315 кг/м3) по цели-плотности и погрешности расчетов (1%)

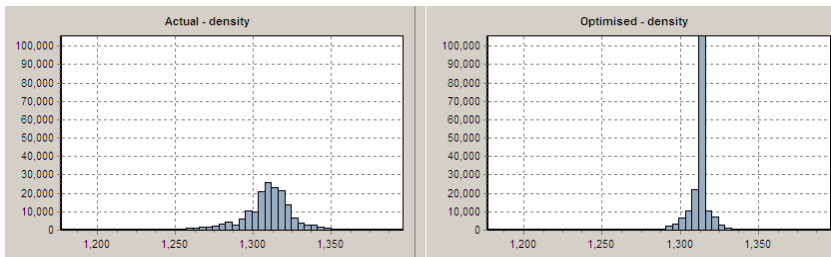


Рис. 38. Диапазон значений плотности до и после моделирования

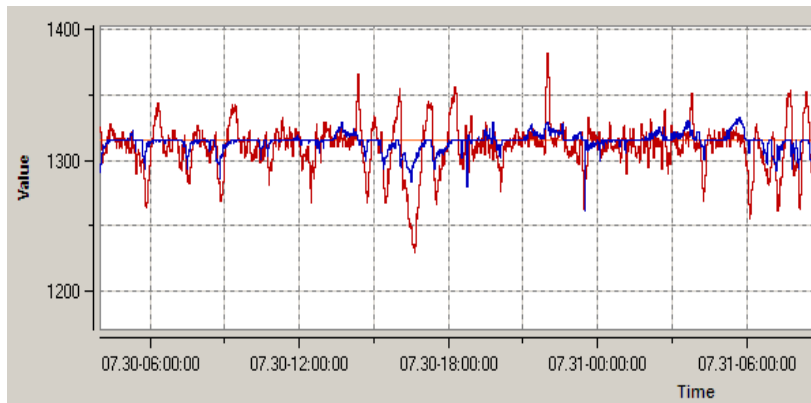


Рис. 39. Поведение плотности до и после моделирования (красный тренд - до, синий – после)

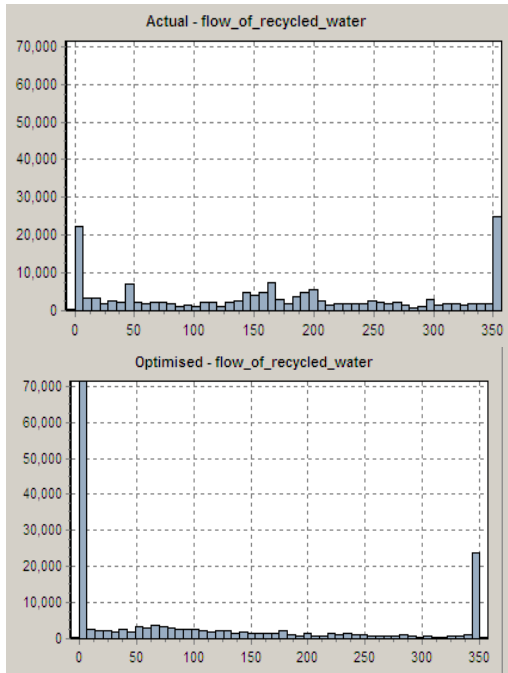


Рис.40. Диапазон изменений расхода оборотной воды до и после построения модели

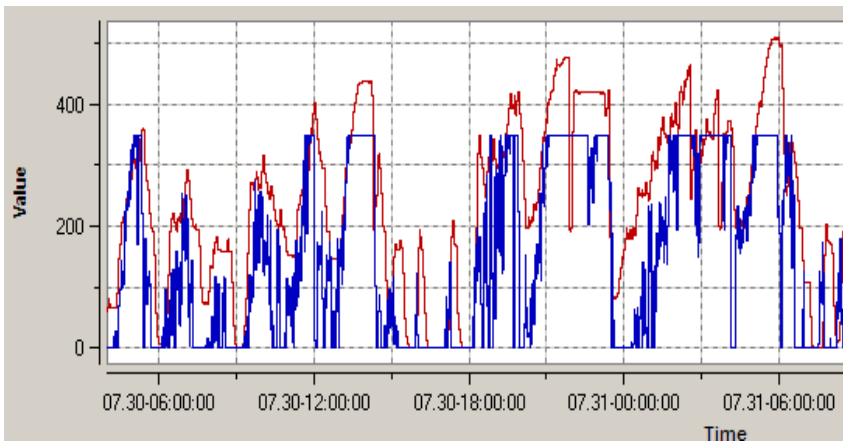


Рис. 41. Поведение модели по рычагу управления (на всем временном диапазоне)

Итог по данному этапу работы был отправлен на рассмотрение технологом ОФ, которые выразили согласие на дальнейшее изучение последующих секций. Уставка по целевому параметру и диапазоны рычагов управления заранее обговаривались с работниками предприятия.

3.4. Правила для управляющего параметра.

На следующем шаге работы, исходя из полученных знаний и наблюдений, имеется возможность заложить дополнительную логику в работу модели. На основе нейро-нечеткой логики можно добавить правила управления для управляющего/их параметров, т.е. дополнить модель дополнительными знаниями (рис. 42).

На основе архивных данных были определены для каждого параметра его предельные значения: LL, L, M, H, HH. Уровни для каждого параметра были выставлены вручную (в правой части графического экрана). В левой части экрана отображены числовые значения предельных значений по каждому параметру. В нижней части – имеется возможность написать правила управления для рычага (if (if ... and ...) ... then ...).

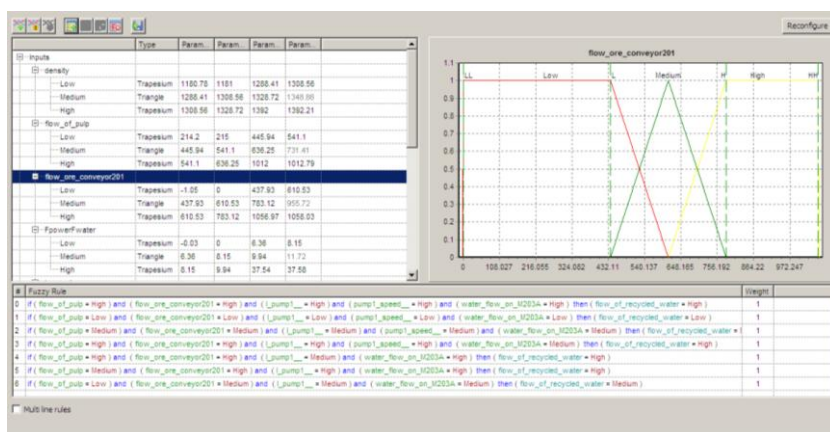


Рис. 42. Окно шага «Объединение знаний»

3.5. Экспорт готовой модели в компонент Architect.

На последнем шаге компонента Proficy Troubleshooter представлено поведение целевого параметра до и после процесса оптими-

зации, а также предоставлена возможность экспортировать модель в другой компонент Proficy Architect, который входит в тот же программный комплекс, что и Proficy Troubleshooter.

4. Содержание отчета

1. Пошаговое выполнение работы с сопутствующими скриншотами и комментариями;
2. Программный файл;
3. Выводы по проделанной работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. СИНТЕЗ БЛОЧНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

1. Цель работы – синтез блочной модели объекта управления (ОУ) с помощью программного пакета GE Proficy Csense.

2. Основные теоретические положения:

Система Proficy Cause+ позволяет инженерам производства и технологам (а также обучающимся в процессе изучения предмета) в реальном времени генерировать возможные причины отклонений в производственном процессе. Ключевые показатели производства обеспечивают операторам глубокое понимание и помощь в виде исполнительных сообщений с указаниями по коррекции.

3. Ход работы:

Экспортируем, например, модель, полученную в компоненте Proficy Troubleshooter в программный компонент Proficy Architect. Нажимаем кнопку Export Blueprint внизу экрана и указываем место хранения файлов и экспортируемой модели (рис. 43).

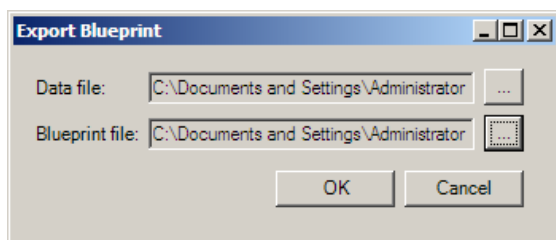


Рис. 43. Окно выбора места хранения файлов

Открываем экспортированную модель. Она представлена блоками «родной» библиотеки данного компонента. Модель можно видоизменять: добавлять/удалять/заменять блоки, обучать, соединять с блоками MatLab (рис. 44, 45).

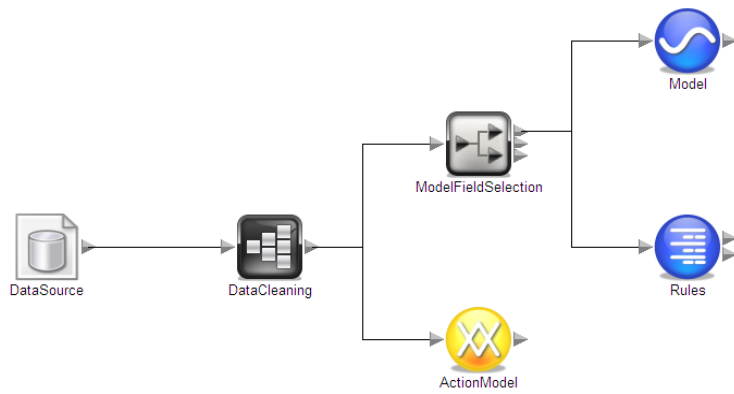


Рис. 44. Экспортированная модель

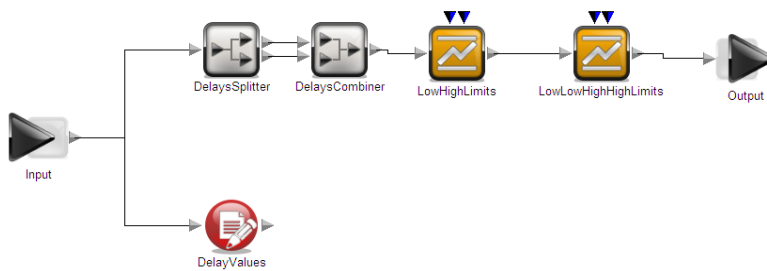


Рис. 45. Подсистема блока DataCleaning

Назначение представленных на схеме блоков:

DataSource – источник данных, представленный текстовым файлом, базой;

DataCleaning - блок основной подготовки данных для последующих манипуляций ими в блоках Model, Fuzzy logic. Блок составной;

Input, Output – блоки входа, выхода подсистемы DataCleaning;

DelaysSplitter, DelaysCombiner – блоки разделения, объединения потоков (в данном случае их можно убрать и направить поток параметров сразу в блок LowHighLimits);

LowHighLimits, LowLowHighHighLimits – блоки, которые определяют на каком уровне в данный момент находится тот или иной

входной параметр (необходимо для дальнейшей работы блока FuzzyLogics);

DelayValues – блок, который позволяет манипулировать входными полями, вводить новые поля (как внутренние или промежуточные переменные), манипулировать метку времени, к которой привязаны параметры. Язык, используемый для написания скриптов, - C# и VB;

Model – блок нелинейной модели, в котором заложена вся информация из предыдущего программного компонента по экспортируемой модели;

Rules – блок, в котором записаны все правила, по которым работает модель (также экспортированы из предыдущего программного компонента);

ActionModel – блок, отвечающий за правила управления рычагом на основе Fuzzy логики.

4. Содержание отчета

1. Пошаговое выполнение работы с сопутствующими скриншотами и комментариями;
2. Программные файлы;
3. Выводы по проделанной работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5. БЛОЧНАЯ МОДЕЛЬ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ КАК НАДСТРОЙКА НАД SCADA - СИСТЕМОЙ

1. Цель работы – настройка клиент-серверной архитектуры в программном пакете GE Proficy Csense.

2. Основные теоретические положения:

Система Proficy Cause+ содержит оффлайновый компонент, выполняющий сбор данных, подготовку данных, визуализацию, оценку запаздывания по параметрам, корреляционный анализ, а также отбор данных для определения сценария и моделирования каждого возможного отклонения. Компонент в режиме реального времени имеет специальный вид интерфейса с Proficy HMI/SCADA, позволяя использовать «интеллектуальную систему HMI/SCADA», которая дает операторам возможность улучшать качество и технологические результаты.

3. Ход работы:

Для того, чтобы оценить работу модели, необходимо запустить ее совместно со SCADA-системой, например, HMI/SCADA SIMPLICITY.

Все дальнейшие манипуляции необходимо проводить в рабочей среде оператора на экране SCADA-системы.

Далее представлен тестовый проект в HMI/SCADA SIMPLICITY, сделанный для исследуемого ОУ (рис. 46). На первом этапе синтезированную в предыдущих работах модель ОУ используем как надстройку над HMI/SCADA в режиме советчика оператору. Выставим параметры, которые характеризуют процесс, наблюдаем за изменением показателей параметров «рекомендуемого расхода рецикловой воды» и «предсказанного поведения целевого параметра» по модели. Каждый раз при изменении какого-либо из входных параметров, будет изменяться рекомендуемая уставка по управляющему параметру, а также высвечивается плотность (целевой параметр), которую возможно достичь, управляя по рекомендациям модели. Оператор же вправе принимать или не принимать совет системы.

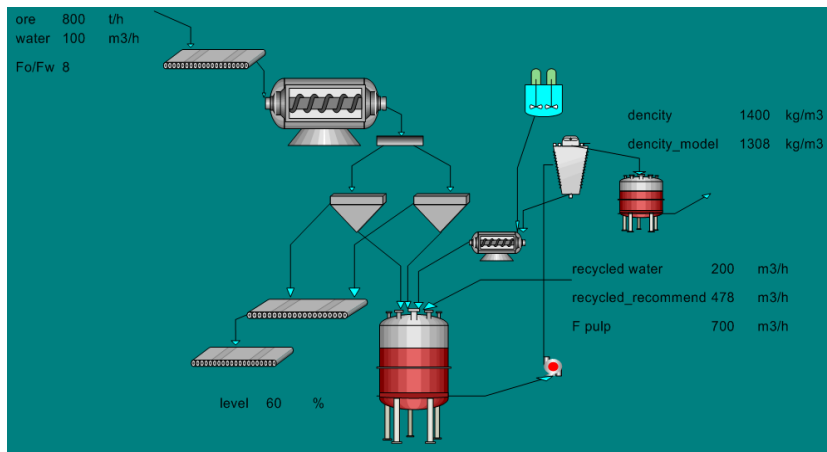


Рис. 46. Реакция модели на выставленные параметры с последующим перерасчетом рекомендуемых параметров модели

Density – плотность пульпы на выходе из гидроциклона, density model – предсказанная по модели плотность пульпы, recycled water – расход оборотной воды в зумпф, recycled_recommend – рекомендуемое значение по параметру расход оборотной воды при данных условиях, F pulp – расход пульпы в гидроциклон.

По такому принципу работает модель регулирования плотности пульпы на выходе гидроциклона секции ПСИ в режиме советчика оператора.

На следующем этапе работы полученную статистическую модель можно ставить в режиме реального времени без компонента Proficy Architect как надстройку над HMI/SCADA. Предварительно в модели необходимо настроить, чтобы выходной параметр управляющего параметра «рекомендуемый расход оборотной воды» подавался непосредственно на параметр «расход оборотной воды», чтобы в участии оператора не было необходимости. Для того, чтобы запустить модель(и) в режиме реального времени, необходимо открыть компонент Proficy Acton Object комплекса Proficy Csence (рис. 47).

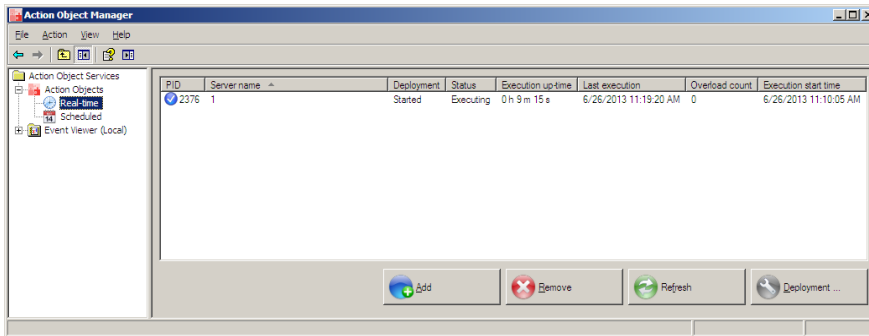


Рис. 47. Рабочая среда Proficy Acton Object

PID – Идентификатор процесса. Показывает идентификационный номер процесса в диспетчере задач.

Server name – Имя сервера. Имя Acton Object модели.

Status – Состояние. Модель может быть в режиме запуска, работы, стопа.

Execution up-time и Last execution – Исполнение во времени. Общее время исполнения. Если запуск не произошел, то будут инициализироваться в данном столбце N/A.

Overload count – Перегрузка. В данном столбце должен отображаться 0. Если же на экране другое число, значит, период считывания, который был ранее установлен в блоках Architect слишком мал, оборудование нуждается в большей возможности, в большем перерыве на считывание.

Execution start time – Время исполнения. Дата и время первого исполнения ActonObject.

Таким образом, полученную(ые) модель(и) возможно ставить в систему управления как полное функциональное звено.

4. Содержание отчета

1. Пошаговое выполнение работы с сопутствующими скриншотами и комментариями;
2. Программные файлы;
3. Выводы по проделанной работе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Бесекерский В.А.* Теория систем автоматического управления / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. М.: «Профессия», 2004. 747с.
2. *Власов К.П.* Теория автоматического управления. Учебное пособие. Х.: Изд-во Гуманитарный центр, 2007, 526 с.
3. *Гайдук, А.Р.* Теория автоматического управления в примерах и задачах с решениями в MATLAB [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.Р. Гайдук, В.Е. Беляев, Т.А. Пьявченко. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2017. <https://e.lanbook.com/book/90161>
4. *Ким, Д.П.* Теория автоматического управления: учебное пособие / Д.П. Ким. - Москва: Физматлит, 2007. - Т. 1. Линейные системы. http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=69278
5. *Медведев, А.Е.* Автоматизация производственных процессов: учеб. пособие [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.Е. Медведев, А.В. Чупин. — Электрон. дан. — Кемерово: КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2009. <https://e.lanbook.com/book/6606>
6. *Ахназарова, С.Л.* Методы оптимизации эксперимента в химической технологии: учеб. пособие для вузов / С.Л.Ахназарова, В.В.Кафаров. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1985
7. *Ким, Д.П.* Теория автоматического управления: учебное пособие / Д.П. Ким. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва: Физматлит, 2007. - Т. 2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=69280
8. *Цветкова, О.Л.* Теория автоматического управления: учебник / О.Л. Цветкова. - Москва; Берлин: Директ-Медиа, 2016 http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=443415
9. *Власов, К.П.* Методы научных исследований и организации эксперимента: Учеб. пособие / Ред. А.А. Гальнбек; С.-Петерб. гос. горн. ин-т. Каф. печей, контроля и автоматизации металлургического производства. - СПб: СПбГИ, 2000

10. *Горелов, С.В.* Основы научных исследований: учебное пособие / С.В. Горелов, В.П. Горелов, Е.А. Григорьев; под ред. В.П. Горелова. - 2-е изд., стер. - Москва; Берлин: Директ-Медиа, 2016
http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=443846
11. *Диков, А.В.* Математическое моделирование и численные методы: учебное пособие / А.В. Диков, С.В. Степанова; под ред. Г.В. Сугрובה. - Пенза: ПГПУ, 2000
http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=96973
12. *Клинов, А.В.* Математическое моделирование химико-технологических процессов: учебное пособие / А.В. Клинов, А.Г. Мухаметзянова; Федеральное агентство по образованию, Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Казанский государственный технологический университет". - Казань: Казанский государственный технологический университет, 2009
http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=270540
13. Планирование и организация эксперимента [Электронный ресурс]: практикум / Новосиб. гос. аграр. ун-т. Биолого-технолог. фак; сост. И.А. Ленивкина. - Новосибирск, 2012
<http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=516007>
14. Планирование научного эксперимента: Учебник/В.А.Волосухин, А.И.Тищенко, 2-е изд. - М.: ИЦ РИОР, НИЦ ИНФРА-М, 2016
<http://znanium.com/bookread2.php?book=516516>
15. *Музипов, Х.Н.* Автоматизированное проектирование средств и систем управления [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Х.Н. Музипов, О.Н. Кузяков. - Электрон. дан. - Тюмень: ТюмГНГУ, 2011 <https://e.lanbook.com/book/28311>
16. Основы автоматизированного проектирования: Учебник/Под ред. А.П.Карпенко - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015
<http://znanium.com/bookread2.php?book=477218>
17. *Пакулин, В.Н.* Проектирование в AutoCAD / В.Н. Пакулин. - 2-е изд., испр. - Москва: Национальный Открытый Университет «ИНТУИТ», 2016
<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=429117>

18. *Федоров Ю.Н.* Основы построения АСУТП взрывоопасных производств В 2-х томах. Т.1 «Методология». М.: СИНТЕГ, 2006, 720 с.

<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=466779>.

19. *Федоров Ю.Н.* Основы построения АСУТП взрывоопасных производств В 2-х томах. Т. 2 «Проектирование». М.: СИНТЕГ, 2006, 632 с., ил. (Серия «Автоматизация технологических процессов») <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=466779>.

20. *Латышенко К.П.* Технические измерения и приборы. Часть I [Электронный ресурс]: Учебное пособие/ Латышенко К.П. – Электрон. текстовые данные. – Саратов: Вузовское образование, 2013. – 480 с. <http://www.bibliocomplectator.ru/book/?id=20403>.

21. *Латышенко К.П.* Технические измерения и приборы. Часть II [Электронный ресурс]: Учебное пособие/ Латышенко К.П.— Электрон. текстовые данные. – Саратов: Вузовское образование, 2013. – 515 с

<http://www.bibliocomplectator.ru/book/?id=20404>.

22. Технические средства автоматизации и управления: учебное пособие/ В.В. Тугов, А.И. Сергеев, Д.А. Проскурин, А.Л. Коннов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Оренбургский Государственный Университет, Кафедра управления и информатики в технических системах, Кафедра систем автоматизации производства. – Оренбург: ОГУ, 2016. - Ч. 1. Контрольно-измерительные средства систем автоматизации и управления. – 110 с.

<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=469723>

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ В МЕТАЛЛУРГИИ**
**ИНФОРМАЦИОННЫЙ ОБМЕН МЕЖДУ АСУТП И
СМЕЖНЫМИ СИСТЕМАМИ**

*Методические указания к лабораторным работам
для студентов бакалавриата направления 15.03.04*

Сост.: *Э.Р. Федорова, А.В. Бойков*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой
автоматизации технологических процессов и производств

Ответственный за выпуск *Э.Р. Федорова*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 25.05.2022. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 2,8. Усл.кр.-отт. 2,8. Уч.-изд.л. 2,5. Тираж 50 экз. Заказ 309.

Санкт-Петербургский горный университет
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2