

**Министерство образования Украины
Государственная горная академия Украины**

На правах рукописи

РОМАШКО Людмила Ильинична

**СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ
НАГРУЗКАМИ ОТСАДОЧНЫХ МАШИН**

Специальность 05.13.07 - "Автоматизация технологических
процессов и производств (промышленность)"

Автореферат

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Целью исследования является разработка автоматической системы управления нагрузками отсадочных машин во взрывоопасной среде, предотвращающей повреждение оборудования и повышение безопасности процесса обогащения угля. Исследования выполнены в соответствии с комплексной программой модернизации угольной промышленности Украины и в рамках программы "Инициатива развития автоматизации производственных процессов" по результатам НИР с ВБАН Гитрол (тем. № 43331) и ВКХЗ (тем. № 03041).

Цель работы: разработка автоматической системы управления нагрузками отсадочных машин во взрывоопасной среде, предотвращающей повреждение оборудования и повышение безопасности процесса обогащения угля.

Днепропетровск - 1996

281.5



00754295 (W)

Диссертация является рукописью.

Работа выполнена на кафедре управления в технических системах Государственной горной академии Украины.

Научный руководитель:

- кандидат технических наук, доцент Анатолий Иванович ЛАЗОРИН.

Официальные оппоненты:

- доктор технических наук, профессор Константин Петрович ВЛАСОВ;
- кандидат технических наук, ст.научн.сотр. Николай Моисеевич ТРИПУТЕНЬ.

Ведущее предприятие:

- АО Научно-исследовательский институт автоматизации черной металлургии.

Защита состоится "29" МАРТА 1996 г. в 14 час. 00 мин. на заседании специализированного совета Д 03.06.06 по защите диссертаций при Государственной горной академии Украины: 320027, г.Днепропетровск, проспект Карла Маркса, 19.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственной горной академии Украины.

Автореферат разослан "28" февраля 1996 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
канд. техн. наук, доцент

В.Т.ЗАЙКА

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Процесс гидравлической отсадки угля как в нашей стране, так и за рубежом играет важную роль среди процессов углеобогащения. Во Франции, Германии и Японии процессу отсадки подвергается 80 % угля, на Украине - более 60 %. В настоящее время одним из путей повышения эффективности процессов отсадки является его автоматизация.

При проектировании углеобогатительных фабрик (УОФ) учитывается возможность увеличения нагрузки отсадочных машин на 15 % в периоды резких изменений характеристик исходного угля (нагрузка фабрики по исходному углю, фракционный и гранулометрический составы), которые изменяются случайным образом и оказывают значительное влияние на качественно-количественные показатели процесса обогащения. Стабилизация этих характеристик, особенно нагрузки, которые для процесса отсадки можно рассматривать как внешние возмущающие воздействия, позволяет повысить эффективность процесса.

Колебания нагрузки отсадочных машин тем значительнее, чем большее число шахт или пластов составляют питание фабрики. Поэтому в качестве объекта исследования выбран Ясиновский коксохимический завод (ЯКХЗ), имеющий самую крупную УОФ Украины с типовой технологической схемой.

Существующие системы нижнего уровня управления ограничиваются стабилизацией уровня постели отсадочных машин и ее разрыхленности. Известная система стабилизации нагрузки В.В.Бриллиантова за счет изменения производительности промежуточного бункера учитывает лишь изменение фракционного состава и не позволяет стабилизировать нагрузку отсадочных машин на УОФ с типовой технологической схемой, включающей отсадочные машины крупного и мелкого угля. С внедрением на фабриках гидрогрохотов появилась принципиальная возможность рассмотреть расход воды на гидрогрохочение в качестве управляющего воздействия для управления нагрузками отсадочных машин.

Поэтому определение закономерности формирования нагрузок отсадочных машин по породе, зависящих от изменений расхода воды на гидрогрохочение и производительности фабрики по исходному углю, обоснование способа раздельного управления нагрузками отсадочных машин по породе, разработка математических моделей системы автоматического управления (САУ) и алгоритмов управления, осуществление практической реализации разработанной системы, что позволит обеспечить увеличение производительности отсадочных машин и уменьшение потерь легких фракций с породой, является актуальной задачей.

Исследования выполнены в соответствии с комплексной программой модернизации угольной промышленности "Уголь" и ее подпрограммой "Компьютеризация и автоматизация производственных процессов" по результатам НИР с КБАиМ Гипрококса (тема N 030931), с ЯКХЗ (тема N 030941).

Цель работы: разработка системы автоматического управления нагрузками отсадочных машин по породе, позволяющей увеличить производительность отсадочных машин и уменьшить потери легких фракций с породой.

Идея работы заключается в использовании расхода воды на гидрогрохочение в качестве управляющего воздействия, позволяющего совместно с изменением производительности фабрики по исходному углю реализовать раздельное управление нагрузками отсадочных машин по породе и осуществить синтез многосвязной САУ, которая обеспечивает увеличение производительности машин, уменьшение потерь легких фракций с отходами, кроме того уменьшение дисперсии выхода породы отсадочных машин.

Научная задача состоит в исследовании поставок рядовых углей на УОФ и колебаний качественно-количественных характеристик угля, в выявлении управляющих воздействий объекта управления, в установлении закономерностей формирования нагрузок отсадочных машин гравитационного отделения УОФ, зависящих от изменений расхода воды на гидрогрохочение и производительности фабрики по исходному углю, в моделировании, обосновании структуры и синтезе многосвязной САУ.

Защищаемые научные положения и результаты, их новизна.

Положения:

1. Установлено, что эффективное управление нагрузками отсадочных машин при изменении общей нагрузки фабрики, фракционного и гранулометрического составов рядового угля достигается совместным изменением расхода воды на гидрогрохочение и производительности фабрики по исходному углю.

2. Установлены аналитические зависимости нагрузки отсадочных машин по породе, изменения которой вызывают потери легких фракций с породой, от изменения производительности фабрики по исходному углю и расхода воды на гидрогрохочение, которые положены в основу создания САУ.

Результаты:

1. Предложен и обоснован способ управления нагрузками отсадочных машин крупного и мелкого угля, отличающийся тем, что в процессе управления стабилизацию нагрузок по породе обеспечивают путем изменения производительности углеобогатительной фабрики по исходному углю и расхода воды на гидрогрохочение.

2. На основе анализа структуры и исследования динамических характеристик каналов управления отсадочных машин мелкого и крупного угля определена структурная схема многосвязной системы управления нагрузками, отличающаяся от известных наличием двух взаимосвязанных управляемых величин.

3. Осуществлен синтез системы, разработаны модели САУ и алгоритмы управления, реализующие предложенный способ и обеспечивающие выполнение условий автономности контуров управления.

4. Экспериментальная проверка в условиях УОФ ЯКХЗ показала, что САУ нагрузками отсадочных машин по породе позволяет увеличить производительность отсадочных машин на 4,5 т/ч, уменьшить потери легких фракций с породой отсадочной машины мелкого угля на 0,61 т/ч, отсадочной машины крупного угля на 0,15 т/ч.

Обоснованность и достоверность научных положений и результатов обеспечены применением апробированных методов анализа кинетики отсадки и грохочения,

корреляционного и регрессионного анализа при обработке результатов экспериментальных исследований, теорий автоматического управления, дифференциальных уравнений и инвариантности; достаточным объемом экспериментальных данных, полученных в промышленных условиях; подтверждается адекватностью разработанных моделей процессу отсадки, положительными результатами испытаний в промышленных условиях, апробацией работы на научных конференциях.

Научное значение работы заключается в установлении закономерностей формирования нагрузок отсадочных машин, в использовании расхода воды на гидрогрохочение и изменения производительности фабрики в качестве управляющих воздействий, в обосновании способа раздельного управления нагрузками отсадочных машин по породе, в разработке математических моделей САУ и алгоритмов управления, в синтезе системы, в осуществлении практической реализации разработанной САУ, что позволяет обеспечить увеличение производительности отсадочных машин и уменьшение потерь легких фракций с породой.

Практическая ценность работы. Исследования, выполненные в диссертации, явились основой для разработки способа и САУ нагрузками отсадочных машин, основанных на изменении расхода воды на гидрогрохочение и производительности фабрики по исходному углю, установлении рациональных удельных нагрузок осадочных машин по породе. Внедрение предложенной системы управления на УОФ ЯКХЗ обеспечивает годовой экономический эффект 20 млрд.крб. (в ценах 1995 г.).

Реализация результатов работы. Разработанная САУ нагрузками отсадочных машин, включающая математические модели объекта и алгоритмы управления, используется ЯКХЗ и Днепродзержинским КХЗ (ДКХЗ), Харьковским институтом "Южгипрошахт" при проектировании систем автоматического управления.

Апробация работы: Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на 7 конференциях: научно-технической конференции "Системный анализ в обогащении полезных ископаемых" (Свердловск, 1989), Всесоюзной научно-технической конференции "Система "человек - машина - среда" в горном деле. Настоящее и будущее" (Москва, 1990), научно-технической конференции "Техника и технология горного производства" (Днепропетровск, 1990), Всесоюзной научно-технической конференции "Новые организационные структуры в экономике" (Ялта, 1991), Всесоюзной научно-технической конференции "Системный подход в горном деле. Проблемы, теория, методы" (Москва, 1991), Всесоюзной конференции "Добыча и обогащение комплексных руд" (Апатиты, 1991), 1-ой Украинской конференции по автоматическому управлению "Автоматика-94" (Киев, 1994).

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 11 работ.

Структура и объем работы. Содержание диссертационной работы (введение, четыре главы, заключение) изложено на 189 страницах машинописного текста и сопровождается 47 рисунками, 15 таблицами, списком литературы из 100 наименований и 5 приложениями.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава посвящена анализу современного состояния автоматизации процесса обогащения угля отсадкой, рассмотрению этого процесса как объекта управления с двумя взаимозависимыми управляемыми величинами и анализу методов исследования многосвязных систем.

Характерной особенностью процессов углеобогащения и, в частности, отсадки, с точки зрения автоматизации, является стохастичность характеристик исходного угля, массовость процесса разделения. Изучение перечисленных особенностей объекта приводит к различным подходам в построении систем управления. Значительный вклад в теорию и практику отсадки внесли исследования, проведенные В.В.Бриллиантовым, Н.Н.Виноградовым, К.П.Власовым, Л.Р.Лехциером, Л.Г.Мелькумовым, Э.Э.Рафалес-Ламарка, Н.А.Самылиным, О.Н.Тихоновым, В.А.Ульшиным и др.

Большинство работ по управлению отсадочными машинами посвящено вопросам оптимизации при условии стабильности нагрузки, что практически почти не выполнимо. Создание САУ отсадочными машинами оказывается не достаточно эффективным без стабилизации их нагрузки.

Известные рекомендации по рациональным, соответствующим наибольшей эффективности расслоения угля на фракции, нагрузкам отсадочных машин не выдерживаются, а поддерживать их существующими системами стабилизации уровня постели отсадочных машин и ее разрыхленности не представляется возможным.

На основании проведенного анализа и в соответствии с поставленной целью в работе определены следующие основные задачи исследования:

1. Исследовать поставки рядовых углей на фабрику; оценить колебания качественно-количественных характеристик рядового угля и их влияние на зольность концентрата.
2. Установить рациональные удельные нагрузки отсадочных машин, соответствующие наибольшей эффективности расслоения угля на фракции.
3. Обосновать способ управления нагрузками отсадочных машин, обеспечивающий поддержание рациональных удельных нагрузок в заданном диапазоне.
4. Осуществить синтез многосвязной САУ нагрузками отсадочных машин и ее практическую реализацию.

Во второй главе в результате экспериментальных исследования определено, что основным источником возмущения является неравномерность поставок углей на фабрику и их качественно-количественные показатели. Исследования неравномерности поставок показали значительный разброс вариантов обогащаемых шихт (5-10 в неделю). Получены статистические закономерности поставок углей на УОФ.

Осуществлена количественная оценка статистических характеристик угля (табл.1). Доверительность полученных результатов всех показателей проверена с 95%-ной надежностью. Экспериментальные исследования показали, что максимальные колебания нагрузок отсадочных машин крупного и мелкого угля по породе равны 32,5 т/ч и 20 т/ч соответствен-

но и составляют в относительных единицах 32,5 % и 13,4 % к номинальной нагрузке отсадочных машин по породе, что значительно превышает допустимые 4-5 %.

За счет колебаний нагрузки засорения породы легкими фракциями более чем в 3 раза превосходят допустимые, так как превышают 6 %, что за одну смену составляет около 7 тонн полезного продукта. Все это приводит к безвозвратным потерям концентрата с породой.

Таблица 1

Статистические показатели фракционного
состава шихты Ясиновского КХЗ

Марка углей	Класс крупности	Плотность фракций ρ , кг/м ³	Математическое ожидание выхода m , %	Среднеквадратическое отклонение выхода σ , %	Математическое ожидание зольности m_A^d , %	Среднеквадратическое отклонение зольности σ_A^d , %
Хорошо-спекающиеся угли,	-100+25	-1500	3.33	4.91	5.33	0.61
		1500-1800	0.51	1.43	32.54	1.62
		+1800	5.92	5.43	79.72	4.89
		в сумме	9.76	2.71	51.91	4.93
К+Ж	-25+1	-1500	16.15	3.74	5.43	0.57
		1500-1800	1.20	0.38	37.20	3.15
		+1800	6.35	5.16	79.72	4.87
		в сумме	23.70	2.48	26.92	2.16
	-1		18.25	2.11	16.94	2.14
Слабо спекающиеся угли,	-100+13	-1500	6.76	2.65	6.14	0.68
		1500-1800	0.52	0.64	41.93	1.89
		+1800	3.92	4.64	81.47	2.27
		в сумме	11.20	1.02	34.19	2.20
Г+ОС+Т	-13+1	-1500	18.95	3.58	5.25	0.70
		1500-1800	1.09	0.24	38.49	1.03
		+1800	5.74	3.62	80.00	4.45
		в сумме	25.78	2.62	23.29	1.16
	-1		11.36	1.04	24.03	0.93

На основе анализа известных математических моделей процесса отсадки показано, что для исследования отсадочных машин наиболее приемлем разработанный метод остаточного регрессионного анализа, с помощью которого получена логическая схема построения модели. Построенные нелинейные математические модели, адекватность которых процессу отсадки проверена по критерию Фишера, а значимость их коэффициентов по критерию Стьюдента, подтверждают, что нагрузка по породной фракции является возмущающим воздействием.

Проведенные автором исследования показали, что интенсивности входных потоков угля на УОФ не подчиняются нормальному закону распределения, качественно-количественные характеристики углей имеют значительный разброс с течением времени, нагрузка отсадочных машин на протяжении их работы нестабильна, особенно по породе. Это приводит к тому, что отсадочные машины работают в режимах, которые не обеспечивают рекомендуемой эффективности разделения продуктов по плотностям, т.е. не в рациональных. Показано, что для улучшения качественно-количественных показателей процесса отсадки целесообразно стабилизировать нагрузки отсадочных машин по породе в рациональном диапазоне, соответствующем наибольшей эффективности расслоения угля на фракции.

В третьей главе обоснован предложенный способ управления нагрузками отсадочных машин по породе для типовой технологической схемы, когда обогащение угля крупного класса и мелкого происходит раздельно.

На основе закономерностей кинетики расслоения зерен в отсадочной машине с учетом нелинейности процессов определен выход породы по уравнению:

$$\gamma_n = \frac{F_u}{F_n - F_u} \eta \left(1 - \frac{k}{e^{kt} (k - bF_u) + bF_u} \right), \quad (1)$$

где γ_n - выход породы, %; F_u и F_n - содержание породных фракций в исходном угле и в породе, %; η - коэффициент, учитывающий эффективность расслоения угля при принятом режиме работы отсадочной машины (амплитуда и частота пульсаций, расход подрешетной воды и т.д.), %; t - время разделения, с; k - удельная скорость выделения породы, c^{-1} ; b - коэффициент, c^{-1} .

На основании экспериментальных данных по выражению (1) аналитически определено, что рациональные удельные нагрузки отсадочной машины крупного угля по породе лежат в диапазоне 9-11 т/м²ч, а мелкого угля 8-10 т/м²ч.

На рис.1а представлены статические характеристики по первому контуру управления: производительность фабрики по исходному углю - удельная нагрузка отсадочных машин по породе.

Экспериментально установлено, что при использовании для классификации на УОФ гидрогрохотов с неподвижной просеивающей поверхностью эффективным управляющим воздействием для регулирования нагрузок отсадочных машин является расход воды на гидрогрохочение.

С точки зрения эффективности грохочения определена область оптимального расхода воды - $qv=1.50-1.80$ м³/т для удельной нагрузки твердого на грохот $q_r=100-130$ т/м²ч.

Для анализа процесса грохочения исследовалась зависимость расхода воды от удельной нагрузки твердого

$$q_v = 9 \left(\frac{q_r}{\rho \sqrt{g\delta}} \right)^{0.87} \left(\frac{L\delta}{d_{cp}^2 \cos \alpha} \right)^{-0.07} \left(\frac{v_H^2}{g\delta} \right)^{-0.27} \sin \alpha c, \quad (2)$$

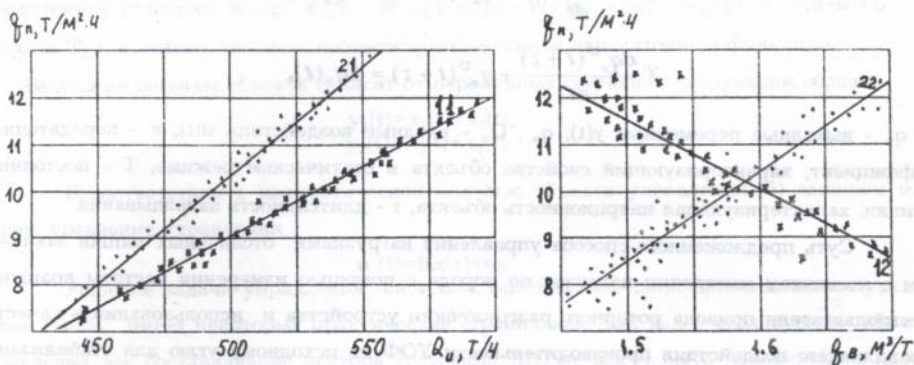


Рис.1. Статические характеристики по каналам:

а) $Q_u - q_n^{+25}$ (11);
 $Q_u - q_n^{1-25}$ (21);

б) $q_n - q_{+1.8}^{+25}$ (12);
 $q_n - q_{+1.8}^{1-25}$ (22).

полученная на основе предложенного Г.В.Жовтюком определения энтропийной эффективности грохочения. Зависимость верна при следующих ограничениях параметров: $15^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$ - угол наклона просеивающей поверхности, $25^\circ \leq \alpha_c \leq 50^\circ$ - угол наклона струи к просеивающей поверхности, $1300 \leq \rho \leq 1800 \text{ кг/м}^3$ - плотность грохотимого угля, $0.005 \leq \delta \leq 0.015 \text{ м}$ - размер отверстий просеивающей поверхности, $3 \leq V_n \leq 9 \text{ м/с}$ - начальная скорость поступления угля, $2 \leq L \leq 5 \text{ м}$ - длина просеивающей поверхности. В области управления взаимосвязь технологических переменных линейна.

С помощью энтропийного метода определены связи между расходом воды и выходами надрешетного и подрешетного продуктов в установившемся режиме, позволившие определить значения задающих воздействий, и получены статические характеристики по второму контуру управления: удельный расход воды - удельная нагрузка отсадочных машин по породе (q_n , $\text{т/м}^2\cdot\text{ч}$), представленные на рис.1.б.

В соответствии с методикой обработки экспериментальных данных Б.А.Арефьева выполнена идентификация математической модели объекта управления. Анализировались усредненные переходные характеристики по каждому каналу управления. Установлено, что инерционность канала при управлении нагрузкой отсадочной машины производительностью питателей бункеров составляет 95 с, а расходом воды - 42 с, поэтому нагрузку по породе отсадочной машины мелкого угля, оказывающую наиболее сильное влияние на процесс обогащения, необходимо регулировать по менее инерционному каналу. Так как доверительные интервалы постоянной времени для кривых разгона малы, то на этапе разработки системы управления динамические характеристики объекта по основным каналам управления можно удовлетворительно описать дифференциальными уравнениями первого порядка с запаздыванием

$$T \frac{dq_n^{+25}(t+\tau)}{dt} + q_n^{+25}(t+\tau) = kQ_u(t); \quad (3)$$

$$T \frac{dq_n^{-25}(t+\tau)}{dt} + q_n^{-25}(t+\tau) = kq_B(t),$$

где q_n - выходные переменные $y(t)$; q_B , Q_u - входные воздействия $u(t)$, k - передаточный коэффициент, характеризующий свойства объекта в статическом режиме, T - постоянная времени, характеризующая инерционность объекта, τ - длительность запаздывания.

Суть предложенного способа управления нагрузками отсадочных машин заключается в косвенном измерении нагрузок по породе с помощью измерения частоты вращения электродвигателя привода роторного разгрузочного устройства и использовании в качестве управляющего воздействия производительности УОФ по исходному углу для стабилизации нагрузки отсадочной машины крупного угля по породе, а расхода воды на гидропрохочение для нагрузки отсадочной машины мелкого угля по породе.

В четвертой главе разработаны 2 варианта САУ нагрузками отсадочных машин по породе на основе метода аналитического конструирования оптимального регулятора и теории инвариантности. Для объекта, описываемого линейными дифференциальными уравнениями (3), требуется, управляя количеством исходного угля на фабрике ($u_1=Q_u$), стабилизировать нагрузку отсадочной машины крупного угля ($y_1=q_n^{+25}$), а, управляя количеством воды на гидропрохочение ($u_2=q_B$), стабилизировать нагрузку отсадочной машины мелкого угля ($y_2=q_n^{-25}$).

На основании представления чистого запаздывания уравнений (3) в виде степенного ряда Пада с обоснованным оставлением двух членов запишем уравнения состояния объекта управления

$$\left\{ \begin{aligned} x_1(p) &= \frac{k_{11}(1 - \frac{\tau_{11}}{2} p)}{(T_{11}p + 1)(1 + \frac{\tau_{11}}{2} p)} u_1(p), \\ x_2(p) &= \frac{k_{12}(1 - \frac{\tau_{12}}{2} p)}{(T_{12}p + 1)(1 + \frac{\tau_{12}}{2} p)} u_2(p), \\ x_3(p) &= \frac{k_{21}(1 - \frac{\tau_{21}}{2} p)}{(T_{21}p + 1)(1 + \frac{\tau_{21}}{2} p)} u_1(p), \\ x_4(p) &= \frac{k_{22}(1 - \frac{\tau_{22}}{2} p)}{(T_{22}p + 1)(1 + \frac{\tau_{22}}{2} p)} u_2(p), \end{aligned} \right. \quad (4)$$

Здесь $x_1(p)$ - переменные состояния объекта по каналу управления, аппроксимируемого передаточной функцией $W_{11}(p)$; $x_2(p)$ - $W_{12}(p)$; $x_3(p)$ - $W_{21}(p)$; $x_4(p)$ - $W_{22}(p)$; p - оператор Лапласа. T , τ , k имеют индексы, соответствующие своим передаточным функциям.

Выходные сигналы объекта зависят от переменных состояния следующим образом

$$\begin{aligned} y_1(t) &= x_1(t) + x_2(t); \\ y_2(t) &= x_3(t) + x_4(t). \end{aligned} \quad (5)$$

В соответствии с математической моделью объекта управления (5) запишем матричное уравнение управления

$$\dot{\mathbf{u}}(t) = \mathbf{K}\mathbf{x}(t) + \mathbf{u}_0. \quad (6)$$

Решение задачи управления системой, описываемой дифференциальными уравнениями (4)-(5), имеет некоторые практические ограничения. Так как в исследуемом объекте управления все составляющие вектора состояния $\mathbf{X}(t)$ не могут быть измерены, то параллельно объекту включена модель, имеющая такую же структуру. Сигнал коррекции состояния формируется путем введения обратной связи по сигналу ошибки между выходными координатами модели и объекта, умноженному на матрицу наблюдателя. В работе осуществлен синтез системы на основе методики аналитического конструирования оптимальных регуляторов Р. Калмана.

В результате решения уравнения Риккати в обратном направлении от t_f к t_0 получены оптимальные значения коэффициентов регулятора

$$\mathbf{K} = -\mathbf{R}^{-1}\mathbf{B}^T\mathbf{P} = \begin{bmatrix} -4.471 & -0.040 & 0.005 & -0.001 & 0.013 & -0.015 & 0 & 0 \\ -8.942 & -0.020 & 0.002 & -0.001 & 0.006 & -0.007 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (7)$$

где \mathbf{P} - установившееся решение матричного уравнения Риккати

$$\dot{\mathbf{P}}(t) = -\mathbf{P}(t)\mathbf{A} - \mathbf{A}^T\mathbf{P}(t) + \mathbf{P}(t)\mathbf{B}\mathbf{R}^{-1}\mathbf{B}^T\mathbf{P}(t) - \mathbf{Q}; \quad t_0, t_f - \text{пределы интегрирования, определяемые граничными значениями вектора состояния; } \mathbf{A}, \mathbf{B} - \text{матрицы объекта управления; } \mathbf{R} - \text{весовая положительно определенная матрица; } \mathbf{Q} - \text{диагональная положительно полуопределенная матрица.}$$

Найденные значения коэффициентов (7) позволяют получить управление (6) по замкнутому контуру, которое обеспечивает стабилизацию выходных переменных q_i^{+25} и q_a^{-25} путем целенаправленного изменения управляющих переменных Q_u, Q_v .

Система, основанная на методе аналитического конструирования оптимального регулятора, включающая математические модели, принята к использованию на УОФ ДКХЗ.

Для практической реализации САУ на УОФ ЯКХЗ в работе рассмотрен классический подход, на основе которого синтез многосвязной системы осуществляется по каждому из основных каналов управления отдельно, а инвариантность обеспечивается введением корректирующих устройств.

На основе анализа структуры замкнутой системы управления, являющейся двухконтурной с существенными перекрестными связями, и исследования динамических характеристик каналов управления определена структурная схема многосвязной

САУ нагрузками отсадочных машин по породе (рис.2). Здесь λ_1, λ_2 - сигнал, задающий требуемую величину нагрузки отсадочных машин крупного и мелкого угля по

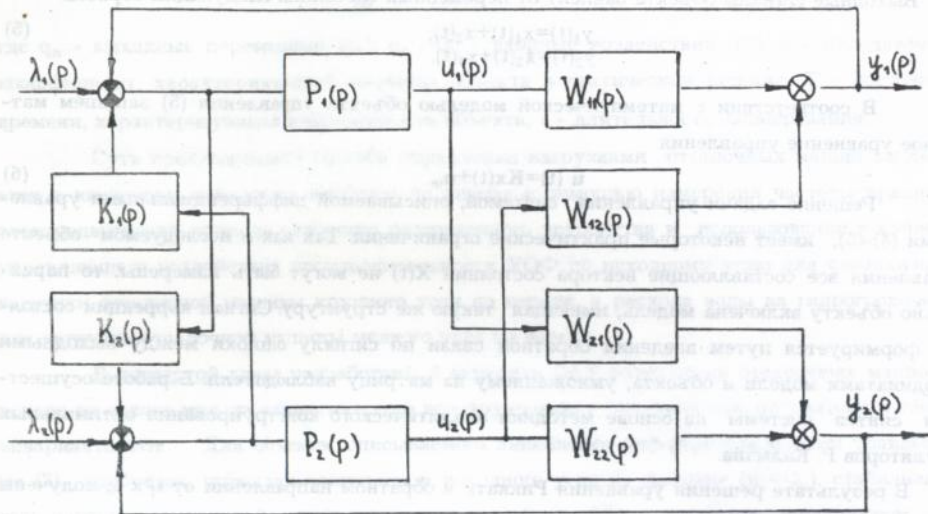


Рис.2. Структурная схема многосвязной САУ нагрузками отсадочных машин.

породе соответственно. При этом номинальным входным сигналам $\lambda_1(p), \lambda_2(p)$ соответствуют номинальные выходные нагрузки отсадочных машин по породе $y_1(p)$ и $y_2(p)$.

С помощью М-критерия определены численные значения параметров пропорционально-интегральных регуляторов основных каналов управления $P_1(p) = k_1^p + k_1^i / p$;

$P_2(p) = k_2^p + k_2^i / p$. Произведено моделирование переходных процессов этих каналов управления. В работе получены аналитические выражения для передаточных функций корректирующих устройств K_1 и K_2 , обеспечивающих выполнение условия полной инвариантности:

$$K_1(p) = -\frac{P_2(p)W_{21}(p)}{P_1(p)W_{11}(p)}; \quad (8)$$

$$K_2(p) = -\frac{P_1(p)W_{12}(p)}{P_2(p)W_{22}(p)}. \quad (9)$$

Для получения кривых переходных процессов регулируемых величин y_1, y_2 многосвязной САУ, построена математическая модель. Разработанная математическая модель системы позволила сравнить результаты работы САУ с корректирующими устройствами (рис.3.б) и без них (рис.3.а) при подаче единичного ступенчатого воздействия λ_1 (левые рисунки) и λ_2 (правые рисунки).

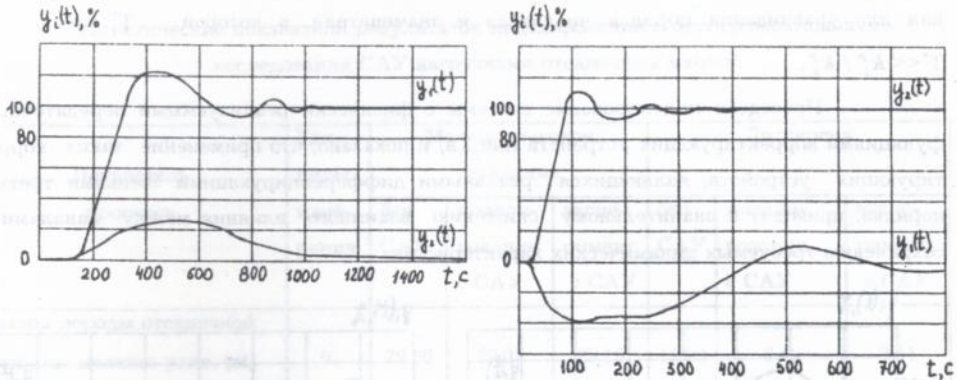


Рис.3а. Переходные процессы в САУ нагрузками отсадочных машин по породе без выполнения условий автономности контуров управления.

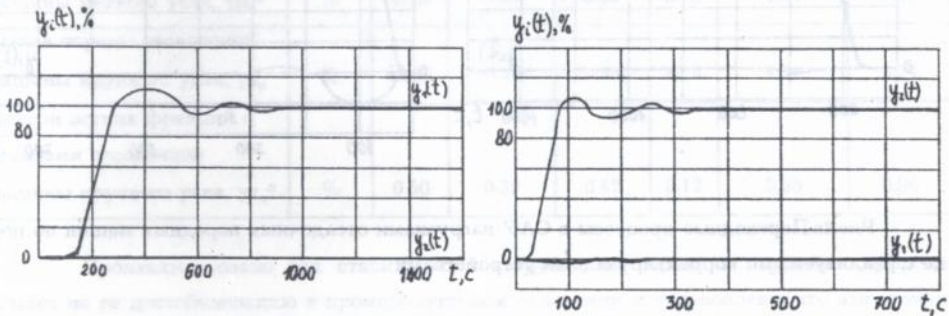


Рис.3б. Переходные процессы в САУ нагрузками отсадочных машин при выполнении условий автономности контуров управления.

Так как передаточная функция одного из корректирующих устройств (8) не обладает свойствами физической реализуемости из-за положительного запаздывания, то рассмотрены различные формы аппроксимации передаточной функции звена с чистым запаздыванием и получены рекомендации по выбору математической модели, наименее отличающейся от исходной по кривым переходных процессов. Передаточные функции корректирующих устройств запишем в виде

$$K_1(p) = - \frac{k_{12}(k_2^p p + k_4^p)(1 + \tau_s p)(T_{11} p + 1)}{k_{11}(k_1^p p + k_3^p)(1 + T^* p)(T_{12} p + 1)}; \quad (10)$$

$$K_2(p) = - \frac{k_{21}(k_1^p p + k_3^p)(1 - 0.5\tau_s p)(T_{22} p + 1)}{k_{22}(k_2^p p + k_4^p)(1 + 0.5\tau_s p)(T_{21} p + 1)}. \quad (11)$$

Здесь $\tau_5 = \tau_{21} - \tau_{11} = 125$ с, $\tau_6 = \tau_{21} - \tau_{22} = -125$ с, $(T^* p + 1)^{-1}$ - передаточная функция, введенная для уравнивания порядка числителя и знаменателя, в которой $T^* \ll T_{12}$ и $T^* \ll k_1^p / k_3^p$.

Проведено моделирование системы с физически реализуемыми передаточными функциями корректирующих устройств (рис.3в) и показано, что применение таких корректирующих устройств, являющихся реальными дифференцирующими звеньями третьего порядка, приводит к значительному снижению взаимного влияния между каналами и сохранению требуемых динамических характеристик.

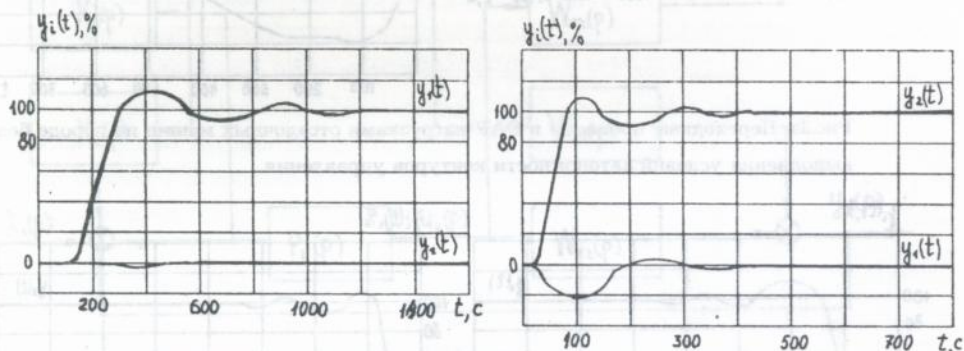


Рис.3в.Переходные процессы в САУ нагрузками отсадочных породных машин по породе с реализуемыми корректирующими устройствами

Для повышения устойчивости системы рассмотрена возможность использования пропорционально-интегрального по предыстории алгоритма.

Для оценки эффективности предложенной САУ нагрузками отсадочных машин по породе было проведено моделирование (табл.2).

Вычислительный эксперимент для исследования динамических режимов работы системы при реальных (условия УОФ ЯКХЗ) возмущающих воздействиях показал, что САУ позволит получить следующие показатели:

- уменьшить потери легких фракций с породой отсадочной машины мелкого угля на 0.21 %, отсадочной машины крупного угля - на 0.09 %;
- уменьшить дисперсию породы отсадочной машины мелкого угля в 3.5 раза, а отсадочной машины крупного угля в 3.2 раза.

Это позволяет при стабилизации рациональных нагрузок отсадочных машин повысить производительность фабрики по исходному углю на 2 %, что подтвердила экспериментальная проверка в условиях УОФ ЯКХЗ и ДКХЗ.

Статистические показатели результатов моделирования и экспериментальных исследований САУ нагрузками отсадочных машин

Показатель процесса	Единицы измерения	Математическое ожидание			Дисперсия		
		без САУ	моделирование с САУ	эксперимент с САУ	без САУ	моделирование с САУ	эксперимент с САУ
Выход породы отсадочной машины мелкого угля, $\gamma_{\text{м.}}$	%	29.30	29.07	29.10	11.90	3.40	3.51
Потери легких фракций с отходами отсадочной машины мелкого угля, $\gamma_{\text{м.}}^{\text{л}}$	%	0.73	0.50	0.53	0.18	0.05	0.05
Выход породы отсадочной машины крупного угля, $\gamma_{\text{к.}}$	%	51.17	51.00	51.09	12.9	4.01	3.74
Потери легких фракций с отходами отсадочной машины крупного угля, $\gamma_{\text{к.}}^{\text{л}}$	%	0.50	0.39	0.42	0.12	0.05	0.06

Проанализировано как стабилизация нагрузки по породе в породном отделении влияет на ее дестабилизацию в промпродуктовом отделении и установлено, что эти изменения находятся в допустимых пределах. Стабилизация качества концентрата осуществляется САУ, изменяющей высоту постели в промпродуктовом отделении. В качестве одного из вариантов управления предлагается использовать систему, в основу создания которой положены математические модели, полученные с помощью остаточного регрессионного анализа и позволяющие изменением высоты постели в промпродуктовом отделении отсадочной машины добиться заданной зольности концентрата:

$$\begin{aligned}
 A_k^{1-25} &= -7.88 + 0.15h - 1.65\gamma_{1.5-1.8} + 0.11\gamma_{1.5-1.8}^2 + 0.19A_{-1.8} - 0.07\gamma_{+1.8} \\
 A_k^{+25} &= -5.49 - 0.08\gamma_{+1.8} + 0.05A_{-1.8} + 0.11h, \\
 A_k^{1-13} &= -26.36 + 0.08\gamma_{+1.8} + 0.12\gamma_{-1.5} - 0.15A_{-1.5} + 0.14h + 0.05A_{-1.5}^2, \\
 A_k^{+13} &= -10.40 + 0.01\gamma_{1.5-1.8} - 0.02\gamma_{1.8} + 0.27A_{-1.5} + 0.09h.
 \end{aligned} \tag{12}$$

Одним из важных достоинств разработанной САУ является то, что ее применение позволит увеличить производительность отсадочных машин без их конструктивных изменений и обеспечит повышение эффективности работы существующих систем управления колебательным режимом и систем стабилизации разрыхленности и высоты отсадочной постели.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе на основании закономерностей формирования нагрузок отсадочных машин, зависящих от изменений расхода воды на гидрогрохочение и производительности фабрики по исходному углю, предложен и обоснован способ раздельного управления нагрузками отсадочных машин по породе, который позволил разработать математические модели САУ и алгоритмы управления, осуществить синтез САУ, что обеспечивает увеличение производительности отсадочных машин и уменьшение потерь легких фракций с породой.

Основные выводы, научные и практические результаты, полученные в работе, заключаются в следующем.

1. Проведенными экспериментальными исследованиями гравитационного отделения УОФ показано, что колебания нагрузки отсадочных машин превышают допустимые почти в 3 раза и уменьшают точность разделения.

2. На основании применения остаточного регрессионного анализа для моделирования процесса отсадки получены адекватные статические модели в виде полиномов, связывающих качественные выходные показатели с входными воздействиями: высотой постели в промпродуктовом отделении, зольностями и выходами фракций исходного угля. В полученных моделях отмечено влияние нагрузки по породной фракции на конечные показатели процесса отсадки.

3. Показано, что для улучшения качественно-количественных показателей процесса отсадки целесообразно стабилизировать рациональные нагрузки отсадочных машин по породе, что позволяет увеличить производительность УОФ и уменьшить потери легких фракций с породой.

4. На основании анализа кинетики отсадки установлено, что рациональные удельные нагрузки отсадочных машин мелкого и крупного угля по породе лежат в диапазоне 8-10 т/м²ч, 9-11 т/м²ч соответственно, и их необходимо поддерживать системой автоматического управления нагрузками.

5. На основе анализа особенностей процесса отсадки как объекта автоматизации предложен и обоснован способ управления нагрузками отсадочных машин крупного и мелкого угля, отличающийся тем, что в процессе управления стабилизацию нагрузок по породе обеспечивают путем изменения производительности углеобогатительной фабрики по исходному углю и расхода воды на гидрогрохочение, необходимых для раздельного управления отсадочными машинами.

6. На основе анализа структуры замкнутой системы управления и исследования динамических характеристик каналов управления определена структурная схема многосвязной системы управления нагрузками с двумя взаимозависимыми регулируемыми величинами.

7. Осуществлено аналитическое конструирование оптимальной системы стабилизации нагрузок отсадочных машин по породе для практической реализации на УОФ Днепродзержинского КХЗ. Разработаны модели САУ, алгоритмы управления, осуществлен синтез

системы, реализующие предложенный способ и обеспечивающие выполнение условий автономности контуров управления, для практической реализации САУ нагрузками отсадочных машин на УОФ ЯКХЗ.

8. В результате промышленных испытаний САУ на ЯКХЗ достигнуто уменьшение потерь легких фракций с породой более чем в 2 раза, что обеспечивает экономию около 2000 тонн угля в год. На ДКХЗ уменьшились потери легких фракций в 2 раза и увеличилась производительность фабрики за счет увеличения производительности отсадочных машин на 4,5 т/ч. Дисперсия выхода породы отсадочных машин на обеих фабриках уменьшилась более чем в 3 раза.

9. Результаты исследования использованы при разработке и усовершенствовании САУ процесса отсадки Харьковским институтом "Южгипрошахт". Внедрение предложенной системы управления на УОФ ЯКХЗ обеспечивает годовой экономический эффект 20 млрд.руб. (в ценах 1995 г.).

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Лазорин А.И., Ромашко Л.И. Исследование рядовых углей перед обогащением. - Днепропетровск, 1991. - 11 с. - Деп. в УкрНИИТИ, N 136-Ук91.
2. Лазорин А.И., Ромашко Л.И. Аналитическое конструирование оптимальной системы стабилизации нагрузки породных отделений отсадочных машин. - Днепропетровск, 1995. - 14 с. - Деп. в ГНТБ Украины, N 2026-Ук95.
3. Лазорин А.И., Ромашко Л.И. Обоснование способа управления нагрузками на отсадочные отделения. - Днепропетровск, 1995. - 19 с. - Деп. в ГНТБ Украины N 2025-Ук95.
4. Лазорин А.И., Ромашко Л.И. Идентификация процессов углеобогащения на основе метода самоорганизации. - В кн.: Системный анализ в обогащении полезных ископаемых.: Тез. докл. науч.-техн. конф., Свердловск, 1989. - С. 12-13.
5. Лазорин А.И., Ромашко Л.И., Слесарев В.В. Математическая модель "человек - машина - среда" в условиях углеобогатительной фабрики. - В кн.: Система "человек - машина - среда" в горном деле. Настоящее и будущее.: Тез. докл. Всесоюзной научно-техн. конф., М., 1990. - С. 108-110.
6. Лазорин А.И., Ромашко Л.И. Информационно-измерительный аспект функционирования распределенных АСУТП углеобогатительных фабрик. - В кн.: Новые организационные структуры в экономике.: Тез. докл. Всесоюзной научно-практ. конф., Ялта, 1991. - С. 86-87.
7. Лазорин А.И., Ромашко Л.И. Человеко-машинный подход к созданию интегрированной автоматизированной системы управления углеобогатительной фабрики. // Обогащение руд. Научно-технические достижения и передовой опыт в обогащении руд. - 1991. - N 6(218). - С. 31-33.
8. Лазорин А.И., Ромашко Л.И. Определение оптимальных показателей продуктов обогащения углеобогатительных аппаратов. - В кн.: Системный подход в горном деле. Проблемы, теория, методы.: Тез. докл. Всесоюзной научно-техн. конф., М., 1991. - С. 34-36.

9. Лазорин А.И., Ромашко Л.И. Разработка системы автоматического регулирования перераспределения нагрузок на отсадочные машины УОФ. - В кн.: 1-а Українська конференція з автоматичного керування "Автоматика-94": Тез. докл., Киев, 1994. - Часть II. - С. 425.
10. Ромашко Л.И. Прогнозирование результатов разделения отсадочной машины в условиях углеобогащательной фабрики. - В кн.: Техника и технология горного производства: Тез. докл. конф., Днепропетровск, 1990. - С. 93-94.
11. Ромашко Л.И., Лазорин А.И. Моделирование процесса подготовительной классификации угля. - В кн.: Добыча и обогащение комплексных руд: Тез. докл. Всесоюзной конф., Апатиты, 1991. - Т. 2. - С. 55-56.

Личный вклад соискателя в работах, написанных в соавторстве: /1/ - обработаны результаты экспериментальных исследований для определения количественной оценки статистических характеристик угля; /2/ - разработана структурная схема модели объекта управления, осуществлен синтез оптимального регулятора и моделирование САУ нагрузками отсадочных машин по породе; /3/ - обоснован способ управления нагрузками отсадочных машин, определены рациональные удельные нагрузки отсадочных машин, обоснован расход воды на гидрогрохочение в качестве управляющего воздействия; /4/ - определены влияния основных возмущающих воздействий (нагрузка по породной фракции) на качественно-количественные показатели процесса отсадки; /5/ - построена модель углеобогащательной фабрики в виде четырехуровневой системы; /6/ - разработан метод определения точности и достоверности контрольно-измерительной и управляющей информации о технологических параметрах углеобогащательных объектов; /7/ - разработан системный подход к созданию системы управления углеобогащательной фабрикой; /8/ - разработан алгоритм прогнозирования качественных показателей процесса отсадки, разработаны и отлажены программы; /9/ - разработана структура связанной системы автоматического управления, определены параметры настройки регуляторов и корректирующих устройств, разработаны алгоритмы управления нагрузками отсадочных машин; /11/ - построена математическая модель процесса грохочения, позволяющая прогнозировать результаты разделения по заданной граничной крупности угля на гидрогрохоте и определить статические характеристики каналов управления.

ANNOTATION

L.I.Romashko. The automatic control system of the jigs loads. Dissertation to search scholar degree of Master of science (engineering) /manuscript/ in the speciality 05.13.07 "Automation of technological processes and productions", State Mining University of Ukraine, Dnepropetrovsk, 1996.

The theoretical researches of the formation regularities of the jig loads at the coal preparation plant and also the experimental research results of a plant common load effect, fraction and granulometric compositions of initial coal bulk on the separation quality and the load variation estimate, which allow to develop the automatic control system of the jigs rock loads are defended. It is stated that the use of the water discharge on hydroscreening and the plant production change as the control actions allows to implement the separational control of the jigs rock loads. On the basis of suggested and well-grounded method the mathematical models of automatic control system and the control algorithms, which allow to fulfil the independence conditions of control circuits, and system synthesis are developed. Eleven scientific works have been already published.

АНОТАЦІЯ

Ромашко Л.І. Система автоматичного управління навантажуванням відсаджувальних машин. Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук (рукопис) за фахом 05.13.07 "Автоматизація технологічних процесів та виробництв". Державна гірнична академія України, Дніпропетровськ, 1996.

Захищаються теоретичні дослідження закономірностей формування навантажування відсаджувальних машин вугільнозбагачувальних фабрик, результати експериментальних досліджень впливу загального навантажування фабрики, фракційного та гранулометричного складів вихідного вугілля на якість продуктів розподілення та оцінки коливання навантажування, що дозволяють розробити систему автоматичного управління навантажуванням відсаджувальних машин по породі. Установлено, що використання витрачення води на гідрогрохочення та продуктивності фабрики з вихідного вугілля в якості керуючих діянь дозволяє забезпечити розподілене управління навантажуванням відсаджувальних машин по породі. На основі запропонованого та обгрунтованого способу розроблено математичні моделі САУ та алгоритми управління, які дозволяють забезпечити виконання умов автономності контурів управління, здійснен синтез системи. Оpubліковано 11 наукових праць.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: відсаджувальна машина, навантажування, система автоматичного управління, багатозв'язна система, істотне запізнювання, синтез.

118509

Automation of technological processes and production, State Mining University of Ukraine, Donetsk, 1982

The theoretical research of the formation regularities of the load in the control system of the plant is carried out. The theoretical research of the formation regularities of the load in the control system of the plant is carried out. The theoretical research of the formation regularities of the load in the control system of the plant is carried out.

It is stated that the use of the water discharge on hydrocharging and the load are detoured. It is stated that the use of the water discharge on hydrocharging and the load are detoured. It is stated that the use of the water discharge on hydrocharging and the load are detoured.

It is stated that the use of the water discharge on hydrocharging and the load are detoured. It is stated that the use of the water discharge on hydrocharging and the load are detoured. It is stated that the use of the water discharge on hydrocharging and the load are detoured.

ПАТОНА

Automation of technological processes and production, State Mining University of Ukraine, Donetsk, 1982

The theoretical research of the formation regularities of the load in the control system of the plant is carried out. The theoretical research of the formation regularities of the load in the control system of the plant is carried out. The theoretical research of the formation regularities of the load in the control system of the plant is carried out.

It is stated that the use of the water discharge on hydrocharging and the load are detoured. It is stated that the use of the water discharge on hydrocharging and the load are detoured. It is stated that the use of the water discharge on hydrocharging and the load are detoured.

Automation of technological processes and production, State Mining University of Ukraine, Donetsk, 1982