

ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ХИМИЧЕСКОГО АФФИНАЖА ЗОЛОТА В ЧАСТИ РАСТВОРЕНИЯ И ОСАЖДЕНИЯ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ ГРАНУЛ

Куликовский М.А.,

*Национальный исследовательский технологический университет "МИСИС", Москва, Россия
kulikovskij.m@yandex.ru*

Макаров В.В.

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва, Россия
makfone@mail.ru*

Аннотация. В работе представлен результат анализа состояния технологии химического рафинирования шлихового золота на аффинажном производстве методом имитационного моделирования. В ходе исследования обнаружены «узкие» места процесса. В качестве решения по оптимизации обнаруженных недостатков спроектирована ЭВМ программа для контроля изменения динамических параметров процесса в режиме реального времени для оперативного управления технологическими режимами.

Ключевые слова: химический аффинаж, кислотный аффинаж, имитация, бизнес-процесс, оптимизация, автоматизация, управление технологическим процессом, мониторинг параметров.

Введение

Аффинаж - это процесс удаления примесей из драгоценных металлов с целью достижения высокой степени чистоты и качества. Этот процесс позволяет извлечь благородные металлы из руды или сплавов и очистить их от различных примесей, таких как другие металлы, минералы или органические соединения. Аффинаж является важным этапом в производстве драгоценных металлов, поскольку их чистота и качество напрямую влияют на конечный продукт и его свойства.

Одним из наиболее распространенных методов аффинажа является химическое выщелачивание. Этот процесс основан на использовании щелочных растворов, которые способны растворять примеси и оставлять благородный металл в чистом виде. Другим методом является электролиз, при котором благородный металл осаждается на электроде под действием электрического тока.

Химические методы аффинажа обладают рядом преимуществ, таких как высокая эффективность, возможность очистки металла от различных примесей, а также экономия времени и средств. Однако необходимо помнить о правильном выборе химических реагентов, чтобы избежать негативного влияния на окружающую среду.

Таким образом, развитие химических методов аффинажа благородных металлов играет важную роль в современной промышленности, обеспечивая высокую степень чистоты и качества металлов для различных технических целей [1].

Имитационное моделирование позволяет создавать модели, которые имитируют поведение и работу реальных систем, чтобы исследовать их свойства, взаимодействия и результаты различных сценариев. Имитационный подход широко используется в различных областях, таких как экономика, бизнес, наука, инженерия, медицина и другие, для принятия решений, оптимизации процессов, прогнозирования результатов и тестирования гипотез. Оно позволяет провести эксперименты и анализировать данные без необходимости вмешательства в реальные системы, что делает его эффективным инструментом для изучения сложных и динамических процессов [2,3].

Целью настоящего исследования является анализ текущего состояния технологии химического рафинирования золота на производстве с последующей идентификацией недостатков и разработкой решения для их оптимизации.

1. Проектирование и ввод параметров имитационной модели

В рамках обследования объекта автоматизации были определены границы исследуемого процесса химического аффинажа золота с момента приемки сырья до передачи готовой продукции на склад для дальнейшей реализации. Сквозной процесс состоит из шести функциональных блоков, а именно:

1) Приемка шлихового золота от поставщика – в рамках данного этапа полученное сырье взвешивают и передают на приемную плавку, составляя акт приема-передачи сырья или рекламацию в случае недовеса.

2) Плавка и гранулирование – на этом шаге сырье переводят в расплав, добавляя флюсы с целью доведения исходных данных до требуемого состояния. Результат гранулируют до гранул крупностью 0.3-20 мм.

3) Анализ пробы и корректировка технологических режимов – огненно-жидкую пробу охлаждают и сверлят. Полученную стружку упаковывают с последующей передачей в лабораторию. В соответствии с результатами лабораторных испытаний технолог принимает решение о корректировке технологических режимов аффинажной линии.

4) Химический аффинаж – золотосодержащие гранулы растворяют в царсководочном растворе, осаждают с добавлением метабисульфита натрия, промывают деионизированной водой, фильтруют и сушат.

5) Повторная плавка, розлив – на данном шаге очищенные от примеси гранулы повторно переводят в расплав с целью дальнейшего розлива по слиткам. Так же на этом этапе происходит 2 взятие пробы. При недостаточной чистоте полученное золота повторно выщелачивают кислотами.

6) Передача на склад – золотые слитки пробы 9999,999 маркируют, упаковывают и передают на склад готовой продукции для дальнейшей реализации.

На основании собранной информации, по итогу анализа технологического регламента, интервьюирования участников и владельца процесса, а также наблюдения, построена имитационная модель исследуемой технологии, представленная на рис. 1, где $\epsilon 1-24$ случайные воздействия операций.

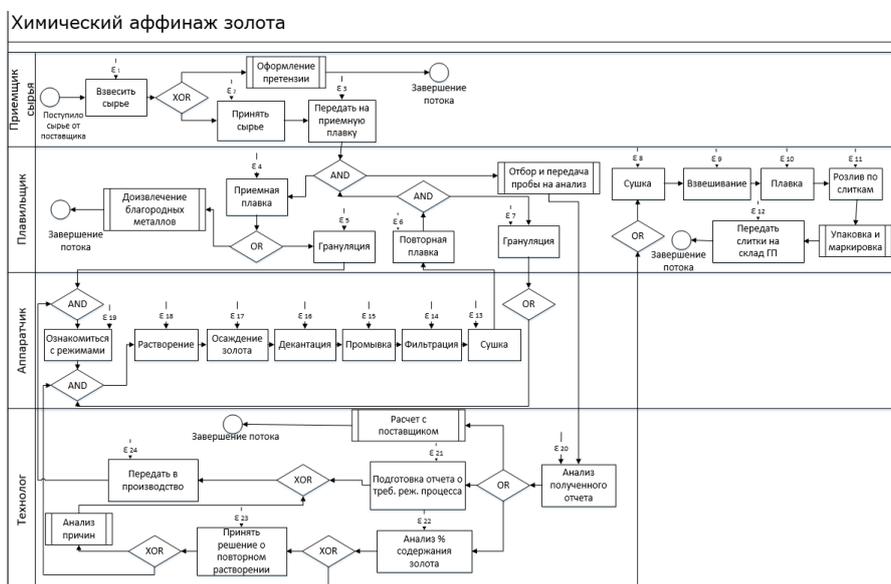


Рис. 1. Имитационная модель технологии химического рафинирования золота

Для запуска имитационной модели введены параметры, собранные в ходе наблюдения за процессом. Все вышеперечисленные этапы рассматриваем как случайные процессы с заданными средним значением и допустимым отклонением от среднего. Исходя из большого количества случайных факторов, возникающих на каждом из этапов, примем функцию распределения времени реализации этапа в виде Гауссова закона распределения [4]. Параметры закона распределения представлены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры нормального закона распределения имитационной модели

№	Шаг	Параметры	Длительность, час
1	Приемка шлихового золота от поставщика	Минимальное время	1,5
		Максимальное время	3
		Ожидаемый результат	2
		Допустимое отклонение	0,5
2	Плавка	Минимальное время	2
		Максимальное время	4
		Ожидаемый результат	3
		Допустимое отклонение	1
3	Взятие пробы	Минимальное время	2
		Максимальное время	3

		Ожидаемый результат	2,5
		Допустимое отклонение	0,5
4	Гранулирование	Минимальное время	1
		Максимальное время	2
		Ожидаемый результат	1,5
		Допустимое отклонение	0,5
5	Растворение	Минимальное время	4
		Максимальное время	8
		Ожидаемый результат	5
		Допустимое отклонение	1
6	Фильтрование	Минимальное время	1
		Максимальное время	3
		Ожидаемый результат	2
		Допустимое отклонение	0,5
7	Осаждение	Минимальное время	4
		Максимальное время	7
		Ожидаемый результат	6
		Допустимое отклонение	1,5
8	Промывка	Минимальное время	2
		Максимальное время	4
		Ожидаемый результат	3
		Допустимое отклонение	1
9	Сушка	Минимальное время	5
		Максимальное время	8
		Ожидаемый результат	7
		Допустимое отклонение	1,5
10	Розлив	Минимальное время	1
		Максимальное время	3
		Ожидаемый результат	2
		Допустимое отклонение	1
11	Передача на склад готовой продукции	Минимальное время	1,5
		Максимальное время	3
		Ожидаемый результат	2
		Допустимое отклонение	0,5

Перейдем к результатам имитационного моделирования.

2. Анализ результатов имитации процесса

Результаты имитационного моделирования представлены в виде диаграммы Ганта на рис. 2.

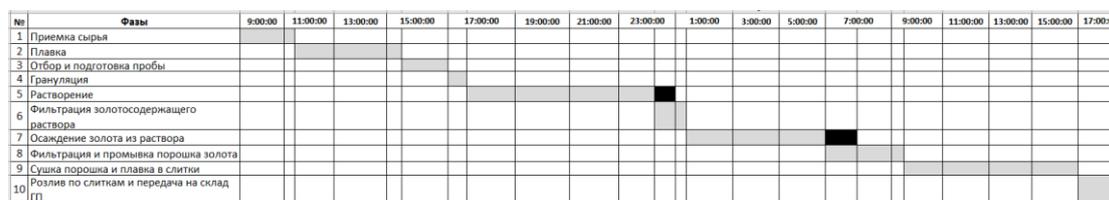


Рис. 2. Результаты имитационного моделирования

По результатам имитации исследуемой технологии удалось установить факт превышения верхней границы времени таких операций как растворение и осаждение золотосодержащих гранул в реакторе, а именно 08:43:25 и 07:48:24 соответственно. Методом причинно-следственной связи определены корневые причины «узких» мест процесса: нестабильность поддержания температуры в рубашке реактора, отсутствие контроля за изменением динамических параметров химических реакций в режиме реального времени.

В рамках оптимизации химического аффинажа золота предложено разработать ЭВМ программу, позволяющую осуществлять мониторинг протекания реакций в виде графика в режиме реального времени. Программа позволит аппаратчику следить за изменением таких параметров как: окислительно-восстановительный потенциал осаждения, выделение оксидов азота и температурные колебания в ходе растворения.

Контроль данных параметров в режиме реального времени позволит сотруднику оперативно принимать управленческие решения с целью получения максимального эффекта от технологии [5].

3. Разработка ЭВМ программы по контролю содержания оксидов азота

Архитектура решения состоит из 3 экранов: первый интерфейс, представленный на рис.3, передает данные с датчиков в базу данных.

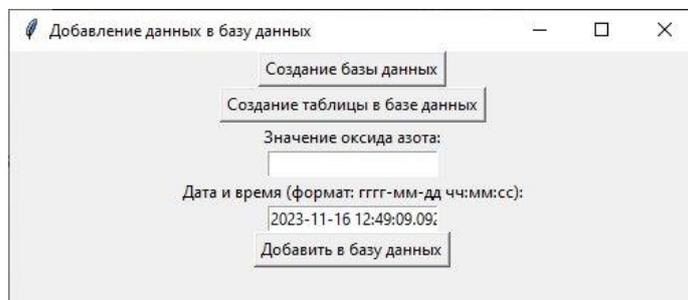


Рис. 3. Экран передачи значений в базу данных

2 интерфейс, представленный на рис.4, является селекционным экраном, на котором аппаратчик может выбрать необходимую операцию и параметр для контроля.

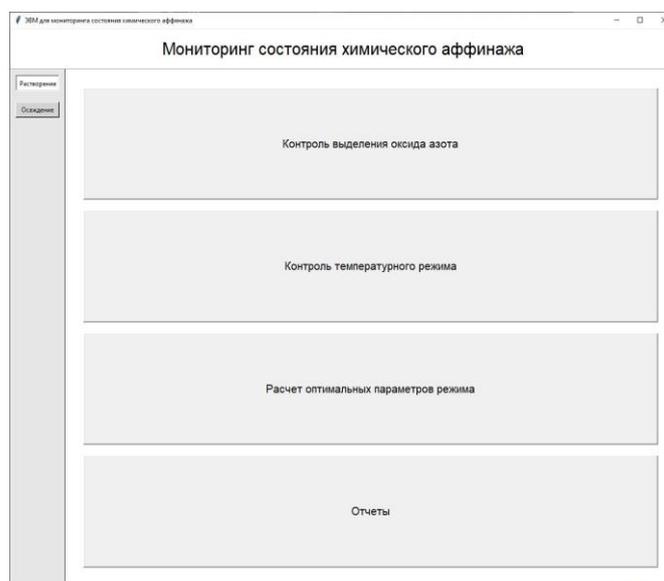


Рис. 4. Селекционный экран программы

3 интерфейс, представленный на рис.5, является экраном обработанных данных в виде графика, который строится в режиме реального времени, основываясь на значениях из базы данных.

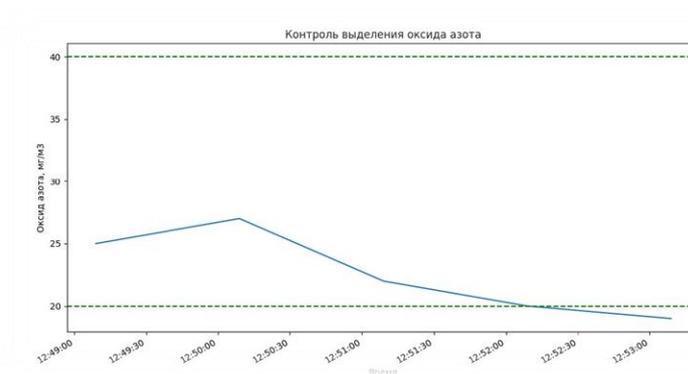


Рис. 5. График выделения оксида азота

Перейдем к выводам проведенного исследования.

4. Заключение

Имитационная модель сквозного процесса химического аффинажа золота позволила оценить текущее состояние технологии на производстве с точки зрения согласования времени выполнения отдельных операций. Результаты имитации стали основой для идентификации недостатков процесса, оптимизация которых позволит сократить длительность ожидания поступления промежуточного продукта на обработку. Среди «узких» мест процесса установлено отклонение максимальной границы длительности от нормативного значения в ходе растворения и осаждения золотосодержащих гранул. Корневые причины обнаруженных недостатков заключаются в отсутствии системы дистанционного мониторинга за ходом выполнения процесса в части контроля температурного режима, окислительно-восстановительного потенциала реакции и выделения оксида азота. В качестве решения разработана ЭВМ программа, позволяющая следить за изменениями динамических характеристик переделов и, при превышении или снижении нормативных показателей, оперативно уведомлять аппаратчика о необходимости добавления царского водочного раствора, метабисульфита натрия и подачи горячего пара с расчетом требуемого объема. Подобное управление технологическим процессом является реактивным и дает основу для перехода на следующий этап автоматизации – цифровизация, в рамках которого собранные данные будут использованы для построения прогностических моделей. Такие модели позволят выявить отклонение на раннем этапе и принять заблаговременное корректирующее действие со стороны исполнителя процесса, не допуская экстремума операций.

Литература

1. *Карпухин А.И.* Кислотно-солевой аффинаж золота и серебра. – И.: Иргиредмет, 2003. – 190 с.
2. *Алпатов Ю.Н.* Математическое моделирование производственных процессов: Учебное пособие. - СПб.: Лань, 2023. - 136 с.
3. *Маторин С.И.* Имитационное моделирование с использованием системно-объектного подхода. - М.: Синергия, 2015. - 36 с.
4. *Мадера А.Г.* Бизнес-процессы и процессное управление в условиях неопределенности: Количественное моделирование и оптимизация. - М.: Ленанд, 2019. - 160 с.
5. *Беркут А.И.* Системы автоматического контроля технологических параметров: Учебное пособие. - М.: АСВ, 2005. - 144 с.