

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

М.А. Куликовский

Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»
Россия, 119049, Москва, Ленинский пр-кт, 4, стр. 1
E-mail: kulikovskij.m@yandex.ru

В.В. Макаров

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: makfone@mail.ru

Ключевые слова: бизнес-процесс, автоматизация, химический аффинаж, моделирование, имитация, технологический процесс, узкие места.

Аннотация: в работе представлены результаты имитационного моделирования технологии химического аффинажа золота на предприятии. В ходе исследования была разработана модель бизнес-процесса в нотации EPC, матрица ответственности, проанализирована связь технологических операций в разрезе входов и выходов каждой. Полученная модель использована для проведения имитации бизнес-процесса «Химический аффинаж золота» с целью выявления проблемных участков производства. На основании матричного анализа обнаруженных «узких» мест определены корневые причины недостатков и предложены рекомендации по оптимизации исследуемой технологии.

1. Введение

С развитием технологий и появлением новых отраслей промышленности, требования к чистоте благородных металлов возрастают. Наличие примесей оказывает прямое влияние на свойства сырья и возможность его использования в различных технических аппаратах.

Аффинаж - это процесс удаления примесей из драгоценных металлов для достижения высокой степени чистоты и качества. На текущий момент химические методы аффинажа становятся все более популярными и эффективными среди прочих. Они позволяют ускорить процесс очистки металла от примесей и снизить затраты на использование оборотных благородных металлов, таких как платина или золота. Все они основаны на использовании различных химических реакций замещения, обмена, соединения и разложения [1].

Необходимо отметить, что химические методы аффинажа также имеют свои ограничения и потенциальные риски. Некоторые из них могут требовать специальных условий безопасности на производстве при использовании токсичных или взрывоопасных реагентов. Таким образом, внимательное планирование и контроль процесса очистки металла являются важными аспектами при использовании химических методов аффинажа.

В целом, выбор между химическими и электролитическими методами аффинажа зависит от конкретных условий и требований предприятия. Каждый из этих методов

имеет свои преимущества и ограничения, и их выбор должен основываться на анализе экономической эффективности, степени очистки металла и безопасности процесса [1].

В настоящем исследовании в качестве метода для анализа исследуемой технологии было выбрано имитационное моделирование.

Имитационное моделирование – метод исследования, использующий математические модели для имитации работы реального процесса. Данный подход позволяет изучать сложные системы, анализ которых может быть дорогостоящим, опасным или невозможным для изучения в реальном мире. Он также позволяет проводить эксперименты в контролируемых условиях и изменять параметры модели для изучения их влияния на систему [2, 3].

Цель исследования – выявление «узких» мест исследуемой технологии химического аффинажа золота с применением имитационного моделирования для дальнейшей оптимизации обнаруженных недостатков процесса.

2. Разработка имитационной модели процесса

В ходе предпроектного обследования объекта выделены 6 функциональных блоков, исследуемого процесса [4]. Результаты представлены на рис. 1.

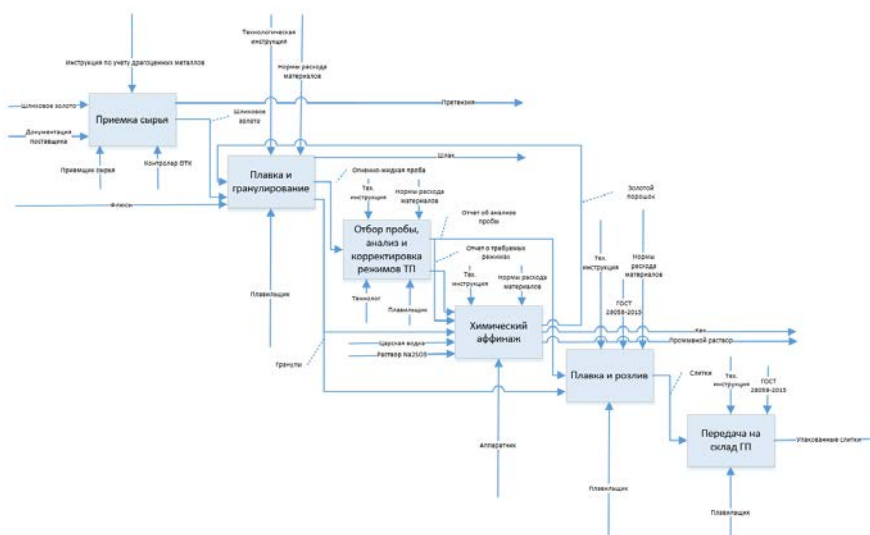


Рис. 1. Диаграмма декомпозиции процесса «Химический аффинаж золота» в нотации IDEFO.

Процесс химического аффинажа золота включает следующие этапы.

- 1) Приемка сырья: взвешивание, подготовка акта приема-передачи сырья, передача на приемную плавку.
- 2) Плавка и гранулирование: приемная плавка шлихового золота с добавлением флюсов и гранулирование полученного расплава.
- 3) Отбор пробы, анализ и корректировка режимов процесса: взятие огненно-жидкой пробы, отлив и остывание пробы, сверловка, упаковка и передача пробы в лабораторию. Анализ полученного заключения и корректировка режимов технологического процесса.
- 4) Химический аффинаж: растворение гранул, осаждение золотосодержащего шлама, декантация, промывка ионизированной водой, фильтрация и сушка.
- 5) Плавка и розлив: сушка (камерного типа) гранул, взвешивание, плавка, розлив по слиткам.

б) Передача на склад готовой продукции: упаковка, маркировка слитков и передача на склад готовой продукции.

На основании собранной информации по процессу разработана имитационная модель технологии «Химический аффинаж золота», представленная на рис. 2, где $\varepsilon 1-24$ случайные воздействия операций.

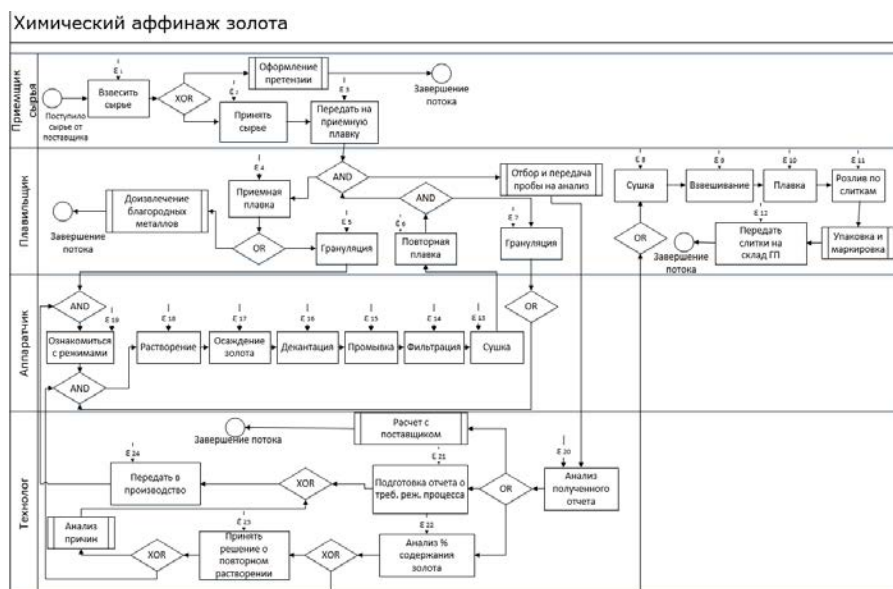


Рис. 2. Модель имитации технологии.

Перейдем к вводу параметров имитационной модели.

3. Имитационное моделирование технологии

Все шесть технологических этапов 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. Параметры закона распределения представлены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры закона распределения.

№	Операция	Характеристики	Продолжительность, час
1	Приемка шлихового золота	Минимальное время	2,5
		Максимальное время	4
		Ожидаемый результат	3
		Допустимое отклонение	1,5
2	Плавка	Минимальное время	3
		Максимальное время	5
		Ожидаемый результат	4
		Допустимое отклонение	1
3	Пробоотбор	Минимальное время	2
		Максимальное время	4
		Ожидаемый результат	2,5
		Допустимое отклонение	1,5
4	Гранулирование	Минимальное время	1,5
		Максимальное время	2,5

		Ожидаемый результат	2
		Допустимое отклонение	1,5
5	Растворение	Минимальное время	3
		Максимальное время	7
		Ожидаемый результат	5
		Допустимое отклонение	2
6	Фильтрация	Минимальное время	2
		Максимальное время	4
		Ожидаемый результат	3
		Допустимое отклонение	1,5
7	Осаждение	Минимальное время	4
		Максимальное время	6
		Ожидаемый результат	5
		Допустимое отклонение	2
8	Промывка	Минимальное время	3
		Максимальное время	5
		Ожидаемый результат	4
		Допустимое отклонение	2
9	Сушка	Минимальное время	6
		Максимальное время	9
		Ожидаемый результат	8
		Допустимое отклонение	2
10	Розлив	Минимальное время	2
		Максимальное время	3
		Ожидаемый результат	2,5
		Допустимое отклонение	1,5

Перейдем к анализу полученных результатов.

4. Анализ «узких» мест исследуемой технологии

По результатам имитационного моделирования было выявлено превышение верхней временной границы операции растворения и осаждения золота в реакторе. Матричный анализ обнаруженных «узких» мест приведен в таблице 2.

Таблица 2. Матричный анализ «узких» мест технологии «Химический аффинаж золота».

№	«Узкое» место	Факт, ч	Причина	Решение
1	Длительность растворения	07:52:13	Нарушение терморегуляции в реакторе.	Отображение актуальной температуры в виде графика. Настройка системных оповещений об отклонении температуры.
			Отсутствие контроля за протеканием реакции.	Непрерывное определение содержания оксидов азота.
2	Длительность осаждения золотого порошка	06:53:15	Отсутствие непрерывного мониторинга изменения параметров реакции.	Отображение актуальной величины ОВП химической реакции осаждения.

По результатам анализа предложены решения для оптимизации обнаруженных недостатков, а именно: отображение температуры реактора в ходе растворения гранул на мониторе аппаратчика в виде графика в режиме реального времени. Для

своевременной подачи горячего пара в рубашку реактора настроить систему оповещений ответственного через карманный персональный компьютер.

Изменение окислительно-восстановительного потенциала реакции в ходе осаждения и выделения оксида азота в процессе растворения золотосодержащих гранул необходимо так же контролировать через монитор аппаратчика в формате графика, обновляемого в режиме реального времени.

Перейдем к выводам настоящего исследования.

5. Выводы

Полученная в ходе предпроектного обследования модель бизнес-процесса «Химический аффинаж золота» отражает текущую логику технологической цепочки с описанием входов и выходов по каждой операции. Модель позволяет получить целостную картину сквозного бизнес-процесса с момента приемки сырья до передачи готовой продукции на склад.

Имитация исследуемой технологии показала превышение длительности операций по растворению и осаждению золота над регламентной.

В качестве решения для оптимизации выявленных недостатков предложено разработать АСУ ТП для контроля температурного режима реактора в процессе растворения золотосодержащих гранул, настроить систему уведомлений аппаратчика для своевременной подачи горячего пара.

Система управления должна выводить на монитор ответственного график изменения окислительно-восстановительного потенциала реакции, а также объем выделяемого оксида азота в ходе осаждения и растворения соответственно.

В качестве возможного решения разработана ЭВМ программа для визуализации выделения оксидов азота и расчета количества реактива в ходе растворения золотосодержащих гранул.

Список литературы

1. Карпухин А.И. Кислотно-солевой аффинаж золота и серебра. Иркутск: Иргиредмет, 2003. 190 с.
2. Бусленко Н.П. Математическое моделирование производственных процессов. М.: Наука, 2022. 364 с.
3. Федоткин И.М. Математическое моделирование технологических процессов. С.Пб: Питер, 2018. 133 с.
4. Репин В.В. Бизнес-процессы. Моделирование, внедрение, управление. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2021. 693 с.