

УДК 681.54 + 661.832.321

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ФЛОТАЦИИ КАЛИЙНЫХ РУД НА ОСНОВЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Д.С. ОЛИФЕРОВИЧ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь*

*Поступила в редакцию 15 октября 2008*

Предложено использовать для анализа и управления процессом флотации калийных руд такие параметры флотационной пульпы, как ее цвет, размер пузырей, скорость и направления движения. Разработаны алгоритмы и на их основе программное обеспечение, которое позволяет обрабатывать и анализировать вышеуказанные параметры, которые поступают от сенсоров (камер). Программа анализа флотационной пены испытана для различных изменений скорости подачи флотационной пульпы, ее цветности, направления движения.

*Ключевые слова:* техническое зрение, флотация, автоматическое управление.

### Введение

Одним из важнейших процессов при производстве калийных удобрений является процесс флотации, который определяет качество конечного продукта. Эффективность процесса флотационного обогащения зависит от большого количества факторов, что усложняет модели описания процесса и предопределяет сложность управления и оптимизации флотации.

### Теоретический анализ

Определено, что одним из важных факторов является плотность и вид пульпы. Влияние это неоднозначно — при увеличении количества частиц в растворе возрастает вероятность столкновения их с пузырьками воздуха, что увеличивает скорость флотации, повышает извлечение полезного компонента в концентрат. С другой стороны, при более плотной пульпе уменьшается свобода движения частиц, увеличивается вероятность захвата побочного материала в пену — это ухудшает избирательность флотации. Таким образом, изменяя плотность пульпы можно регулировать соотношение между качеством концентрата и потерями. Наибольший выход концентрата наблюдается при весовом соотношении жидкое/твердое в пределах 1,7–3,5. Максимальная скорость флотации обеспечивает лучшее аэрирование пульпы. Степень аэрации, в основном, определяется оборудованием (скорость, диаметр, износ лопастей импеллера) — изменчивость этого фактора приводит к изменению количества всасываемого воздуха, изменению размера воздушных пузырьков и высоты слоя пены [1].

Влияние температуры пульпы сказывается на собирательном свойстве аминов, что объясняется растворимостью минерала и образующихся соединений. При повышении температуры процесс флотации интенсифицируется, но избирательность его ухудшается. Существуют рекомендации по применению аминов в зависимости от температуры процесса. При сезонном изменении температуры переходят от использования одного вида аминов к другому или стабилизируют температуру раствора постоянной.

Влияние растворимости минералов на результаты флотации заключается в том, что хорошо растворимые минералы требуют введения дополнительных реагентов для образования прочного гидрофобного покрова. Также реагентный режим, плотность пульпы и другие пара-

метры зависят от материала различной крупности. Увеличение расхода собирателя улучшает флотуемость крупных частиц, увеличение расхода пенообразователя — флотуемость мелких частиц. Оптимальный размер частиц для каждого отдельного случая имеет индивидуальное значение.

Важным фактором, влияющим на расход реагентов в процессе флотации, является наличие нерастворимого остатка. Дополнительное количество нерастворимого остатка, требует дополнительной подачи депрессора для гидрофилизации. Но это благоприятное явление продолжается лишь до поверхности материала.

Предложено все факторы, влияющие на промышленный флотационный процесс классифицировать на четыре группы:

- факторы, влияющие на флотуемость минеральных частиц;
- факторы, влияющие на ход флотации большого количества частиц;
- факторы, влияющие на выход сфлотированного продукта;
- факторы, влияющие на характер движения обогащенного продукта.

Подобная классификация ориентирована на создание математической модели промышленного процесса флотации, которая учитывала бы все рассмотренные факторы и обеспечивала бы высокую точность моделирования [2].

При флотации отработан режим, при котором во флотомашину подаются некоторые, с определенными расходами, реагенты. Если, оставив расход остальных реагентов неизменным, менять расход одного из них, например собирателя, от нуля и выше, то вначале извлечение минерала в пенный продукт будет небольшим и содержание в хвостах высоким. По мере увеличения расхода собирателя извлечение в пенный продукт увеличивается, а потери в хвостах достигают некоторого предела, после которого начинается обратный процесс: извлечение и качество готового продукта понижаются, а содержание минерала в хвостах возрастает. Такие экстремальные явления наблюдаются и при изменении расхода других реагентов.

В случае, когда выход хвостов много больше выхода концентрата (как это обычно бывает), оптимизируемой величиной можно считать только содержание минерала в хвостах, которое и нужно минимизировать подбором расхода реагентов. Этот минимум будет соответствовать и максимуму извлечения в концентрат, и высокому качеству продукта. Это следует из балансного соотношения по минералу

$$\alpha 100 = \beta \gamma_k + \nu \gamma_{xв}, \% , \quad (1)$$

где  $\alpha$  — содержание КС1 в руде;  $\beta$  — содержание КС1 в концентрате;  $\nu$  — содержание КС1 в хвостах;  $\gamma_k$  — процентный выход концентрата;  $\gamma_{xв}$  — процентный выход хвостов.

При большом выходе хвостов изменение реагентного режима в области оптимума мало влияет на величину выхода хвостов. Поэтому  $\gamma_{xв} \approx \text{const}$ , и минимизация и соответствует максимизации качества  $\beta \gamma_k$ . А это, в свою очередь, соответствует максимуму извлечения в концентрат:

$$\varepsilon = \frac{\beta \gamma_k}{\alpha} \quad (2)$$

и максимуму содержания в концентрате  $\beta$ .

Помимо минимизации  $\nu$  оптимизация процесса флотации может быть направлена на максимизацию  $\varepsilon$  либо  $\beta$ .

Основными этапами при проектировании адаптивной системы являются:

- построение математической модели объекта и определение диапазона изменения переменных параметров;
- синтез структуры адаптивного регулятора и алгоритмов адаптации параметров регулятора;
- анализ устойчивости синтезированной адаптивной системы при детерминированных и случайных возмущениях;
- имитационное моделирование адаптивной системы с помощью ЭВМ.

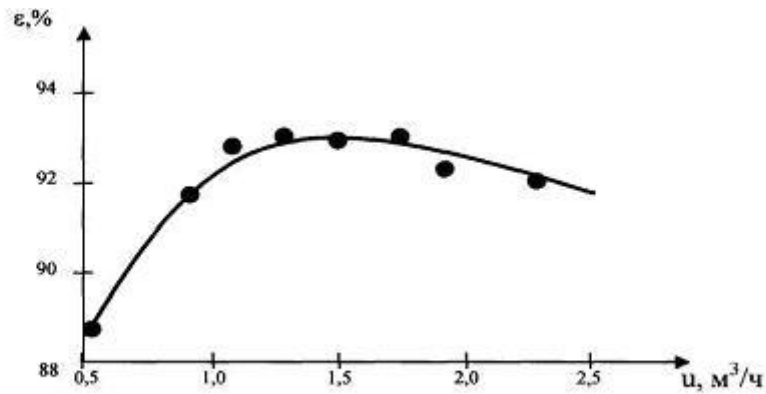


Рис. 1. Зависимость между извлечением и расходом амина

Структура системы управления определяется характеристикой самого управляемого процесса и требованиями, предъявляемыми к нему, а также характером информации о нем, поступающей в управляющее устройство.

Как было показано выше, процесс флотации калийных руд, как объект управления, характеризуется:

- многостадийностью, многочисленностью факторов;
- недостаточной точностью измерений основных показателей методом экспресс-анализа;
- высоким уровнем помех (мешающих факторов);
- большой инерционностью;
- непостоянством коэффициентов уравнений объекта.

Известно, что наиболее совершенное решение задачи оптимального управления такими сложными производственными процессами дают комбинированные системы, в которых разомкнутая часть, компенсирующая входные возмущения, дополняется корректором. Подобные системы нашли применение для управления процессом флотации полиметаллических руд.

Для функционирования системы необходимо иметь алгоритм управления, технические средства для сбора, передачи и обработки информации, для выработки регулирующих воздействий и т.п. В связи с этим алгоритмом функционирования системы управления процессом флотации калийных руд должно быть предусмотрено следующее:

- опрос аналоговых датчиков параметров процесса с учетом транспортных запаздываний по потоку;
- масштабирование поступающей информации в соответствии с характеристикой датчика;
- ручной ввод информации, контролируемой лабораторным путем;
- сравнение текущего значения параметра с граничными для технологического режима;
- расчет выходных показателей процесса: качества хвостов, промпродуктов, концентратов, извлечения для стадий по уравнениям математической модели;
- сравнение расчетных значений выходных показателей стадий процесса с результатами данных экспресс-анализа и адаптация (подстройка) уравнений математической модели процесса;
- формирование управляющих воздействий  $\bar{\mu}$ , поступающих на управляющие органы (регуляторы и исполнительные механизмы), непосредственно воздействующих на процесс [3].

### Экспериментальная часть

Предлагается для управления процессом флотации калийных руд использовать мощности вычислительной машины. В течение определенного промежутка времени, который определяется дискретностью выполнения управляющих воздействий, производится периодический опрос датчиков(сенсоров), масштабирование полученной информации и усреднение значений технологических параметров. На этом же этапе производится ручной ввод данных экспресс-

анализа о качественных характеристиках исходного сырья промпродуктов, хвостов и концентратов отдельных стадий. Частота ввода информации (или дискретность вычисления управляющих воздействий) определяется исходя из динамики объекта и скорости изменения (частоты) основных возмущающих воздействий.

С учетом вышеназванных особенностей флотации для контроля и управления технологического процесса обогащения калийных руд предлагается использовать систему технического зрения. Данного рода системы реализуются при помощи различно рода датчиков (сенсоров). В данном случае предлагается использовать систему соединенных вебкамер, с которых информация поступает в вычислительную машину и обрабатывается по определенному алгоритму, определяются параметры флотационной пены с учетом структуры пены, цвета, насыщенности. При обработке информации, поступившей от камер, в алгоритме реализовывается математическая модель флотации и оценивается качество флотационной пены, а также по цветовым координатам анализируется извлечение полезного ископаемого из руды. Исходя из алгоритма работы программы, предлагается реализовывать управляющее воздействие, согласно которому добавляются необходимые реагенты.

Для анализа и обработки данных, поступающих от флотомашин или ленточных конвейеров, предлагается использовать следующее программно-аппаратное средство: компьютер и подключенная к нему WEB камера. Из вышесказанного следует, что для построения данной системы нужны минимальные затраты.

Разработано программное обеспечение, которое позволяет определять, области или точки (в видимом спектре), к которым относится изображение перед камерой. Применяются цветовые координаты RGB. Отображается цветовой куб и линейный график цвета.

На рис. 2 приведен интерфейс программы анализа и управления процессом флотации. Показано положение координат цвета пены относительно спектра в зависимости от времени.

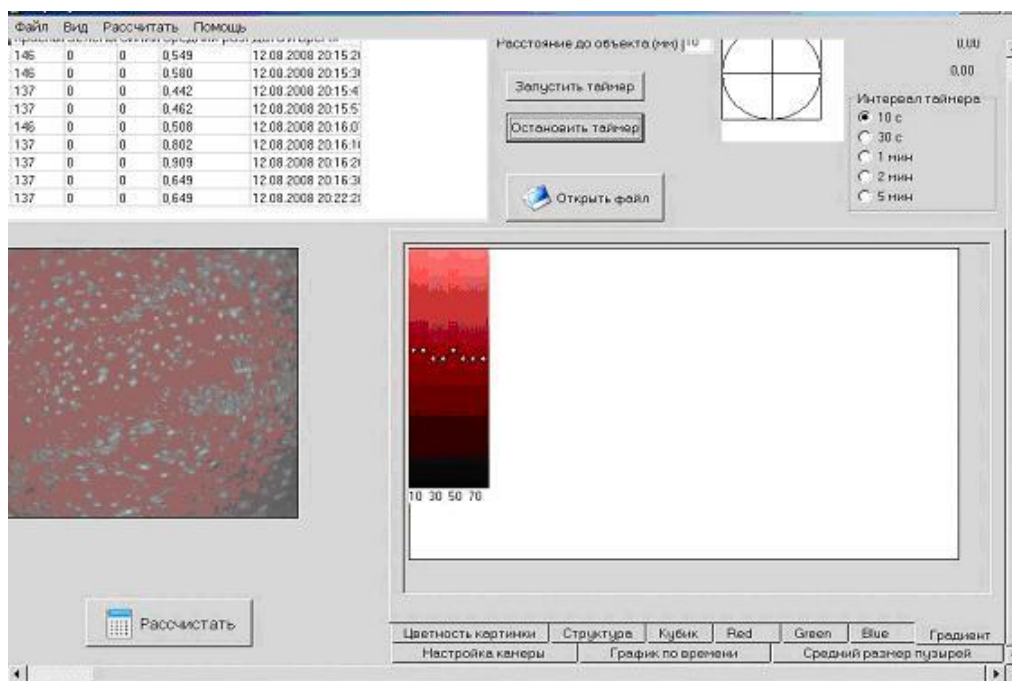


Рис. 2. Распределение флотационной пены в спектре

По оси ординат расположен цветовой спектр, по оси абсцисс — время. История графика сохраняется. Координаты времени и точки цвета сохраняются через заданный интервал в отдельный файл в табличном виде. Предусмотрена возможность копирования графиков. Распознавание цветности производится по нижеизложенному алгоритму, результат работы программы приведен на рис. 3, 4.

Имеется массив (от 0 до 255) для синего, красного и зеленого цветов. Для каждого пикселя увеличиваем на единицу значение соответствующей его (пикселя) цвету ячейку массива. Строится график зависимости количество пикселей от их цвета (от 0 до 255 для синего, красного и зеленого по отдельности).

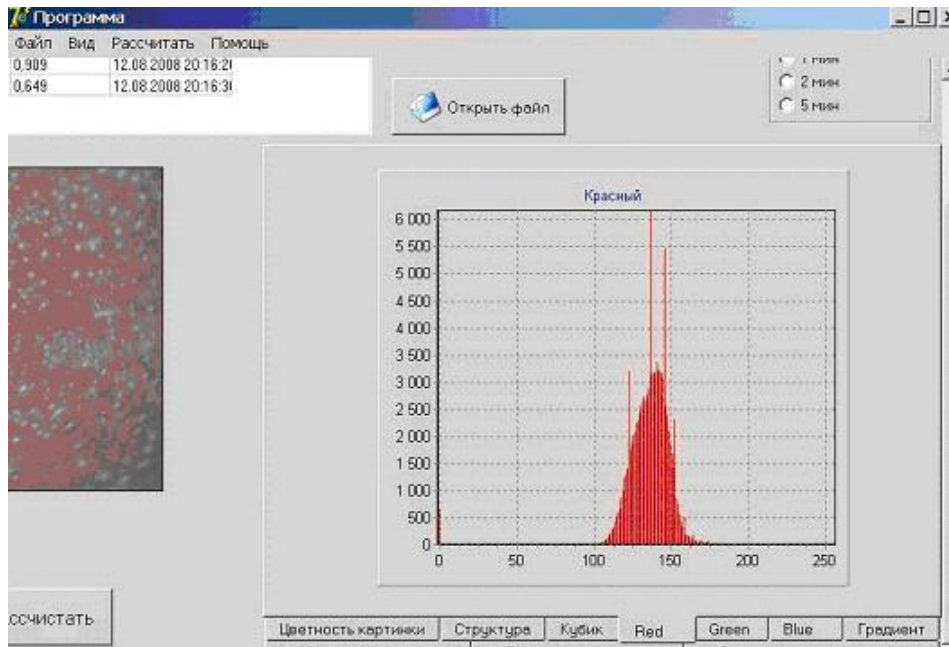


Рис. 3. Распознавание цветности

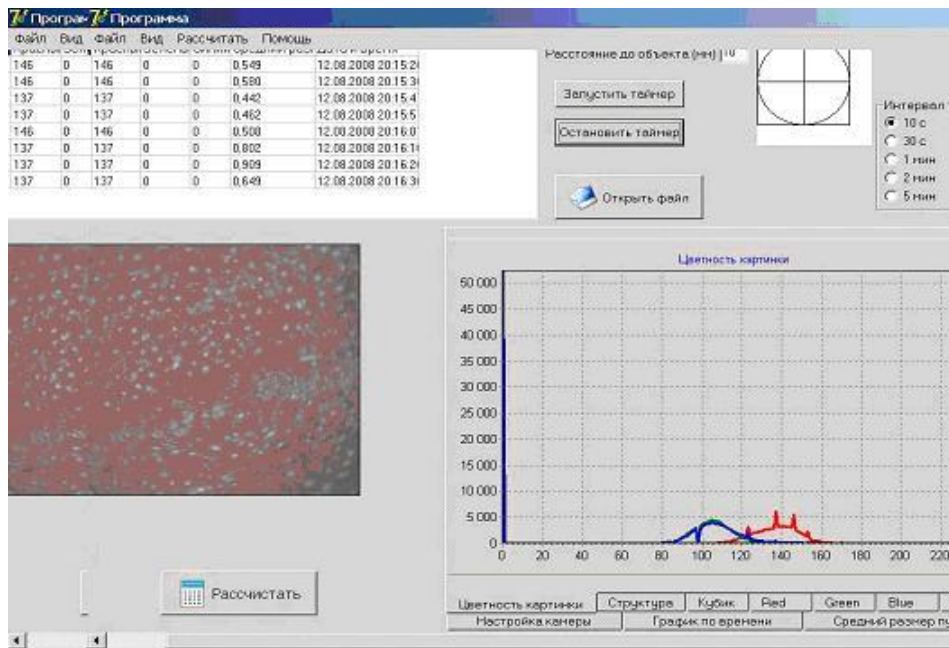


Рис. 4. Работа программы

Алгоритм распознавания структуры флотационной пены реализуется следующим образом. Находим наиболее светлые точки (светлее, заранее заданного цвета), они будут являться вершинами пузырей. На каждом элементарном участке оставляем только одну вершину, удаляя другие наиболее близлежащие (ближе, заранее заданного числа; это число можно регулировать в программе). Далее для каждого пикселя находится ближайшая вершина. На границе между пикселями, относящимися к разным вершинам рисуем линии, обозначающие границы пузырей (рис. 5, 6).

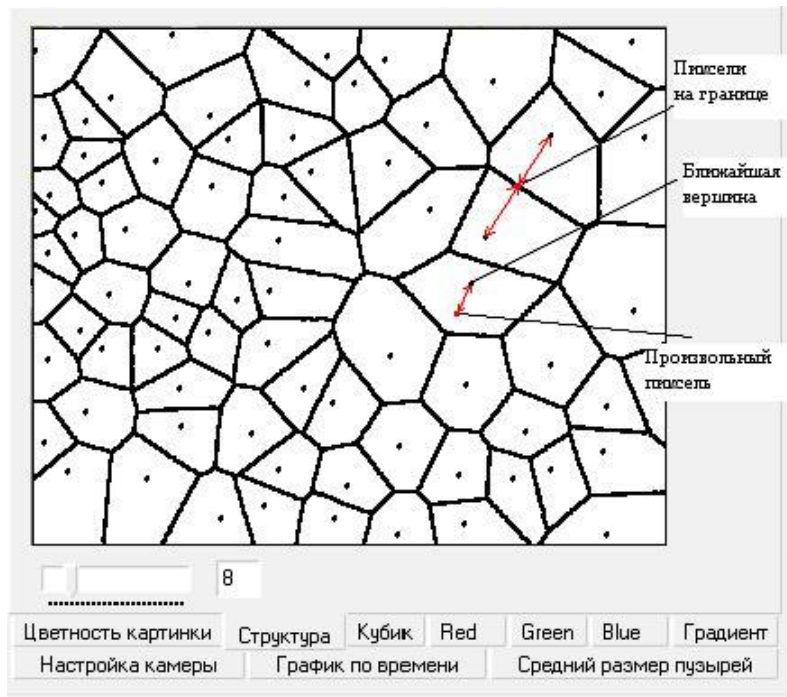


Рис. 5. Распознавание структуры флотационной пены

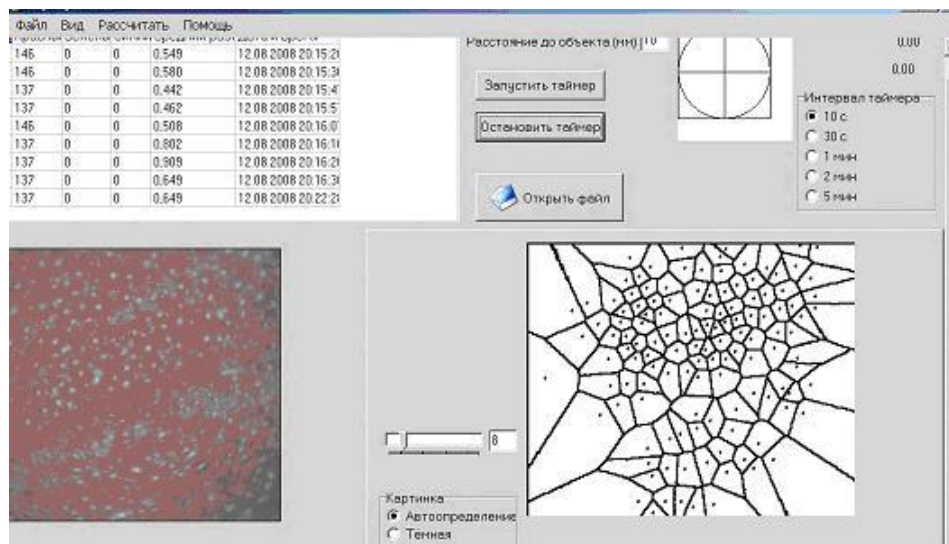


Рис. 6. Анализ флотационной пены

Программное обеспечение позволяет проводить анализ направления движения флотационной пены. Для этого определяем вершины (массив 1). Через небольшой интервал времени ( $t$ ) определяем вершины повторно (массив 2). Для каждой вершины из массива 1 определяем ближайшую вершину из массива 2. Вычисляем смещение между парами вершин. Рассчитываем среднее смещение (рис. 7).

Данный алгоритм работает, если смещение пузырей за период времени  $t$  много меньше среднего размера пузырей (расстояний между вершинами). При большой скорости движения пузырей необходимо уменьшать интервал времени  $t$ .

Для определения среднего размера пузырей площадь картинка делим на число вершин (число пузырей). Для того чтобы определяемая площадь пузырей соответствовала действительности, необходимо ввести значение расстояния от камеры до пузырей.

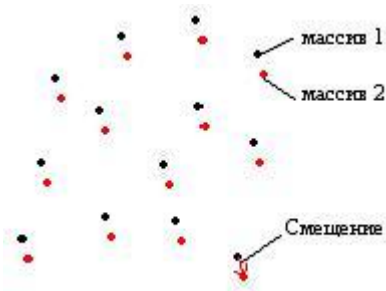


Рис. 7. Определение направления движения флотационной пены

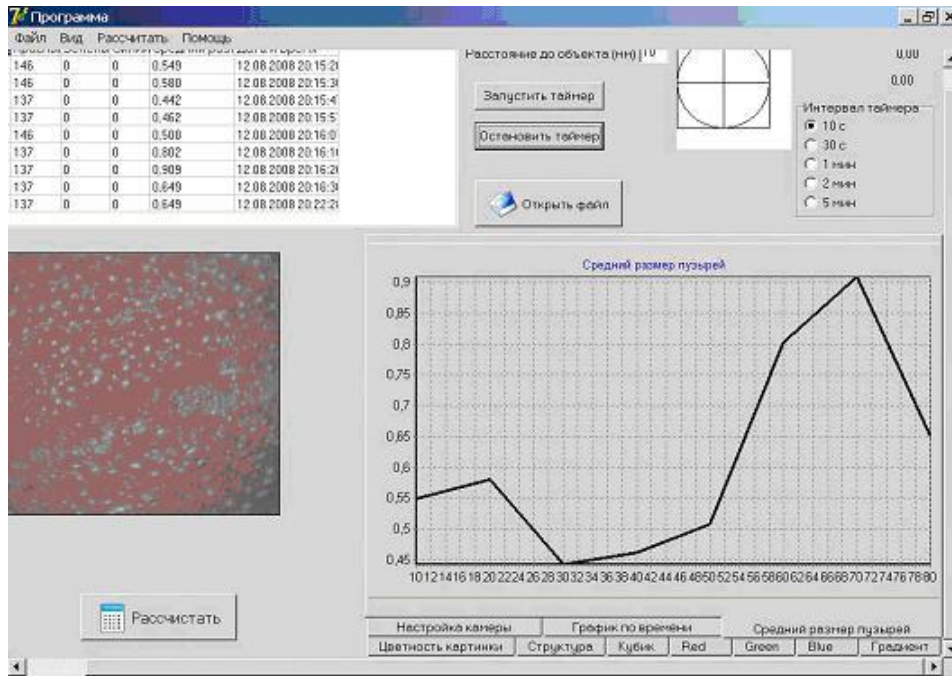


Рис.8. Определение среднего размера пузырей

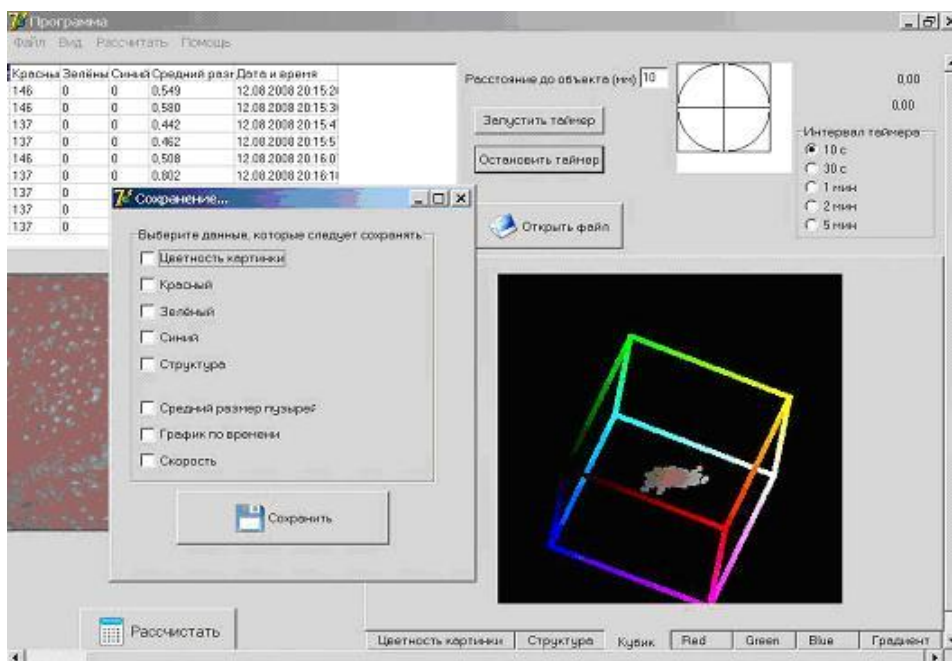


Рис. 9. Распределение координат в цветовом кубе

## Заклучение

Исследование процесса флотации калийной руды показало наличие большого числа входных и возмущающих воздействий с широким диапазоном изменения параметров. Агрессивность и специфические особенности продуктов обогащения усложняют процесс автоматического контроля и управления процессом флотации. Существующие автоматические системы измерения качественных показателей не обеспечивают необходимой точности. Необходим комплексный и системный подход для разработки автоматической системы контроля и управления параметрами процесса. Из-за нестационарности объекта математические модели, описывающие процесс, быстро становятся неадекватными.

Разработаны новые, эффективные методы и алгоритмы для синтеза системы управления процессом флотации, что обеспечивает решение важных производственных (прикладных) задач в области автоматизации технологических процессов.

Разработано программное обеспечение в виде исполняемого файла, в котором реализован удобный пользовательский интерфейс. Применены гибкие настройки программы, которые позволяют просматривать процесс флотации в режиме реального времени, задавать периоды опроса и анализа информации, поступающей с датчиков системы технического зрения.

## AUTOMATION OF TECHNOLOGICAL PROCESS OF FLOTATION OF POTASH ORES ON THE BASIS OF TECHNICAL SIGHT

D.S. OLIFEROVICH

### Abstract

One of the major processes by manufacture of potash fertilizers is process of flotation which in strong degree predetermines quality of an end-product. Efficiency of process flotation enrichments depends on a considerable quantity of factors that in strong degree complicates models of the description of process and predetermines complexity of management and flotation optimization.

### Литература

1. Печковский В.В., Пинаев Г.Ф., Дзюба Е.Д. и др. / Под ред. Печковского В.В. Технология калийных удобрений. Минск, 1980.
2. Александрович Х.М. Основы применения реагентов при флотации калийных руд. Минск, 1973.
3. Сазерленд К.Л., Уорк И.В. Принципы флотации. М., 2001.