

В електромобілі інший принцип руху, інша механіка і йому не тільки не потрібен бензин, а й коробка передач, яка теж відпадає від вартості продукту. Мінус податки за псування довілля вихлопами пального. Зрозуміло, витрати на бензин та сильно зменшені витрати на поточний ремонт, бо в електромобілі куди менше деталей, які підвержено поломці.

До цього потрібно додати, що з 2014 р. у США можливий випуск тільки автомобілів з гібридним двигуном або ж тільки з електричним. Більш того, автомобілі Tesla продаються вже у всьому світі. Крім США бази продажу є майже у всіх країнах Європи, в Австралії, Японії та Китаї.

Гібридний автомобіль створюється і в Україні, зокрема, в Харківському автодорожному університеті, де виготовили силовий агрегат внутрішнього згорання та електроприводу.

Оснащений гібридною установкою автомобіль «Ланос» зараз проходить випробування. Він викидає в атмосферу у два-три рази менше шкідливих речовин, ніж машини оснащені двигунами внутрішнього згорання.

На перший погляд електромобілі екологічніше й економніше ніж на бензині та дизпаливі, енергію насамкінець повинно бути десь вироблено, наприклад на атомній станції.

Отже дешевих енергосистем на сьогодні не існує і охорона довілля буде досить коштовною.

Висновки зрозуміло із вмісту викладеного матеріалу.

Рукопис подано до редакції 18.03.13

УДК 629.114:622.684

Ю.С. РУДЬ, д-р техн. наук, проф., В.В. ПОТАПЕНКО, старший преподаватель, ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

АНАЛИЗ ПОТОКОВ СОБЫТИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ БелАЗ

Выполнен анализ потоков событий, образованных переходами между технологическими состояниями на основе созданной математической модели функционирования карьерных самосвалов БелАЗ. Определено направление повышения эффективности эксплуатации горнотранспортных машин с возможностью адаптации для конкретного предприятия по критерию минимума затрат на владение.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. На промышленных предприятиях Украины эксплуатируется свыше 2500 карьерных самосвалов БелАЗ, в Кривбассе сосредоточено около трети украинского парка машин, в том числе более 250 грузоподъемностью 120-130 т. Позиции открытого способа разработки полезных ископаемых укрепляются, удельный вес самосвалов увеличивается. Углубление выработок ухудшает горно-технические условия, повышает эксплуатационные нагрузки, снижает надежность техники и эффективность транспортировки. Одним из резервов снижения стоимости жизненного цикла машин является усовершенствование технического обслуживания и ремонта.

Анализ исследований и публикаций. Продолжительная и надежная работа карьерных самосвалов возможна при условии систематического и качественного проведения мер технического обслуживания, диагностирования и ремонта.

Среди методов исследований по усовершенствованию технического обслуживания и ремонта карьерных самосвалов выделяются моделирование процессов эксплуатации [1-4]. В публикации [1] математическая модель функционирования самосвала построена на допущениях, что процесс функционирования марковский, при котором состояние машины в будущем зависит только от ее нынешнего состояния и не зависит от того, как машина к нему пришла; стационарный, вследствие чего процесс зависит от данного интервала времени и не зависит, с какого момента времени определяется этот интервал; ординарный в потоке переходов событий из одного состояния в другое, что означает, что при довольно небольшом интервале времени вероятность наступления двух или больше событий очень мала, по сравнению с вероятностью попадания одного события в данный интервал.

Карьерные самосвалы считают такими объектами, которые находятся в одном из состояний. Переходы машин из одних состояний в другие образуют потоки событий без последовательности. Принятые допущения существенным образом упрощают расчеты. Для стационарного потока событий интенсивности переходов являются постоянными, тогда как для нестационар-

ного - функциями времени.

При создании технических систем возникает проблема разработки такой стратегии технического обслуживания, которая позволила бы получить от эксплуатации системы максимально возможный эффект. Поэтому задачи профилактики ставятся, как задачи экстремальные и их можно называть оптимальными задачами надежности [3]. Снижение уровня надежности машин в связи с выработкой ресурса, приводит к сокращению ремонтного цикла и удорожанию ремонтов. В связи с этим оценка фактического технического состояния и повышения эффективности эксплуатации являются актуальными научными проблемами.

Постановка задачи. Целью работы является повышение эффективности эксплуатации карьерных самосвалов БелАЗ за счет использования результатов моделирования системы технического обслуживания, диагностирования и ремонта. Анализ потоков событий, образованных переходами между технологическими состояниями, определение их интенсивностей позволят повысить надежность работы и уменьшить затраты на владение.

Изложение материалов и результаты. Моделирование технологических процессов функционирования карьерных самосвалов является основой для оценки эффективности использования техники и прогнозирования ее состояния. В работе используется математический аппарат марковских процессов с дискретными состояниями и непрерывным временем [4]. При допущении о мгновенном выявлении отказа системы, немедленного начала ее обслуживания, восстановления можно составить теоретическую модель функционирования карьерных самосвалов, представив множество технологических состояний тремя подмножествами: эксплуатации, техобслуживания и ремонта (рис. 1).

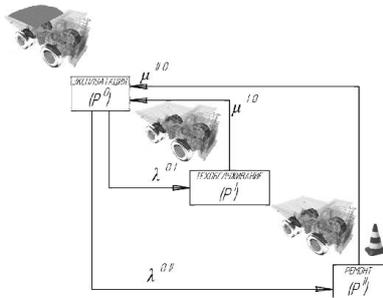


Рис. 1. Теоретический граф состояний карьерного самосвала в эксплуатации, техобслуживании и ремонте

Согласно этому графу система дифференциальных уравнений для вероятностей технологических состояний карьерных самосвалов имеет вид

$$\frac{dP^0(t)}{dt} = -(\lambda^{0I} + \lambda^{0II}) \cdot P^0(t) + \mu^{I0} \cdot P^I(t) + \mu^{II0} \cdot P^{II}(t), \quad (1)$$

$$\frac{dP^I(t)}{dt} = -\mu^{I0} \cdot P^I(t) + \lambda^{0I} \cdot P^0(t), \quad (2)$$

$$\frac{dP^{II}(t)}{dt} = -\mu^{II0} \cdot P^{II}(t) + \lambda^{0II} \cdot P^0(t) \quad (3)$$

где состояние 0 - самосвал эксплуатируется с вероятностью $P^0(t)$; состояние I - самосвал обслуживается с вероятностью $P^I(t)$; состояние II - самосвал ремонтируется с вероятностью $P^{II}(t)$; λ^{0I} , λ^{0II} - интенсивности переходов карьерного самосвала от эксплуатации к техобслуживанию и ремонту соответственно; μ^{I0} , μ^{II0} - интенсивности переходов к эксплуатации после техобслуживания и ремонта соответственно.

Нормировочное и начальные условия общей математической модели имеют вид

$$P^0(t) + P^I(t) + P^{II}(t) = 1, \quad P^0(0) = 1, \quad P^I(0) = P^{II}(0) = 0 \quad (4)$$

Используя такую модель можно определить вероятности состояний карьерного самосвала, если в начальный момент времени он был исправным. Данная модель является теоретически идеальной и описывает образцовую систему планово-предупредительного техобслуживания и ремонта, не допускающую внезапных отказов.

Фактическое функционирование карьерного самосвала БелАЗ с электромеханической трансмиссией характеризуется дискретными состояниями, которые определяет «Положение о техническом обслуживании, диагностировании и ремонте карьерных самосвалов БелАЗ» [5]. Они образуют структуру графа и соответствуют его вершинам - рабочим зонам (территории карьера и т.п.), пунктам (местам, зонам) технического обслуживания, диагностирования и ремонта. Дугами (ребрами) графа есть дороги (пути, переходы) между технологическими состояниями. Множество технологических состояний карьерных самосвалов разделяется на три подмножества: эксплуатацию, техническое обслуживание и ремонт.

Для карьерных самосвалов по периодичности, перечню и трудоемкости выполняемых работ установлены следующие виды технического обслуживания и ремонта: ежедневное техни-

ческое обслуживание - ЕО; первое техническое обслуживание - ТО-1 (через 250 моточасов); второе техническое обслуживание - ТО-2 (через 500 моточасов); третье техническое обслуживание - ТО-3 (через 1000 моточасов); сезонное техническое обслуживание - СО; регламентированный плановый ремонт - ПР-1 (через 4000 моточасов); регламентированный плановый ремонт - ПР-2 (через 8000 моточасов); внеплановый текущий ремонт - ТР.

На рис. 2 представлена уточненная модель функционирования карьерных самосвалов в виде графа состояний и переходов. Предложенный уточненный граф предусматривает десять технологических состояний.

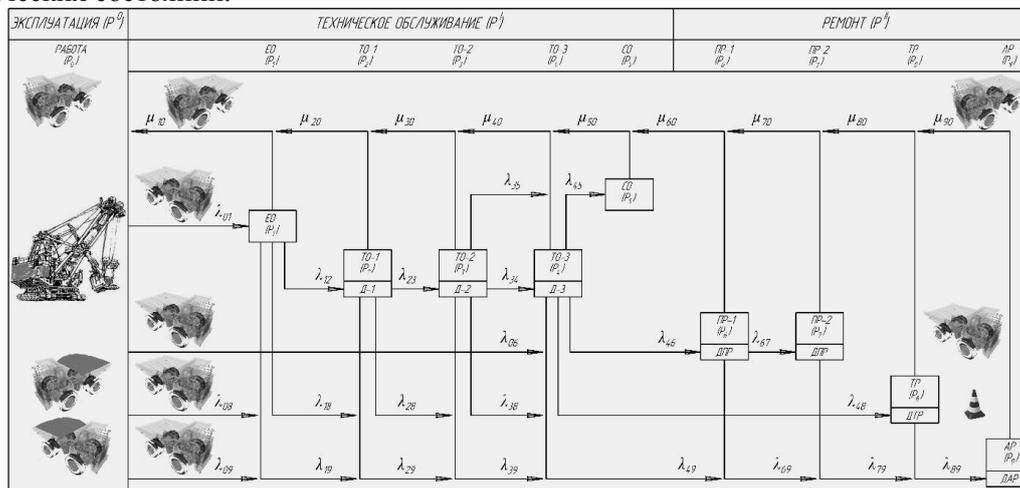


Рис. 2. Уточненный граф технологических состояний карьерных самосвалов БелАЗ

Исследования показали, что карьерные самосвалы до трети календарного времени находятся в техническом обслуживании и ремонте, а трудозатраты на эту работу достигают больше половины общих затрат на транспортировку.

На основе математической модели (рис. 2) составлены дифференциальные уравнения вероятностей нахождения в каждом из десяти технологических состояний функционирования карьерных самосвалов, которые объединены в систему (5-14)

работа
$$\frac{dP_0(t)}{dt} = -(\lambda_{01} + \lambda_{06} + \lambda_{08} + \lambda_{09}) \cdot P_0(t) + \mu_{10} \cdot P_1(t) + \mu_{20} \cdot P_2(t) + \mu_{30} \cdot P_3(t) + \mu_{40} \cdot P_4(t) + \mu_{50} \cdot P_5(t) + \mu_{60} \cdot P_6(t) + \mu_{70} \cdot P_7(t) + \mu_{80} \cdot P_8(t) + \mu_{90} \cdot P_9(t), \quad (5)$$

ежедневное обслуживание
$$\frac{dP_1(t)}{dt} = -(\mu_{10} + \lambda_{12} + \lambda_{18} + \lambda_{19}) \cdot P_1(t) + \lambda_{01} \cdot P_0(t), \quad (6)$$

техническое обслуживание - 1
$$\frac{dP_2(t)}{dt} = -(\mu_{20} + \lambda_{23} + \lambda_{28} + \lambda_{29}) \cdot P_2(t) + \lambda_{12} \cdot P_1(t), \quad (7)$$

техническое обслуживание - 2
$$\frac{dP_3(t)}{dt} = -(\mu_{30} + \lambda_{34} + \lambda_{35} + \lambda_{38} + \lambda_{39}) \cdot P_3(t) + \lambda_{23} \cdot P_2(t), \quad (8)$$

техническое обслуживание - 3
$$\frac{dP_4(t)}{dt} = -(\mu_{40} + \lambda_{45} + \lambda_{46} + \lambda_{48} + \lambda_{49}) \cdot P_4(t) + \lambda_{34} \cdot P_3(t), \quad (9)$$

сезонное обслуживание
$$\frac{dP_5(t)}{dt} = -\mu_{50} \cdot P_5(t) + \lambda_{35} \cdot P_3(t) + \lambda_{45} \cdot P_4(t), \quad (10)$$

плановый ремонт - 1
$$\frac{dP_6(t)}{dt} = -(\mu_{60} + \lambda_{67} + \lambda_{69}) \cdot P_6(t) + \lambda_{06} \cdot P_0(t) + \lambda_{46} \cdot P_4(t), \quad (11)$$

плановый ремонт - 2
$$\frac{dP_7(t)}{dt} = -(\mu_{70} + \lambda_{79}) \cdot P_7(t) + \lambda_{67} \cdot P_6(t), \quad (12)$$

текущий ремонт
$$\frac{dP_8(t)}{dt} = -(\mu_{80} + \lambda_{89}) \cdot P_8(t) + \lambda_{08} \cdot P_0(t) + \lambda_{18} \cdot P_1(t) + \lambda_{28} \cdot P_2(t) + \lambda_{38} \cdot P_3(t) + \lambda_{48} \cdot P_4(t), \quad (13)$$

аварийный ремонт
$$\frac{dP_9(t)}{dt} = -\mu_{90} \cdot P_9(t) + \lambda_{09} \cdot P_0(t) + \lambda_{19} \cdot P_1(t) + \lambda_{29} \cdot P_2(t) + \lambda_{39} \cdot P_3(t) + \lambda_{49} \cdot P_4(t) + \lambda_{69} \cdot P_6(t) + \lambda_{79} \cdot P_7(t) + \lambda_{89} \cdot P_8(t) \quad (14)$$

Нормировочное и начальное условия для системы уравнений (5-14) имеют вид

$$P_0(t) + P_1(t) + P_2(t) + P_3(t) + P_4(t) + P_5(t) + P_6(t) + P_7(t) + P_8(t) + P_9(t) = 1, \quad (15)$$

$$P_0(0) = 1, P_1(0) = P_2(0) = P_3(0) = P_4(0) = P_5(0) = P_6(0) = P_7(0) = P_8(0) = P_9(0) = 0 \quad (16)$$

Вероятность нахождения карьерных самосвалов в подмножестве техобслуживания (см. рис. 1) определяется суммой вероятностей всех видов обслуживания (см. рис. 2)

$$P^I(t) = P_1(t) + P_2(t) + P_3(t) + P_4(t) + P_5(t) \quad (17)$$

Вероятность нахождения карьерных самосвалов в подмножестве ремонта (рис. 1) определяется как сумма вероятностей всех видов ремонта (см. рис. 2)

$$P^{II}(t) = P_6(t) + P_7(t) + P_8(t) + P_9(t) \quad (18)$$

Анализируя совместно общую и уточненную математические модели, выполняем классификацию и определяем свойства потоков событий, технологических состояний и переходов между ними. Функционирование карьерных самосвалов происходит по трем потокам: двум потокам вывода из эксплуатации и одному потоку возвращения к ней.

Вывод карьерного самосвала из эксплуатации происходит в стационарном потоке плановых преобразований и нестационарном случайном потоке отказов. Возвращение карьерного самосвала в эксплуатацию происходит в объединенном смешанном потоке восстановлений, который образовывается после завершения всех видов поддержания и восстановления работоспособности в подмножествах технического обслуживания и ремонта.

Общая модель (рис. 1) также иллюстрирует два направления выхода из эксплуатации - в техническое обслуживание и в ремонт. Поток преобразований планомерно переводит карьерный самосвал из подмножества эксплуатации в подмножество технического обслуживания с интенсивностью внешнего перехода λ^{OI} . Это событие происходит чаще всего во время ежедневного и ежесменного обслуживания (рис. 2) с интенсивностью λ_{01} , т.е.

$$\lambda^{OI} = \lambda_{01}. \quad (19)$$

Поток преобразований дополняется переводом карьерного самосвала из подмножества эксплуатации в подмножество ремонта с интенсивностью внешнего перехода λ_{06} , которая в объединении с интенсивностью внешнего перехода от обслуживания λ_{46} образует объединенный входной поток в подмножество ремонта к плановым ремонтам с суммарной интенсивностью $\lambda_{06} + \lambda_{46}$.

По совокупности это и есть поток плановых преобразований, направленный от эксплуатации к плановым техническим обслуживаниям и ремонтам (рис. 3).

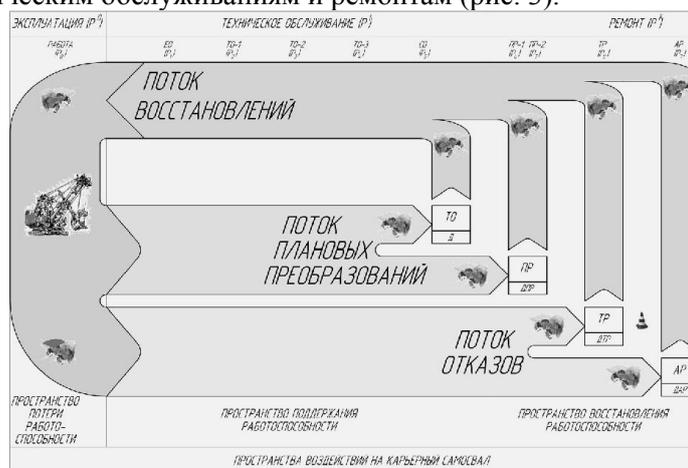


Рис. 3 Образование потоков событий функционирования карьерных самосвалов БелАЗ

Интенсивности плановых переходов самосвалов между технологическими состояниями практически не зависят от времени $\lambda_{ij}(t) = \lambda_{ij} \approx \text{const}$, где i - индекс начала дуги графа, j - индекс конца дуги графа.

В соответствии с «Положением» допустимые отклонения от нормативов периодичности технического обслуживания ТО-1 и ТО-2 составляют $\pm 10\%$, для других видов обслуживания и ремонтов $\pm 5\%$.

Другой причиной вывода карьерного самосвала из подмножества эксплуатации в подмножество ремонта являются внезапные отказы, которые и образуют поток отказов. Он состоит из внешних и внутренних переходов с интенсивностью, которая является функцией времени $\lambda_{ij}(t)$. Конечными вершинами таких переходов есть два технологических состояния: текущий и аварийный ремонты. Непосредственными прямыми являются внешние переходы λ_{08} и λ_{09} от эксплуатации к текущему и аварийному ремонтам соответственно.

Переход от эксплуатации к ремонту комбинированный, поскольку он формируется как из неплановых переходов отказов $\lambda_{08}, \lambda_{09}$, так и планового перехода преобразований λ_{06} .

Случайные переходы λ_{08} и λ_{09} имеют интенсивности, зависящие от времени $\lambda_{ij}(t)$ и образующие однородный и нестационарный поток отказов, поскольку он состоит из внезапных событий, приводящих к текущим или аварийным ремонтам.

Таким образом,

$$\lambda^{III} = \lambda_{06} + \lambda_{08} + \lambda_{09} \quad (20)$$

Отдельную группу образуют внутренние переходы в пределах подмножеств. Такие переходы есть как в подмножестве технического обслуживания: $\lambda_{12}, \lambda_{23}, \lambda_{34}, \lambda_{35}, \lambda_{45}$, для которых $1 \leq i \leq 4$, $2 \leq j \leq 5$ (все они плановые), так и в подмножестве ремонта: $\lambda_{67}, \lambda_{69}, \lambda_{79}, \lambda_{89}$ (только λ_{67} - плановый).

На практике существует комбинированный переход от техобслуживания к ремонту, который образуется из планового перехода преобразований λ_{46} и группы неплановых внезапных случайных переходов к текущему ремонту $j=8$ и к аварийному ремонту $j=9$. То есть

$$\lambda^{II} = \lambda_{46} + \lambda_{18} + \lambda_{28} + \lambda_{38} + \lambda_{48} + \lambda_{19} + \lambda_{29} + \lambda_{39} + \lambda_{49} + \lambda_{69} + \lambda_{79} + \lambda_{89} \quad (21)$$

После завершения всех видов поддержания трудоспособности в подмножестве технического обслуживания формируется однородный плановый поток возвращения в эксплуатацию после техобслуживания с интенсивностью

$$\mu^{IO} = \mu_{10} + \mu_{20} + \mu_{30} + \mu_{40} + \mu_{50} \quad (22)$$

После завершения всех видов восстановления трудоспособности в подмножестве ремонта формируется неоднородный смешанный поток возвращения в эксплуатацию после ремонтов с интенсивностью

$$\mu^{IIO} = \mu_{60} + \mu_{70} + \mu_{80} + \mu_{90}. \quad (23)$$

Эти потоки объединяются в смешанный полный поток восстановлений

$$\mu^{IO} + \mu^{IIO} = \mu_{10} + \mu_{20} + \mu_{30} + \mu_{40} + \mu_{50} + \mu_{60} + \mu_{70} + \mu_{80} + \mu_{90}, \quad (24)$$

для которых $j=0$. При этом все технологические состояния подмножеств техобслуживания и ремонта имеют прямой переход в работоспособное состояние подмножества эксплуатации.

Таким образом, математическая модель функционирования карьерного самосвала содержит 10 состояний, объединенных в 3 подмножества, 31 переход между ними, из которых 22 - переходы преобразований и отказов и 9 - переходы восстановлений, 22 - внешних и 9 - внутренних.

Решение системы дифференциальных уравнений позволит определить вероятности нахождения карьерных самосвалов в различных технологических состояниях, интенсивности переходов между ними и рационально корректировать действующую систему технического обслуживания.

Выводы и направление последующих исследований. В рамках разработанной математической модели выполнен анализ потоков событий, образованных переходами между технологическими состояниями карьерных самосвалов Криворожского железорудного бассейна.

На основе модели планируется выполнить оценку интенсивности переходов, потоков преобразований, отказов, восстановлений, определить законы распределения и параметры системы технического обслуживания, диагностирования и ремонта, с возможностью ее адаптации для конкретного предприятия по критерию минимума затрат на владение.

Список литературы

1. Монастирський Ю. А. Моделювання функціонування кар'єрних автосамоскидів / Ю.А. Монастирський // Качество минерального сырья: сб. научн. трудов. – Кривой Рог, 2011. – С. 420-424.

2. **Мариев П.Л.** Вибромониторинг технического состояния редукторов мотор-колес самосвала БелАЗ / **П.Л. Мариев, Н.Н. Ишин** // Проблемы карьерного транспорта. Материалы XI Международной научно-практической конференции - Екатеринбург: УрО РАН, 2011. – 230 с.

3. **Барзилович Е. Ю., Каштанов В. А.** Организация обслуживания при ограниченной информации о надежности системы. М., «Сов. радио», 1975. – 136 с. с ил.

4. **Вентцель Е. С., Овчаров Л. А.** Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит.– 1991. – 384 с.

5. «Положение в техническом обслуживании, диагностировании и ремонте карьерных самосвалов БелАЗ» г. Жодино, 2004.

Рукопись поступила в редакцию 19.03.13

УДК 622.74: 622: 765

В.С. МОРКУН, д-р техн. наук, проф., А.В. ПИКИЛЬНЯК, аспирант
ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ФАЗИРОВАННЫХ РЕШЕТОК ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАДАННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГАЗОВЫХ ПУЗЫРЬКОВ ПО РАЗМЕРАМ В ПРОЦЕССЕ ФЛОТАЦИИ

Приведено описание метода, позволяющего эффективно управлять составом газовой фазы пульпы в процессе флотации с использованием динамических эффектов высокоэнергетического ультразвука на базе технологии ультразвуковых фазированных решеток.

Ключевые слова: фазированная решетка, ультразвук, флотация, пульпа, газовая фаза, управление.

Проблема и ее связь с практическими задачами. Процесс флотации характеризуется, с одной стороны, достаточной сложностью и многообразием протекающих во флотомашине взаимосвязанных химических и физико-механических процессов, с другой стороны - отсутствием возможности на многих обогатительных фабриках непрерывного оперативного контроля за рядом важнейших технологических параметров.

Анализ исследований и публикаций. Для понимания физических процессов, определяющих флотацию необходимы точные данные о параметрах газовой фазы, из которых наиболее важными являются, размер и распределение пузырьков по размерам. Размер пузырька определяет площадь поверхности, на которой взаимодействуют твердые частицы и пузырьки, и которая вносит существенный вклад в гидродинамику системы и общую производительность флотации. Размер единичного пузырька и распределение пузырьков по размерам в камере сильно зависит от различных эксплуатационных, технических и химических факторов, воздействие которых следует учитывать при проектировании или моделировании процесса флотации.

Для того, чтобы обеспечить оптимальные условия флотации, необходимо, чтобы распределение газовых пузырьков и частиц руды по крупности совпадали. В противном случае, если размеры пузырьков будут значительно больше размеров частиц, гидродинамические потоки вблизи поверхности пузырька будут уносить частицы и тем самым препятствовать их присоединению к пузырьку, пузырьки же меньших размеров не смогут поднять гидрофобные частицы руды к поверхности пульпы.

В пневмомеханических флотационных машинах распределения пузырьков по размерам зависит от следующих факторов: скорость вращения ротора, расход воздуха, способ подачи воздуха в камеру флотации, которая зависит от типа машины, а также поверхностного натяжения флотационного раствора. Определенное влияние на окончательную форму распределения оказало явление, которое обратное процессу диспергирования пузырьков воздуха, т.е. явление коалесценции.

Поведение газового пузырька в жидкости может быть различным – чисто сферические пульсации, возникновение колебаний поверхности пузырька, при которых происходит нарушение сферической симметрии движения, трансляционное движение, взаимодействие и дробление пузырьков на более мелкие, возникновение кумулятивных микропотоков и т.д.

Измерение распределения пузырьков по размерам и доли пустот является очень важным в исследованиях гетерофазных потоков. Для получения такой информации на сегодняшний день используется ряд методов [1-3], которые могут быть разделены на оптические методы (фотография, голография, рассеяние, рентгенография), акустические методы (рассеяние, затухание,