



004616584

На правах рукописи

ЗОЛОТАРЕВ СЕРГЕЙ ЮРЬЕВИЧ

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ДРОБЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ МОДУЛЬНОГО
ПРИНЦИПА ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ
ДРОБИЛЬНО – СОРТИРОВОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ
СЛУЧАЙНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОНЕНТОВ РЕЦЕПТА НА КАЧЕСТВО
БЕТОННОЙ СМЕСИ**

Специальность 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и
производствами (промышленность)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

- 9 ДЕК 2010

Москва 2010

Работа выполнена в Московской государственной академии коммунального хозяйства
и строительства (МГАКХиС)

Научный руководитель - Доктор технических наук,
профессор Суэтина Татьяна Александровна

Официальные оппоненты: Доктор технических наук,
профессор Илюхин Андрей Владимирович

Кандидат технических наук
Базин Станислав Сергеевич

**Ведущая организация: Учреждение Российской академии наук Комплексный
научно-исследовательский институт РАН (КНИИ РАН), г. Грозный.**

Защита состоится 28 декабря 2010г. в 11 часов на заседании диссертационного
совета Д212.153.03 в Московской государственной академии коммунального хозяйства
и строительства, по адресу: 109029, Москва, Средняя Калитниковская, 30.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГАКХиС по адресу:
109029, Москва, Средняя Калитниковская, д. 30

Автореферат разослан «26» ноября 2010г.

Отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный печатью, просим
направлять а адрес академии.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, профессор



И.И. Павлинова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность задач исследований. Большое разнообразие типоразмеров и конструктивных решений современного дробильно-сортировочного оборудования, связано с повышенным спросом на качественный щебень определенного фракционного состава и оптимизацией технико-экономических показателей технологии дробления. Решение этих задач невозможно без внедрения современных систем автоматизации.

Однако опыт автоматизации дробильного оборудования в строительстве показывает его недостаточную эффективность, из-за сужения области применения и локальности решаемых задач. Автоматизированному управлению отводится второстепенная роль, ограничивая его задачами обеспечения жизнедеятельности технологических режимов, контроля и исключения аварийных ситуаций. В имеющихся разработках делается упор, в первую очередь, на обоснование технологических нормативов и конструктивных решений, не затрагивая задач комплексного подхода к организации дробильно-сортировочного автоматизированного производства (ДСАП) на основе модульного принципа формирования технологически и функционально связанных дробильных установок.

ДСАП относится к системам с перенастраиваемой технологией, функционирующей в условиях меняющихся свойств материального потока, эффективность управления которым зависит от состояния объектов управления и условий производства. Создание ДСАП предполагает решение задач анализа свойств и состояний взаимосвязанных дробильных машин, условий их функционирования с учетом влияния случайных характеристик компонентов рецепта на качество бетонной смеси. Такая организация структуры дробильно-сортировочного производства, обеспечивает широкие возможности его оперативной перестройки и адаптации в условиях изменяющегося спроса на фракционированный щебень.

Поэтому задача разработки эффективного дробильно-сортировочного автоматизированного производства с использованием агрегатно-модульного принципа компоновки агрегатов дробления, является актуальной.

Цель работы. Разработка и исследование оптимальной структуры дробильно-сортировочного автоматизированного производства с использованием агрегатно-модульного принципа компоновки дробильных машин, обеспечивающего снижение эксплуатационных затрат и расширение возможностей его оперативной перестройки и

адаптации к влиянию случайных характеристик компонентов рецепта на качество бетонной смеси и условиям изменяющегося спроса на фракционированный щебень.

Для достижения поставленной цели:

- Определена структура стандартного модуля и физическое наполнение дробильно-сортировочного автоматизированного производства с использованием дробилок с различающимися характеристиками зернового состава фракционированного щебня;
- Предложен метод оценки выхода отдельных фракций дробленого щебня через нормированный рецепт, что позволяет представлять его область определения и фиксировать не только ее линейные размеры, но и физические ограничения изменения рецепта;
- Разработана математическая модель получения заданного соотношения фракционированного заполнителя (рецепта), в которой принят гибкий принцип формирования ограничений в области возможных изменений качественных характеристик смеси, учитывающий их вероятностную меру выхода за пределы допустимой области.
- Разработана система автоматизированного непрерывного управления технологическим оборудованием дробления стандартного модуля с оперативным контролем и коррекцией параметров потока каменного материала, обеспечивающая заданное по рецепту соотношение фракций щебня.
- Проведены аналитические исследования статических и динамических характеристик дробилок как объектов автоматического регулирования.
- Показано, что дробильно-сортировочное производство можно рассматривать как многоканальную систему массового обслуживания с ожиданием, для которой решены прямая и обратная задачи оценки эффективности по показателю производительности.
- Выполнена экспериментальная проверка полученных результатов.

Методы исследований. Результаты диссертационной работы получены на основе комплексного использования методов теории вероятностей и математической статистики; математического программирования и систем автоматического управления; теории массового обслуживания.

Научная новизна. Основным научным результатом является развитие теории и практики оптимизации процессов дробления на основе модульного принципа формирования технологической структуры дробильно – сортировочного производства с использованием дробилок с различающимися зерновыми характеристиками.

Научная новизна работы заключается в:

выявлении закономерностей функционирования автоматических систем управления агрегатами дробления, исходя из случайного характера изменения компонентов

рецепта и технико-экономических требований к гранулометрическому составу фракционированного щебня;

определении структуры и физического наполнения стандартного модуля дробильно-сортировочного автоматизированного производства с использованием щековых и конусных дробилок;

оценке эффективности и выборе критериев оптимизации процесса дробления нерудных строительных материалов в линиях многостадийного дробления.

разработке математического аппарата модельного описания элементов структуры стандартного модуля дробильно-сортировочного автоматизированного производства.

решении прямой и обратной задач оценки эффективности дробильно-сортировочного производства как модели многоканальной системы массового обслуживания по показателю производительности.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Результаты анализа технологии и технических средств процесса дробления каменного материала, позволяющие выработать научный подход и методические основы разработки критериальных функций и моделей дробильно-сортировочного автоматизированного производства, обеспечивающих получение заданного рецепта.

2. Структура, физическое наполнение и системы управления стандартного модуля дробильно-сортировочного автоматизированного производства с использованием щековой и конусной дробилок;

3. Математические модели и методы моделирования элементов структуры стандартного модуля дробильно-сортировочного автоматизированного производства.

4. Решение прямой и обратной задач оценки эффективности дробильно-сортировочного производства как многоканальной системы массового обслуживания.

Практическая ценность. Результаты исследований в области автоматизации процессов дробильно-сортировочного автоматизированного производства фракционированного щебня, являются практической базой для выбора структур систем автоматизации, обеспечивающих максимальный выход фракций щебня в соответствии с заданным рецептом. Результаты работы внедрены в ООО «МОЭМ Технострой-В». Ориентировочный расчет показывает, что возможный экономический эффект от внедрения результатов исследований составит 5-8%.

Апробация работы. Основные результаты работы доложены и получили одобрение на 19-й международной научной конференции «Транспорт 2009» (г. София), и на кафедрах автоматизации производственных процессов МАДИ и автоматизации технологических процессов и строительных производств МГАКХиС.

Публикации. Основные научные и практические результаты диссертации изложены в 11 печатных работах.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, общих выводов, списка использованной литературы, насчитывающего 61 наименование, и содержит 196 страниц, 74 рисунка, 7 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность, научная и практическая значимость работы, формулируются цель и методы достижения цели.

Первая глава посвящена анализу технологических схем и технических средств дробления. Сформулированы основные задачи технологического и технического совершенствования процессов дробления, позволяющие выработать научный подход и методические основы разработки структуры, критериальных функций и моделей дробильно-сортировочного автоматизированного производства.

Опыт автоматизации дробильного оборудования в строительстве показывает его недостаточную эффективность. Работы же по проблемам повышения эффективности ДСАП как замкнутой самостоятельной структуры отсутствуют.

В условиях неопределённости спроса на конечный продукт возникает задача оптимальной организации структуры производства, обеспечивающей её оперативную перестройку. Новизна подхода к разработке ДСАП связана с агрегатно-модульным принципом компоновки дробильных машин, вспомогательного технологического и сортировочного оборудования. Необходимо обосновать оптимальный по эффективности процессов дробления модуль ДСАП, его структурное и функциональное наполнение на основе принятой критериальной функции, обеспечивающих способность эффективно воспринимать возможные вариации технологии при изменении требуемых объёмов и качества продуктов дробления. Для реализации этих задач необходима разработка математической модели дробильно-сортировочного производства, которая позволяет системе управления индивидуально и самостоятельно оценивать производственные условия. Решая задачи синтеза структурного состава ДСАП, необходимо обеспечить его эффективность по выбранным качественным показателям в условиях изменяющегося спроса на конечный продукт. Переход к дробильно-сортировочному автоматизированному управлению на основе математических моделей отдельных агрегатов позволяет с максимальной эффективностью решить задачу производства щебня заданного фракционного состава. Математические модели машин дробления представляют собой передаточные функции с постоянными коэффициентами, которые аккумулируют в себе основные свойства каменного материала, такие как его прочность и крупность. На основании изложенного

можно сформулировать основные задачи исследований. Синтез ДСАП должен исходить из использования агрегатно-модульного принципа компоновки агрегатов дробления, вспомогательного и сортировочного оборудования. Основу технологических линий дробления должны составлять стандартные модули ДСАП, включающие в себя дробильно-сортировочные агрегаты и системы управления, а так же устройства, для выполнения вспомогательных технологических операций (рис.1).

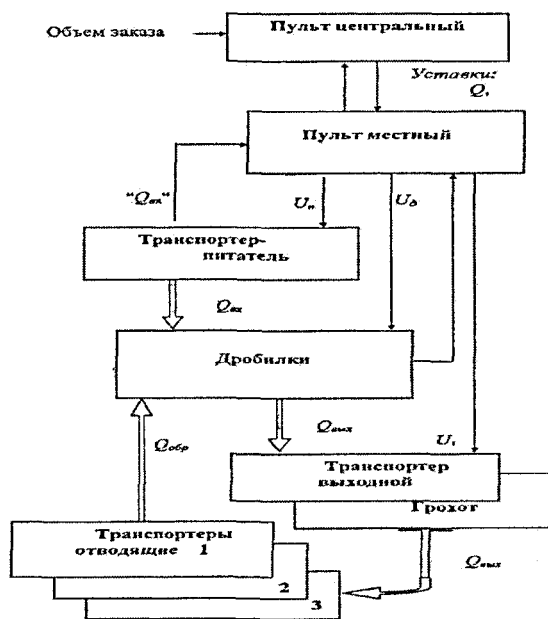


Рис.1. Функциональная схема стандартного модуля ДСАП

Необходимо обосновать оптимальный по эффективности состава модуля ДСАП, его структурное и функциональное наполнение на основе принятой критериальной функции, обеспечивающих гибкость, способность, эффективно воспринимать возможные вариации технологии при изменении требуемых объёмов и качества продуктов дробления.

Во второй главе рассматриваются вопросы выбора оптимального варианта технологической схемы модуля ДСАП, типа дробилок и их расстановки в его технологической схеме для получения заданного соотношения фракционированного заполнителя (рецепта).

Основным критерием при выборе конкретной технологической схемы процесса двухстадийного дробления должны служить ее потенциальные возможности по реализации и перенастройке рецептов. Наличие на первой стадии двух дробилок с различающимися зерновыми характеристиками позволяет стабилизировать производительность всей схемы и

достичь высокой производительности первичного дробления (рис.2а). Область определения нормированных рецептов А такой схемы представлена на рис.3. Технологические схемы (рис.2б,в) представляют собой два предельных способа использования схемы с четырьмя дробилками. При полном отклонении заслонки шибера бункера поток материала будет подвергаться переработке либо в конусной, либо в щековой дробилках.

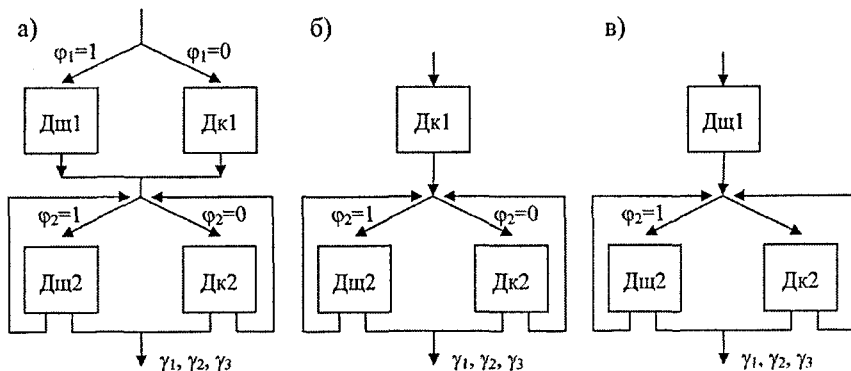


Рис. 2. Схема двухстадийного дробления (Дщ,Дк – дробилки щековая, конусная; φ_1, φ_2 – коэффициенты перераспределения потока материала; $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ – выход товарных фракций щебня)

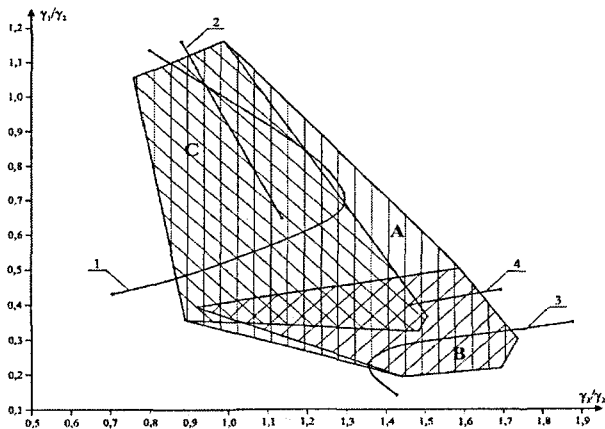


Рис. 3. Области определения нормированных рецептов и регулировочные характеристики дробилок: 1 – щековой в прямом цикле; 2 – щековой в замкнутом цикле; 3 – конусной в прямом цикле; 4 – конусной в замкнутом цикле

При использовании на первичной стадии дробления конусной дробилки (рис.2б) существенно сужается область определения рецептов (область В на рис.3) Область определения нормированных рецептов С (рис.3) с первичной щековой дробилкой уже, чем при использовании схемы с четырьмя дробилками. Однако в сравнении с вариантом (рис.2б) такая схема обладает большей гибкостью при варьировании соотношений фракций.

Область определения рецептов C покрывает до 70% площади области A , причем рецепты недоступные третьей схеме, находятся преимущественно в той части диаграммы, где соотношение крупной и средней фракций превышает 1,5, что крайне редко встречается в рецептах заполнителей строительных смесей. Поэтому нет необходимости в сложных схемах дробления с двумя первичными дробилками (рис. 2а). Достаточно использовать схему с первичной щековой дробилкой и вторичными дробилками с различающимися зерновыми характеристиками (рис. 2в).

В главе 3 решается задача разработки математической модели зависимости качества сухой смеси от случайного характера формирования выхода заданных по рецепту фракций дробленого щебня.

Если обозначить выход заданных фракций щебня (ФЩ)

$$\gamma_{\text{вых}} = \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3,$$

где γ_j – доля j -й ФЩ на выходе дробилки от входящего в нее потока каменного материала, то рецепт представляется тремя компонентами $[C_1, C_2, C_3]$:

$$C_1 = \gamma_1 \cdot \gamma_{\text{вых}}^{-1}, C_2 = \gamma_2 \cdot \gamma_{\text{вых}}^{-1}, C_3 = \gamma_3 \cdot \gamma_{\text{вых}}^{-1}; C_1 + C_2 + C_3 = \sum_{i=1}^3 C_j = 1,100 \text{ [%]}$$

Рецепт формируется на основе оперативной информации о свойствах смеси. В практике строительного производства считается, что существует определенная область изменения параметров качества смеси $Q_i^0 (i = 1, 2, \dots, m_1)$, в пределах которой Q_i^H, Q_i^B они не оказывают отрицательного влияния на ход процессов формирования готовых изделий:

$$Q_i^H \leq Q_i^0 \leq Q_i^B. \quad (1)$$

Поддержание процентных содержаний компонентов рецепта C_j^0 с максимальной точностью в ходе технологического процесса обеспечивает постоянство значений параметров Q_i^0 .

Состав большинства строительных смесей основан на аддитивной зависимости параметров $Q_i^0 (i = 1, 2, \dots, m)$ от соответствующих свойств компонентов:

$$Q_j^0 = \sum_{j=1}^n a_{ij} C_j^0 \text{ или } \bar{Q}^0 = A \times C^0, \quad (2)$$

где $A = \|a_{ij}\|$ – $(m * n)$ - матрица свойств компонентов, n – количество компонентов рецепта, a_{ij} – коэффициенты влияния i -го свойства j -го компонента рецепта на качество смеси.

Доза g_j^0 j -го компонента рецепта в порции массы G_0 определяется выражением $g_j^0 = 0.01 G_0 C_j^0$.

Реальные значения компонентов рецепта, полученные в процессе дробления каменного материала g_j^0 , C_j^0 , отличаются от их расчетных значений C_j^0 на величину погрешности δ_j полученного j -го компонента рецепта, определяемую случайными технологическими факторами:

$$C_j = C_j^0(1 + 0,01\delta_j), \quad \delta_j = \frac{\Delta g_j}{G^0} * 100, [\%] \quad (3)$$

где δ_j - погрешность получения j -го компонента рецепта принимает любое значение в интервале $[-\Delta_j, \Delta_j]$.

Величины C_j в (3), являясь функциями δ_j , также случайны.

Область Ω имеет верхние Q_i^h и нижние границы Q_i^h изменения i -х параметров, математическое ожидание и дисперсия которых, будут:

$$M\{Q_i(Y, \bar{\delta})\} = \sum_{j=1}^n (M\{y_{ij}\} + K\{a_{ij}, C_j^0\}), \quad (4)$$

$$D\{Q_i(Y, \bar{\delta})\} = \sum_{j=1}^n [D\{y_{ij}\} + 2\sum_{l=1}^n K\{y_{ij}, y_{il}\} + 10^{-4} [(D\{y_{ij}\} + M^2\{y_{ij}\}) * D\{\delta_j\}]],$$

где $y_{ij} = a_{ij}x_j^0$ - вклады j -го компонента в i -й параметр качества

В случае независимости математических ожиданий $M\{Q_i^0\}$ и $M\{C_j\}$ от случайных ошибок компонентов рецепта, это может сказаться только на дисперсии параметров Q_i .

Вероятность $P(Y, \bar{\delta})$ максимальна, если ошибки процентного содержания компонентов в рецепте отсутствуют и равна P^0 . При наличии случайных ошибок P^0 уменьшается на величину ΔP_j .

Все элементы вектора \bar{Q} гарантированно попадают в область Ω , если состав рецепта C_j^0 строительной смеси не выходит за область постоянных по величине ограничений:

$$Q_i^h + \sum_{j=1}^n a_{ij} \Delta C_j^h \leq \sum_{j=1}^n a_{ij} C_j^0 \leq Q_i^h - \sum_{j=1}^n a_{ij} \Delta C_j^h, \quad (\Delta C_j^h = 0.01 C_j^0 \Delta j), \quad (5)$$

менее широкой, чем начальная область Ω .

Необходимо учитывать тот факт, что случайные ошибки Δj выхода j -го компонента фракций щебня примут свои максимальные значения очень мала. Поэтому не рационально границы изменения параметров Q_i уменьшать на величину $\sum_{j=1}^n a_{ij} \Delta C_j^h$, так как при этом изменяются оптимальные значения переменных C_j^0 .

Можно заменить детерминированные ограничения (5) менее жесткими:

$$Q_i^H + W^{-1}_{\omega_i}(\beta_i) \leq \sum_{j=1}^n a_j C_j^0 \leq Q_i^B - W_{\omega_i}^{-1}(\beta_i), \quad (6)$$

где функция распределения $W^{-1}_{\omega_i}(\gamma_i)$ является вероятностным аналогом детерминированных ограничений.

Гарантировать требуемое качество бетонной смеси при наличии случайных ошибок выхода фракций щебня по рецепту с вероятностью $1 - \beta$, позволяет решение детерминированной задачи математического программирования:

$$\text{opt} \left[F(\bar{C}^0) / Q_i^H + \aleph_i \sqrt{D \left\{ \sum_{j=1}^n a_j \Delta C_j \right\}} \leq \sum_{j=1}^n a_j C_j^0 \leq Q_i^B - \aleph_i \sqrt{D \left\{ \sum_{j=1}^n a_j \Delta C_j \right\}} \right] \quad (7)$$

или

$$\text{opt} \left[F(\bar{C}^0) / Q_i(\bar{C}^0, \delta) \in \Omega_i \right].$$

Процесс дробления можно представить непрерывной последовательностью циклов, в каждом из которых может быть получена исчерпывающая информация о статистических характеристиках потока дробленого материала. Выбор интервала времени Δt между измерениями производится с учетом использования данных независимых наблюдений.

Возможна коррекция результатов дробления по окончании каждого цикла, когда k -компонентов рецепта в выражении $Q_i = \sum_{j=1}^n a_j C_j$ принимают реальные значения.

Тогда задача оптимизации выглядит так:

$$\begin{aligned} \min \left[F(C_j) / Q_i^H + \aleph_i \sqrt{D \left\{ \sum_{j=1}^n a_j \Delta C_j \right\}} \right] + \sum_{j=1}^k a_j C_j \leq \sum_{j=k+1}^n a_j C_j \leq Q_i^B - \aleph_i \sqrt{D \left\{ \sum_{j=1}^n a_j \Delta C_j \right\}} \\ - \sum_{j=1}^k a_j C_j; \Delta C_j + C_j^0 = \bar{C}_j (j = \bar{1}, \bar{k}); \sum_{j=1}^n \gamma_j = 1; \gamma_j \geq 0 \end{aligned} \quad (8)$$

где $-\sum_{j=1}^k a_j C_j$ - изменение показателей качества бетонной смеси за счет учета изменения составляющих рецепта; γ_j - долевые соотношения компонентов рецепта; \aleph_i - постоянный коэффициент.

Можно поддерживать качественные характеристики смеси на расчетном уровне за счет коррекции отклонений заданных по рецепту долевых составляющих дробленого материала, изменением вкладов долевых составляющих в последующих циклах дробления в зависимости от ошибок дробленного по рецепту материала.

Диапазон изменения дисперсий Q_i происходит в пределах неравенства:

$$D\{Q_i(Y_i)\} \leq D\{Q_i(Y_i, \delta_j)\} \leq D\{Q_i(Y_i, \bar{\delta}_j)\}, \quad (9)$$

где дисперсия долевых составляющих дробленого материала по рецепту минимальна при отсутствии ошибок и максимальна при их наличии.

Предложенный алгоритм коррекции состава смеси дает возможность использовать информацию о текущих значениях долевых составляющих дробленого материала по рецепту для достижения глобального критерия всей системы приготовления бетонной смеси, варьируя величины $D\{Q_i(Y_i, \delta_i)\}$ в области ограничений (9) в конце каждого цикла дробления.

Корреляционные моменты $K\{y_{ij}, y_{ii}\}$ меняются при изменении вероятностных переменных C_i . Не постоянство статистических характеристик $D\{C_i\}$ и $D\{C_j\}$ приводит к изменению $K\{y_{ij}, y_{ii}\}$:

$$K\{y_{ij}, y_{ii}\} = M\{a_{ij}\} \{M\{a_{ii}\} K\{C_j^0, C_i^0\} - M\{C_j\} K\{a_{ii}, C_i^0\} - M\{a_{ii}\} \{M\{C_i^0\} K\{a_{ij}, C_j^0\} - K\{a_{ij}, C_j^0\} K\{a_{ii}, C_i^0\}\} + K\{a_{ij}, a_{ii}, C_j^0, C_i^0\}. \quad (10)$$

Корреляционные моменты $K\{C_j^0, C_i^0\}$, $K\{a_{ii}, C_i^0\}$, $K\{a_{ij}, C_j^0\}$, $K\{a_{ij}, a_{ii}, C_j^0, C_i^0\}$ в (10) функционально зависят от дисперсий $D\{C_i^0\}$ и $D\{C_j^0\}$, изменяясь вместе с ними.

По аналогии с линейной зависимостью $D\{C_{ij}\} = f(D\{C_j\})$, можно получить функциональную связь корреляционных моментов от дисперсии $D\{C_i\}$:

$$D\{Q_i(Y_i, \bar{\delta})\} = D_i^0 + \sum_{j=1}^n [b_{ij} D\{C_j^0\} + (c_{ij}^* \cdot D\{C_j^0\} + d_{ij}) \cdot D\{\delta_j\}]. \quad (11)$$

В соответствии с (10), (11) постоянные коэффициенты c_{ij}^* , d_{ij} в этих выражениях рассчитываются, исходя из значений математических ожиданий и дисперсий свойств коэффициентов a_{ij} , процентных содержаний фракций щебня по рецепту C_j^0 . Учитывая постоянство коэффициентов c_{ij}^* , d_{ij} , а также малые изменения $D\{C_j^0\}$ в границах области (1), можно считать, что $c_{ij}^* D\{C_j^0\} + d_{ij} = \text{const}$.

Тогда выражение (11) можно представить в векторной форме:

$$\vec{D} = \vec{D}^0 + B \times \vec{D}^* + C \times \vec{D}^{\delta}, \quad (12)$$

где элементы $(m \times n)$ - матрицы C записываются в виде выражений $c_{ij} = c_{ij}^* D\{C_j^0\} + d_{ij}$, а элементы m - векторов $\vec{D}, \vec{D}^0, \vec{D}^*, \vec{D}^{\delta}$ будут:

$$D_i = D\{Q_i(Y_i, \bar{\delta})\}, \quad D_i^0 = D\{\theta_i^0\}, \quad D_j^* = D\{C_j^0\}, \quad (13)$$

$$D_j^{\delta} = D\{\delta_j\}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

В выражении (11) коэффициенты c_{ij} положительны. Коэффициенты b_{ij} могут быть положительными или отрицательными, из-за возможного отрицательного знака корреляционных моментов $K\{C_j^o, C_i^o\}$, $K\{a_{ij}, C_j^o\}$.

Увеличение в процессе дробления дисперсии $D\{Q_i\}$ можно скомпенсировать изменением $D\{C_j\}$, используя соотношение (12).

Условие полной компенсации i -го отклонения параметра качества смеси записывается как:

$$\Delta D_i\{C_j\} = -\frac{c_{ij}}{b_{ij}} D\{S_j\}. \quad (14)$$

Используя математическую модель процесса коррекции долевых составляющих дробленого материала в рецепте для выбранного интервала процесса дробления, можно получить максимум глобального критерия системы в области ограничений (8), в конце каждого интервала.

Глава 4 посвящена разработке моделей дробильных агрегатов технологической линии многостадийного дробления, образующих нижний уровень автоматизации в виде локальных систем управления.

На конечных стадиях технологического процесса используются конусные дробилки мелкого дробления. Критерием эффективности процесса дробления, функционально связанного с относительным выходом товарных фракций щебня, является удельный доход от реализации единицы продукции дробленого материала:

$$E_1 = 0.01 \sum_{i=1}^n K_i \cdot \eta_i \cdot y_i$$

где: y_i – относительный выход контролируемых товарных фракций щебня; n – количество контролируемых товарных фракций; K_i – коэффициенты спроса на щебень контролируемых товарных фракций; η_i – отпускная цена на продукцию контролируемых товарных фракций.

При одном возмущающем X и одном управляющем U воздействиях статическая характеристика критерия эффективности процесса дробления в конусной дробилке имеет экстремальный характер, максимум которой смещается при изменении прочности поступающей на дробление горной массы (рис.4).

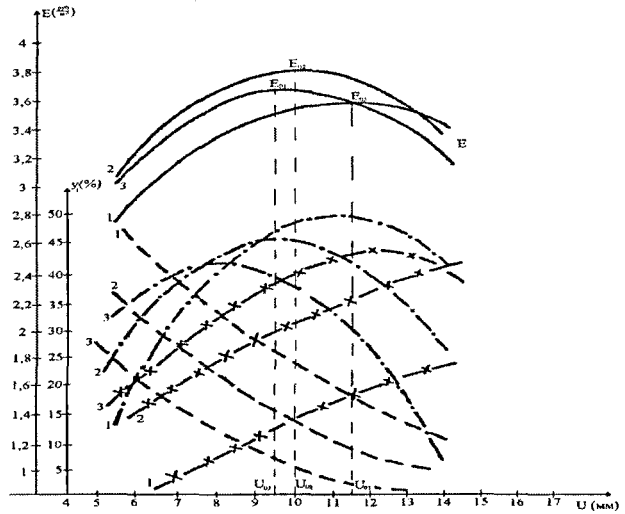


Рис.4. Статические характеристики процентного выхода основных товарных фракций y_i и критерия эффективности процесса дробления E :

$$\begin{aligned}
 y_1 (5-10 \text{ мм}) & \text{ --- } 1 - \text{прочность } x = 800 \text{ кг/см}^2 \\
 y_2 (10-20 \text{ мм}) & \text{ - · - · - } 2 - \text{прочность } x = 1600 \text{ кг/см}^2 \\
 y_3 (20-44 \text{ мм}) & \text{ - x - x - x - x - } 3 - \text{прочность } x = 2400 \text{ кг/см}^2
 \end{aligned}$$

Линеаризованные уравнения конусной дробилки по каналу прочность поступающей на дробление горной массы x – средняя крупность продуктов дробления d_c и прочность горной массы x – критерий эффективности процесса дробления E представляют собой аperiодическое звено первого порядка:

$$W(p) = \frac{d_c(p)}{X(p)} = \frac{K}{Tp + 1} ; W(p) = \frac{E(p)}{X(p)} = \frac{K}{T_1 p + 1} .$$

Для щековой дробилки вторичного дробления изменения отводимого потока ΔQ_d и среднего диаметра дробленого щебня d_c в области малых отклонений связаны линейной зависимостью: $\Delta Q_d = K_2 \Delta d_c$,

где $K_2 = \partial Q_d / \partial d_c = (\partial Q_d / \partial t) / (\partial d_c / \partial t)$ - коэффициент характеризующий чувствительность изменения производительности дробилки к изменению средней крупности продуктов дробления.

Тогда передаточная функцию дробилки по каналу d_c -S, будет:

$$W_4(p) = \frac{d_c(p)}{S(p)} = \frac{K_d}{Tp + 1} , \tag{15}$$

где $K_d = K_2 / K_1$ – коэффициент преобразования.

Щековая дробилка вторичного дробления описывается независимо от выбранного канала приложения входных и выходных воздействий стандартной моделью аperiodического звена первого порядка, но с различными значениями коэффициентов усиления.

В пятой главе рассмотрены системы автоматического регулирования щековой и конусной дробилок как элементов ДСАП. На основе разработанных критериев оптимизации, получена структура и функциональное наполнение локальных систем управления агрегатами и устройствами производства бетонной смеси, обеспечивающие оптимизацию ее качественных показателей. Даны методы расчета и выбора оптимальных параметров настройки локальных систем автоматизации.

В релейной системе регулирования производительности щековой дробилки исполнительным устройством является пластинчатый питатель, скорость движения которого может принимать два дискретных значения: нулевое и номинальное, а установившийся процесс поддержания постоянства Q_d может осуществляться теоретически только при бесконечно большой частоте переключений релейного элемента и нулевой амплитуде. Однако такой режим является недопустимым, т.к. верхнее значение частоты переключений на практике ограничивается, исходя из допустимых потерь в силовом приводе питателя и допустимой интенсивности износа его механической части. Ограничивается и нижний предел частоты переключений с тем, чтобы в течение цикла автоколебаний не происходило существенного изменения запаса материала в камере дробления. Исходя из указанных соображений, время цикла необходимо определить в пределах $T_{ц} = 30 \div 60$ с., чему соответствуют пределы изменения круговой частоты переключения $\omega_{п} = 0,2 \div 0,1$ Гц.

В релейной системе возникают несимметричные автоколебания: $x = x^0 + A \sin \psi$ с постоянной составляющей сигнала x^0 .

Переходя к относительным переменным из уравнений: $\frac{2q_m \delta}{\pi(T_s + T_n)} \cdot \frac{1}{q_d^2} = \Omega$;

$$\frac{0,32q_{пт}}{q_d} \left(\sqrt{1 - \left(\frac{\delta - x_1^0}{q_d} \right)^2} + \sqrt{1 - \left(\frac{\delta + x_1^0}{q_d} \right)^2} \right) = T_n T_s \Omega^2 - 1, \quad \text{где} \quad q_{пт} = Q_{пт} / Q_d \quad \text{определяются}$$

амплитудные отклонения относительной производительности щековой дробилки $q_d(x_1^0) = Q_d / Q_d$ и частота автоколебаний $\Omega(x_1^0)$ в зависимости от относительной величины смещения $x_1^0 = x^0 / Q_d$. Подстановка найденных значений в выражение для постоянной составляющей на выходе нелинейного элемента $F^0 = F^0(x^0, A)$ дает величину статической ошибки системы в присутствии автоколебаний. Задаваясь $\Omega = \Omega_{п}$, где частота переключений

Ω_n должна лежать в пределах $0.1 \div 0.2(1/c)$ и допустимой по технологическим соображениям статической ошибки системы в 5%, найденной из F^0 , в работе получено, что соответствующее изменение зоны возврата не должно превосходить 2%. В системе возможно установление автоколебаний, однако при этом частота переключений силового привода окажется выше максимально допустимой.

Оценка качественных технологических характеристик варианта автоматизации щековой дробилки с использованием линейной системы регулирования с управляющим воздействием в виде изменения производительности загрузочного устройства производилась методом интегральных оценок - линейной J_1 и квадратичной J_2 . Необходимо было стремиться к минимизации отклонений уровня загрузки камеры дробления и выходной производительности дробилки от номинала.

Исследования показали, что наилучшие динамические свойства достигаются введением форсирующего звена в контур управления линейной системы регулирования производительности дробилки с передаточной функцией в замкнутом состоянии:

$$\Phi(p) = \frac{K(T_n p + 1)}{T_s T_n p^3 + (T_s + T_n) p^2 + (KT_n + 1) p + K}$$

Линейная интегральная оценка $J_1 = \frac{1}{K}$ при введении форсирующего звена зависит только от коэффициента усиления K , а квадратичная-

$$J_2 = \frac{1}{2a_0^2} \left[\frac{b_0^2 a_1}{a_0} + \frac{b_0^2 a_2^2}{(a_1 a_2 - a_0 a_3)} \right] + \frac{b_1^2 a_2}{2a_0(a_1 a_2 - a_0 a_3)} - \frac{b_0 b_1}{a_0^2},$$

где $b_0 = KT_n$; $b_1 = K$; $a_0 = K$; $a_1 = (KT_n + 1)$; $a_2 = (T_s + T_n)$; $a_3 = T_s T_n$, еще и от постоянной времени форсирующего звена T_n .

При сравнении интегральных оценок без введения и с введением форсирующего звена наблюдается смещение интегральных оценок J_2 для второго варианта в область больших значений K , что не только делает возможным его увеличение, но и связанное с этим уменьшение J_1 . Неравномерность загрузки и разгрузки камеры дробления при этом будет уменьшаться, а уровень ее заполнения стабилизироваться.

Произведена оценка эффективности процесса дробления в конусной дробилке как элемента ДСАП на основе выбранного критерия оптимизации. Для конусной дробилки статическая характеристика критерия эффективности процесса дробления имеет экстремальный характер, максимум которой смещается при изменении прочности

поступающей на дробление горной массы. Максимизация выхода средних фракций осуществляется системой экстремального регулирования (СЭР).

На рис.5. представлена функциональная схема поисковой системы автоматической оптимизации процесса дробления в конусной дробилке.

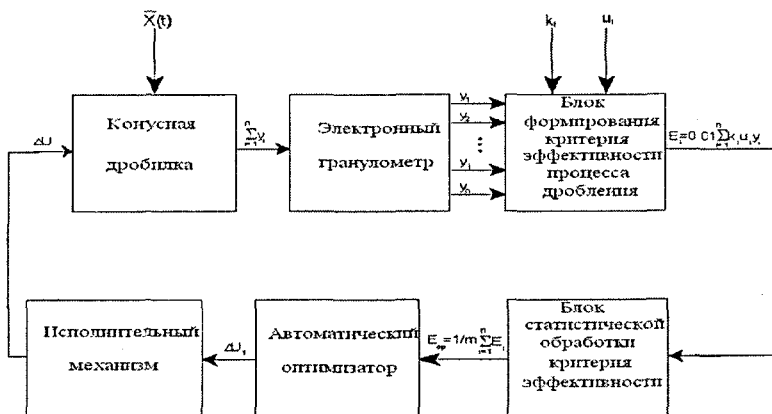


Рис.5. Функциональная схема поисковой системы автоматической оптимизации

Для формирования критерия эффективности процесса дробления в блок формирования критерия БФК вводятся коэффициенты спроса на щебень различных фракций K_i и оптовая цена по прейскуранту U_i . На выходе БФК получаем случайную функцию изменения критерия эффективности процесса дробления E . Данные о величине критерия эффективности E поступают на блок статистической обработки БСО. Автоматический оптимизатор АО системы автоматического поиска предназначен для того, чтобы поддерживать величину E на выходе системы по возможности максимальной, и изменяет значения U в некоторые дискретные моменты времени

Определение величины рабочего шага производится по алгоритму:

$$\Delta u = u_{x+1} - u_x = \frac{\bar{E}_1 + \bar{E}_2}{2} \text{Sign}(\bar{E}_1 - \bar{E}_2)$$

где средние значения \bar{E}_1 и \bar{E}_2 определяются на основе пробных шагов и выражаются в следующем виде:

$$\bar{E}_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |u_x - \delta + x|; \quad \bar{E}_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |u_x + \delta + x|;$$

Основной целью системы управления является стабилизация выхода отдельных фракций щебня в соответствии с рецептом.

Текущее состояние потока дробленого материала в заданном временном интервале, связанное со случайным характером формирования выхода по массе заданных по рецепту

фракций дробленого щебня, определяется их средними значениями (математическим ожиданием) и отклонениями от него (дисперсией). Оба эти управляемые параметра коррелированы с глобальным критерием системы – качественными показателями смеси и должны оптимизироваться в процессе управления.

Стандартный модуль ДСАП предназначен для формирования заданного СФЦ. Автоматический контроль характеристик каждой фракции после грохочения при формировании заданного СФЦ осуществляется с помощью гранулометров. Локальные системы управления щековой дробилкой первичного дробления и конусной дробилкой, функционируют в соответствии с локальными критериями, оптимизирующими их процессы дробления. Контур управления первичным дроблением обеспечивает стабилизацию производительности щековой дробилки. Локальное управление конусной дробилкой реализуется в соответствии со сформированной статической характеристикой процентного выхода товарных фракций щебня, осуществляя поиск ее экстремума системой экстремального регулирования.

Объем накопительных бункеров НБ можно условно разбить на несколько зон. Оптимум системы соответствует состоянию уровней НБ, т.е. математическому ожиданию масс заданных по рецепту фракций дробленого щебня.

Анализ возможных состояний технологического процесса вторичного дробления, определяемых различными вариантами приложения управляющих воздействий, позволяет построить структурную схему ДСАП, которая состоит из отдельных блоков перераспределения материальных потоков, функционально связанных с исполнительными механизмами отдельных дробильных машин и основным блоком формирования сигналов управления на основании информации датчиковой системы.

Разработан алгоритм автоматического управления соотношением фракций щебня инициированием необходимой совокупности управлений на основе анализа, установленных уровней заполнения накопительных бункеров трех фракций (рис.66). Состояние каждого уровня можно выразить через переменную $У$ и ее инверсию, если данный уровень для выбранной фракции отсутствует. Формируемый при этом сигнал поступит в логическое устройство, вырабатывающее на основании этой информации управляющие сигналы ($УС$) на исполнительные механизмы.

Для каждого НБ в зависимости от состояния уровня находящейся в ней фракции в режиме работы системы автоматического управления вторичным дроблением можно записать: $УС_{-2} = У6 \cdot \overline{У10}$, $УС_{-6} = \overline{У6} \cdot \overline{У10}$, $УС_{-10} = \overline{У6} \cdot У10$.

Бункеру одной из фракций щебня может соответствовать только одно из этих значений управляющих сигналов.

Критерием более высокого уровня, глобальным по отношению к критериям оптимизации локальных систем управления первичной щековой и вторичной конусной дробилками, является функционал оптимальности детерминированной задачи математического программирования, гарантирующий требуемое качество бетонной смеси при наличии случайных ошибок выхода фракций щебня по рецепту с вероятностью $1 - \beta$.

Математическая модель оптимизации рецепта, в которой принят гибкий принцип формирования ограничений в области возможных случайных изменений качественных характеристик смеси, учитывает их математическое ожидание и дисперсию, т.е. вероятностную меру выхода за пределы допустимой области. Увеличение в процессе дробления дисперсии $D\{Q_i\} = c_{ij} \cdot D\{\delta_j\}$ можно скомпенсировать изменением $D\{C_j\}$, используя соотношение (14).

Математическая модель коррекции долевых составляющих дробленого материала в рецепте для выбранного интервала процесса дробления, позволяет получить максимум глобального критерия ДСАП, учитывая, что зерновой состав дробленого материала подчиняется нормальному закону распределения, статистические характеристики которого изменяются с изменением размера щели U щековой дробилки.

Разработана математическая модель дробильно-сортировочного производства как система массового обслуживания (СМО) с ожиданием.

Взаимодействия дробильно-сортировочного производства и заказчика его продукции, можно рассматривать как многоканальную СМО с ожиданием. Такая система состоит из n обслуживающих модулей ДСАП i -го типа, число которых ограничено. Имеем n -канальную систему с ожиданием, в которой количество требований, стоящих в очереди, ограничено числом m и загрузкой производства $\rho = \lambda/\mu$, определяемой отношением интенсивностей потоков требований и обслуживания соответственно. Задача оценки эффективности дробильно-сортировочного производства формулируется в прямой и обратной постановках. В прямой задаче для выбранной конфигурации производства, определяемой числом стандартных модулей АДСП – n и возможной длиной очереди заявок на обслуживание m ($m > n$), необходимо определить загрузку производства $\rho = \lambda/\mu$, при которой обеспечивается минимум потерь и максимум производительности. В обратной задаче при заданной загрузке ρ необходимо определить такую конфигурацию производства (m, n) , при которой обеспечивается минимум потерь и максимум производительности.

В главе 6 даны результаты экспериментальных исследований автоматизированного дробильно-сортировочного производства.

Моделирование линии дробления и процесса автоматического поддержания заданного рецепта производилось в математической среде *MATLAB* v 6.0 с учетом выбранных

физических характеристик и, полученных на их основе выражений передаточных функций объектов. Работа моделей происходила в режиме «реального времени» с дискретным шагом 0,1 с.

На рис. 6. приведены переходные процессы, иллюстрирующие работу системы.

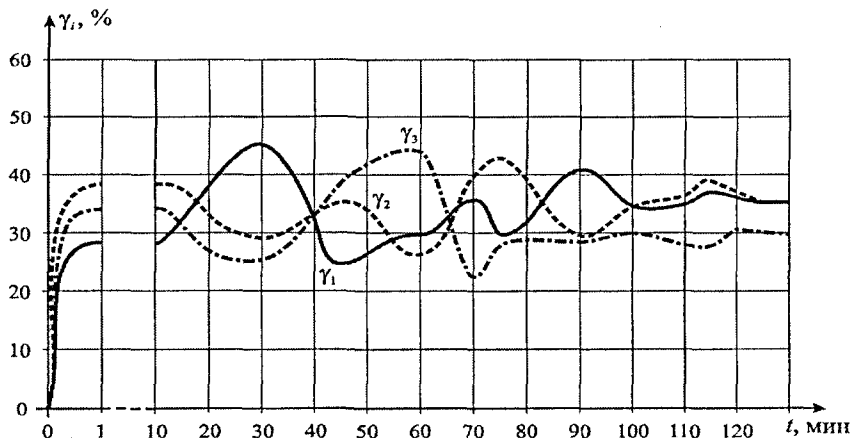


Рис.6. Графики изменения выхода фракций щебня в регулируемом технологическом процессе двухстадийного дробления

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Перспективным направлением повышения качества технологического процесса дробильно – сортировочной установки является принцип ее совмещенной работы со смесительным отделением для непрерывного приготовления ФЗ в соотношении, заданным рецептом.

2. Достижение поставленной цели реализуется на основе разработки концепции и методических принципов структурного синтеза и функционального наполнения автоматизированных стандартных модулей дробильно-сортировочного автоматизированного производства фракционированного щебня.

3. Разработана рациональная по количеству и размещению дробильно-сортировочного оборудования непрерывная схема двухстадийного процесса дробления замкнутого цикла с применением на вторичной стадии дробления дробилок с отличающимися зерновыми характеристиками, которая обеспечивает максимальный выход заданных по рецепту фракций дробленого щебня, снижая тем самым стоимость готовой продукции.

4. Выбраны критериальные функции оценки эффективности процесса приготовления многокомпонентной смеси, на основе динамической коррекции ошибок в долевых составляющих дробленого материала по рецепту.

5. Определены основные принципы формирования математической модели оптимизации состава сыпучей смеси, опирающиеся на случайный характер возникновения ошибок в долевых составляющих дробленого материала по рецепту.

6. Разработана математическая модель оптимизации рецепта, в которой принят гибкий принцип формирования ограничений в области возможных изменений качественных характеристик смеси, учитывающий их вероятностную меру выхода за пределы допустимой области.

7. Разработана система автоматизированного управления технологическим оборудованием дробильно – сортировочной установки непрерывного действия с оперативным контролем и коррекцией фракционного состава, обеспечивая заданное по рецепту соотношение фракций щебня в заданных пределах

8. Взаимодействие дробильно-сортировочного производства и заказчика его продукции можно рассматривать как многоканальную систему массового обслуживания с ожиданием.

9. Решены прямая и обратная задачи оценки эффективности дробильно-сортировочного производства, что позволяет определить параметры производства, обеспечивающие максимальную либо требуемую производительность.

10. Экспериментальные исследования подтвердили результаты, полученные теоретическим путем.

Основные результаты диссертации изложены в работах

1. Золотарев С.Ю. Модельное представление пневмоподачи сыпучих материалов. / Золотарев С.Ю., Комар А.Г., Суэтина Т.А. // Вестник отделения строительных наук №13, т.2. – М.-Орел, 2009, с. 61-65.
2. Золотарев С.Ю. Автоматизированная система двухстадийного дробления / Золотарев С.Ю., Суэтина Т.А., Наназашвили И.Х. // Журнал АСАДЕМІА №4, -М.: 2009, с..85-87.
3. Золотарев С.Ю. Принципы проектирования автоматизированных систем управления дробильно-сортировочного оборудования. / Золотарев С.Ю., Комар А.Г., Суэтина Т.А. // Сб.статей РААСН: Исследования и инновационные разработки. т.2. – М.- Иваново: 2010, с. 118—121.
4. Золотарев С.Ю. Система автоматизации щековой дробилки при производстве щебня для транспортных магистралей/ Золотарев С.Ю., Суэтина Т.А. //Тезисы докладов 19-й Международной научной конференции «Транспорт 2009» - София: 2009, с.20-23.
5. Золотарев С.Ю. Оптимизация непрерывных систем дозирования сыпучих материалов / Золотарев С.Ю., Романов К.В., Бокарев Е.И.,// Строительный вестник российской инженерной академии. Тр. секции «Строительство» РИА. – М.: РИА, вып. 11, 2010, с..250-252

6. Золотарев С.Ю. Модель дробилки при статистическом характере возмущающих воздействий / Золотарев С.Ю., Бокарев Е.И., // Строительный вестник российской инженерной академии. Тр.секции «Строительство» РИА. – М.: РИА, вып. 11, 2010, с.256-258.

7. Золотарев С.Ю. Оценка свойств питателей дозаторов непрерывного действия / Золотарев С.Ю., А.В. Либенко, Марсова Е.В.. // Новые технологии производства и управления в промышленности и образовании // Сб. науч. тр. – М.: МАДИ, 2009, с. 18-23.

8. Золотарев С.Ю. Критерии оценки систем автоматизации технологического процесса первичного дробления / Золотарев С.Ю., Суэтина Т.А. // Принципы построения и особенности использования систем автоматизации в промышленности и строительстве // Сб. науч. тр. – М.: МГАКХиС, 2010, с. 30-37.

9. Золотарев С.Ю. Система управления процессами дробления и грохочения каменных материалов / Золотарев С.Ю., Наназашвили И.Х.// Принципы построения и особенности использования систем автоматизации в промышленности и строительстве // Сб. науч. тр. – М.: МГАКХиС, 2010, с. 48-54.

10. Золотарев С.Ю. Модель дробилки при статистическом характере возмущающих воздействий / Золотарев С.Ю., Наназашвили И.Х.// Принципы построения и особенности использования систем автоматизации в промышленности и строительстве // Сб. науч. тр. – М.: МГАКХиС, 2010, с. 95-100.

11. Золотарев С.Ю. Модель дробилки как объект автоматического регулирования / Золотарев С.Ю., Егоров А.В. // Принципы построения и особенности использования систем автоматизации в промышленности и строительстве // Сб. науч. тр. – М.: МГАКХиС, 2010, с. 101-107.

**Подписано в печать 25 ноября 2010 г.
Формат 60x84x16
Усл. печ. л. 1,0
Тираж 100 экз. Заказ №4
Типография «Зорбанан-Ца»
Россия, 125319, г. Москва, Ленинградский пр-т, д.64
Тел.: 8-926-724-79-21**