

УДК 622.271

К.Я. Улитенко, В.В. Морозов

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ РУДОПОДГОТОВКИ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОУРОВНЕВЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Разработаны многоуровневые динамические модели процессов рудоподготовки, связывающие параметры состава и технологических свойств руды, производительности и расхода электроэнергии с параметрами гранулометрического состава руды и твердой фазы пульпы. Использование многоуровневых моделей процессов измельчения и классификации позволяет разработать и применить методы типизации руд и оценки производственной ситуации при адаптивном управлении, обеспечивающие повышение эффективности процесса рудоподготовки и обогащения за счет оперативного учета изменений физико-механических и технологических свойств руд, поступающих в переработку.

Ключевые слова: рудоподготовка, дробление и измельчение руд, динамические модели.

Процессы рудоподготовки являются определяющими с позиции достижения заданной степени измельчения, обеспечивающей раскрытие минеральных комплексов ценных компонентов и пустой породы, и, одновременно, являются основными потребителями электроэнергии. Решения проблемы повышения эффективности процессов рудоподготовки требует модернизации существующих и разработки новых принципов построения систем регулирования и технологической оптимизации применяемых процессов.

Основой для разработки и применения эффективных систем регулирования параметров процессов рудоподготовки являются базовые закономерности процессов дробления и измельчения руд, связывающие входные и выходные параметры процессов в многопараметрической системе факторов, характеризующих свойства исходного сырья, оборудования и

технологического режима процесса обогащения. Основы применения моделирования для регулирования и оптимизации процессов рудоподготовки были заложены работами профессоров Тихонова О.Н. и Козина В.З. [1,2]. В последние годы развитие данного направления применительно к процессам флотации связано с исследованиями ученых Московского государственного горного университета в кооперации со специалистами Совместного предприятия «Эрдэнэт» [3,4].

Описание и формализация закономерностей процессов разрушения, грохочения и классификации рудного сырья в условиях протекания процессов дробления и измельчения позволяет создать многоуровневую динамическую модель процессов процесса дробления и измельчения (рис. 1).

Разработанные многоуровневые динамические модели процессов рудоподготовки, связывают параметры состава и технологических свойств

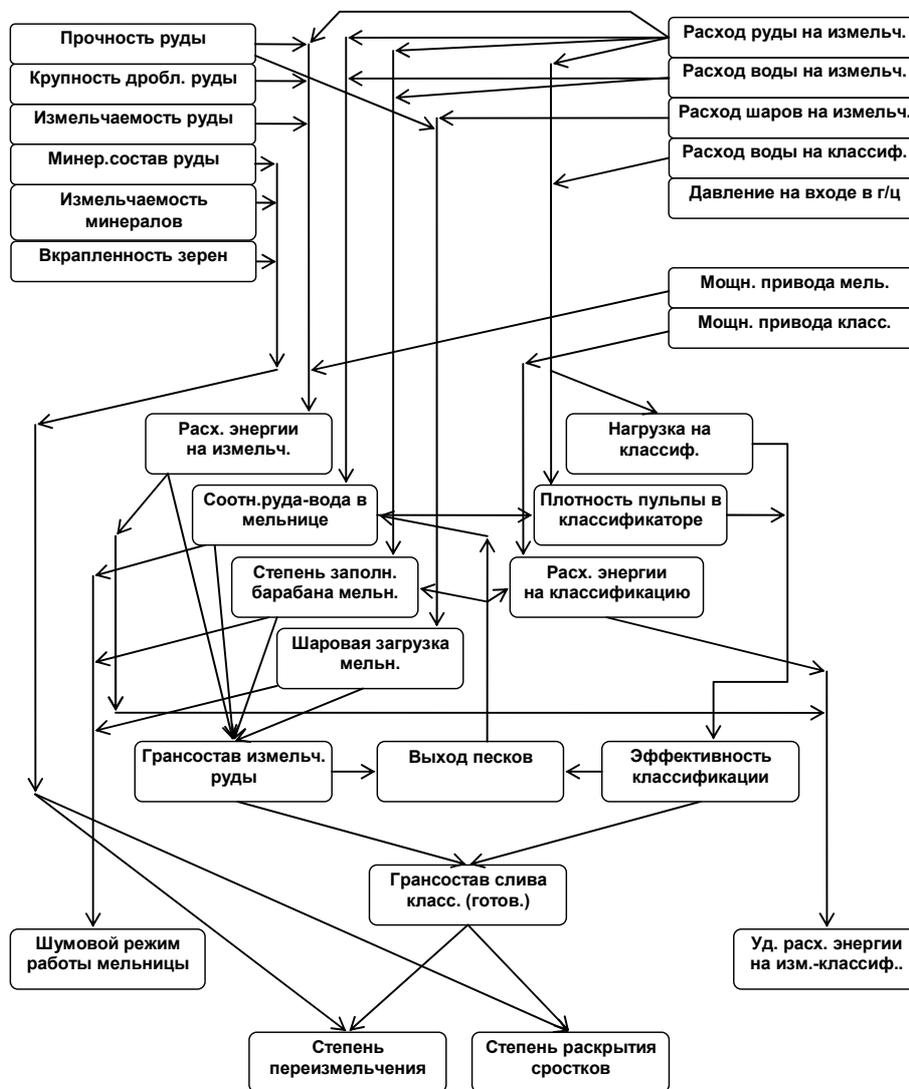


Рис. 1. Многоуровневая динамическая модель процесса измельчения

руды, производительности и расхода электроэнергии с параметрами гранулометрического состава руды и твердой фазы пульпы. Особенностью структуры и организации является рассмотрение процессов в условиях непрерывного варьирования всех

параметров и использовании в качестве информационных критериев динамических составляющих входных, промежуточных и выходных параметров процессов дробления, грохочения, измельчения и классификации.

В разработанной модели функции входных параметров, например прочности руды (ПР),: были представлены в виде периодического сигнала синусоидальной формы.

$$ПР_i = ПР_0 + K_1(\sin(2\pi i/K_2)) \quad (1)$$

где: K_1 , K_2 - амплитуда и период функции отклонения от номинальных значений; i - переменная модели (нормированное время).

Используемые в представленной модели уравнения связи носят как детерминированный, так и стохастический характер. Детерминированными моделями являются в первую очередь модели массопереноса и модели кинетики процессов измельчения. Стохастическими моделями описывались зависимости влияния на константы детерминированных моделей различных возмущающих параметров, например прочности руды. Так, например, расчетное уравнение для определения константы скорости измельчения руды (ИР) приведено ниже:

$$КИ = КИ_0 \cdot (1 - |\Delta ПЛ| / ПЛ_0)^{0,4} \times (1 - |\Delta М| / М_0)^{0,5} \cdot (1 - |\Delta ШЗ| / ШЗ_0)^{0,45} \times (1 - |\Delta РЭ| / РЭ)^{0,42}, \quad (2)$$

где КИ, $КИ_0$ – текущее и номинальное по технологическому регламенту значение константы скорости измельчения; $\Delta ПЛ$, $ПЛ_0$ – измеренное отклонение и номинальное значение плотности пульпы; $\Delta М$, $М_0$ - измеренное отклонение и номинальное значение степени загрузки барабана; $\Delta РЭ$, $РЭ_0$ - измеренное отклонение и номинальное значение расхода энергии.

В уравнение (2) вошли параметры, связанные наибольшими корреляционными соотношениями с выходным параметром.- константой скорости измельчения по классу – 74 мкм.

Уравнения связи характеризуются высокой теснотой связи входных и

выходных параметров. Коэффициент корреляции исходного массива данных и оценок аппроксимирующего уравнения составляет от 0,69 до 0,96. Адекватность оценивалась по данным лабораторного анализа распределения крупности входного и выходного материала с учетом показаний поточного видеомониторинга дробленной руды и поточного гранулометра пульпы.

Использование многоуровневых моделей процессов дробления, грохочения, измельчения и классификации позволяет разработать и применить методы типизации руд и оценки производственной ситуации при адаптивном управлении, обеспечивающие повышение эффективности процесса рудоподготовки и обогащения за счет оперативного учета изменений физико-механических и технологических свойств руд, поступающих в переработку.

Перерабатываемая руда представляется как смесь руд различных сортов. Отличием от ранее известных моделей типизации руд, разработанных в МГГУ [5], является использование в качестве входного параметра прочности и измельчаемости руды, а в качестве выходных - параметров работы оборудования и показателей качества технологических процессов рудоподготовки (рис. 2).

Суть методики определения сортности руды поясняется рис. 3, на котором представлены координаты типовых руд и руды текущей переработки в плоской системе координат дробимость – содержание меди. Чем меньше расстояние от точки руды текущей добычи до руды определенного типа, тем больше доля руды данного типа. Аналитический расчет в многопараметрической системе критериев осуществляется с использованием процедур нормирования и определе-

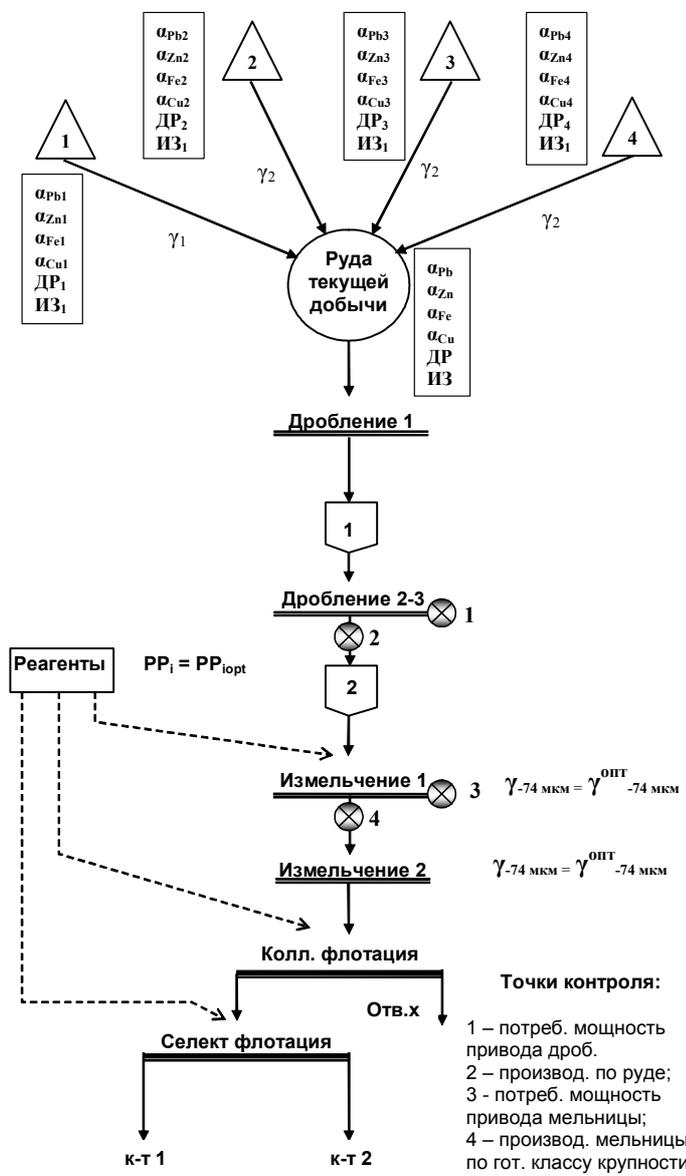


Рис. 2. Принципиальная схема формирования потока руды текущей переработки как смеси руд определенных технологических сортов

ния степени схожести руды к каждому из сортов руд.

Применение алгоритма оценки сортности руды обеспечивает повы-

шение эффективности процесса рудо-подготовки и обогащения за счет оперативного учета изменений физико-механических и технологических свойств руд, поступающих в переработку. К примеру, увеличение доли окисленных и смешанных руд требует менее тонкого измельчения и корректировки реагентного режима флотации.

Для оценки эффективности систем и выбора параметров модель - ориентированного управления использовалась структурная схема, представленная на рис. 4. Особенностью схемы является использование не только статических, но и динамических (в виде обобщенных первых производных) параметров процесса. Такая схема позволяет оценить влияние входных параметров и оценить степень связи измеряемых параметров процесса с конечными показателями, получить совокупность входных и промежуточных параметров, соответствующих определенной производственной ситуации.

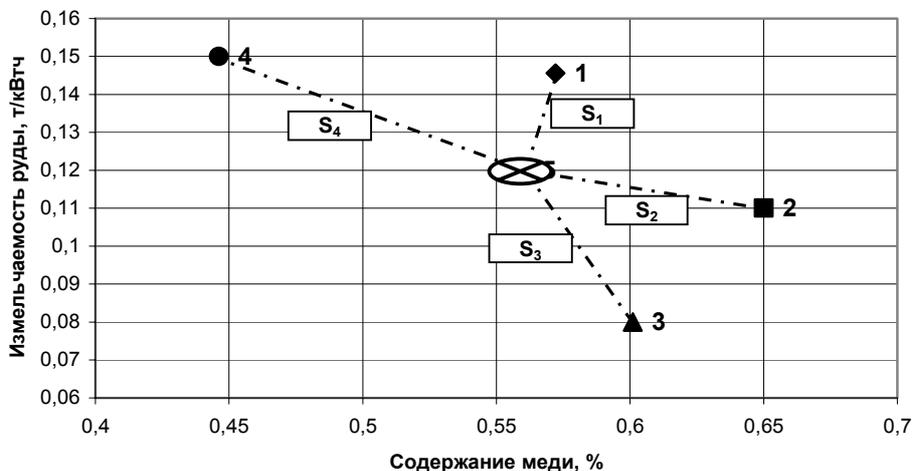


Рис. 3. Пример оценки состава руды в двумерном пространстве: 1 – первичная сульфидная руда; 2- вторичная сульфидная руда; 3- окисленная руда; 4 – бедная пиритистая руда; 5 - (⊗) - руда текущей добычи; S₁, S₂, S₃, S₄ – отклонения параметров руды текущей добычи от параметров руд типов 1, 2, 3, 4

С использованием представленной структурной схемы были определены условия технологической перегрузки дробилок и мельниц при переработке руд различной крепости и измельчаемости [6]. Рис. 5 иллюстрирует выход на оптимальный режим измельчения с использованием параметров процесса – степени заполнения барабана мельницы рудой и мощности привода мельницы. Нагрузочная характеристика, приведенная на рис. 5, нестационарна не только по степени заполнения барабана, но и по другим параметрам, поэтому условия перегрузки мельницы (индекс перегрузки I_n) определяются путем сочетания нескольких статических и динамических параметров процесса по таблице.

$$I_n = \sum (V_i \cdot D_i) \quad (3)$$

Здесь $D_i = 1$, если в текущем цикле контроля соответствующий частный критерий перегрузки имеет место, и $D_i = 0$ в случае его отсутствия, V_i - вес соответствующего частно-

го критерия. В ходе управления оценивается приближение величины I_n к двум значениям - предкритическому (инициируется остановка роста нагрузки по руде) или критическому (инициируется уменьшение нагрузки по руде).

Разработанный алгоритм оптимизации с использованием динамической модели процессов рудоподготовки был реализован при разработке систем управления циклами дробления и измельчения руд на основе непрерывного измерения параметров технологических процессов: крупности руды на стадиях передела, потребляемой мощности, величины циркулирующей нагрузки, плотности и гранулометрического состава твердой фазы пульпы, звукометрических параметров процессов дробления и измельчения. Применение методов оценки состояния процессов и расчета управляющих воздействий на технологические параметры процессов,

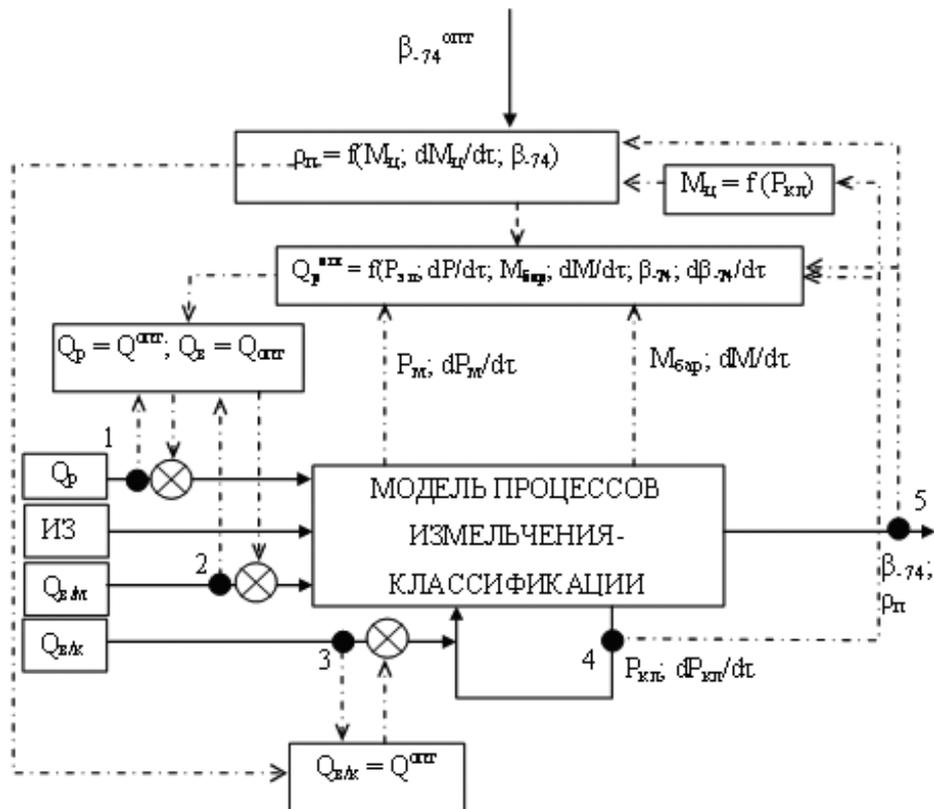


Рис. 4. Структурная схема алгоритма оценки эффективности систем и выбора параметров модель - ориентированного управления: $\beta_{.74}$ – содержание класса -74 мкм; $\rho_{пт}$ – плотность пульпы; ИЗ – измельчаемость руды; Q_p – расход руды на измельчение; P_m – потребляемая мощность привода мельницы; $M_{бар}$ – степень загрузки барабана; $P_{кл}$ – потребляемая мощность привода классификатора; $Q_{в/м}$ – расход воды в мельницу; $Q_{в/к}$ – расход воды в классификатор; $M_{ц}$ – циркулирующая нагрузка; $опт$ – оптимальные значения

обеспечивающие повышение эффективности процесса обогащения за счет оперативного реагирования на изменение физико-механических свойств руды.

Использование разработанных принципов и методов осуществляется на основе реализации блок-схем и алгоритмов адаптивного управления процессами рудоподготовки, предусматривающих непрерывное измерение широкого спектра физико-механических и энергетических парамет-

ров процесса рудоподготовки, оценку текущих значений параметров и динамики их изменения, экспертную оценку свойств руды и состояния технологического процесса и выработку управляющих воздействий, обеспечивающих ведение технологических процессов дробления, грохочения, измельчения и классификации в оптимальных технологических режимах, обеспечивающих требуемую степень раскрытия минералов в рудах при максимальной производительности и

Частные критерии, входящие в состав индекса перегрузки I_n

№	Наименование V_i	Вес V_i
1	Положительная динамика расхода руды в мельницу: $PP_i > PP_{i-1}$	1
2	Положительная динамика загрузки внутреннего объема мельницы: $M_i > M_{i-1}$	2
3	Превышение критического расхода руды в мельницу: $PP_i > PP_{кр}$	2
4	Превышение критической загрузки внутреннего объема мельницы: $M_i > M_{кр}$	3
5	Отрицательная динамика активной мощности мельницы: $M_i < M_{i-1}$	1
6	Снижение активной мощности мельницы ниже критической: $P_i < P_{кр}$	2
7	Отрицательная динамика выхода готового класса: $K_{L_i} < K_{L_{i-1}}$	1

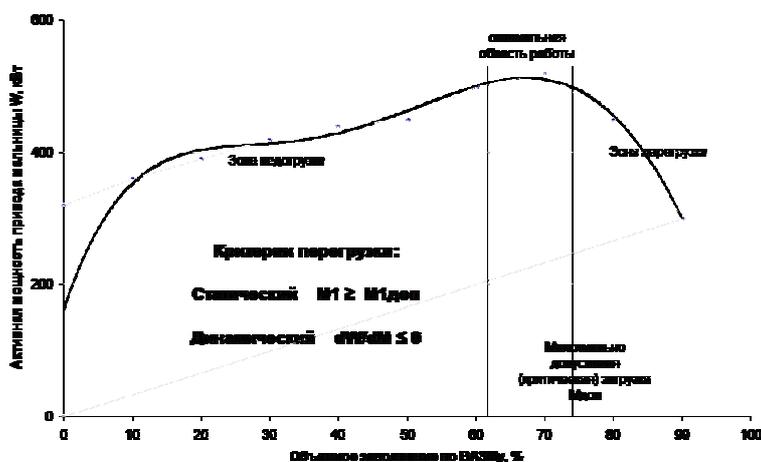


Рис. 5. Нагрузочная характеристика шаровой мельницы со статическими и динамическими критериями перегрузки

минимальных энергозатратах циклов дробления и измельчения.

Реализация разработанных систем и алгоритмов автоматического регулирования и технологической оптимизации процессов дробления и измельчения осуществлена на обогатительной фабрике ГОКа «Эрдэнэт» (медно-молибденовые руды), на обогатительной фабрике комбината «САСА-ДООЕЛ» (свинцово-цинковые

руды; на обогатительной фабрике Михайловского ГОКа (железные руды) и на ряде других предприятий. В результате внедрения разработанных систем и методов автоматического регулирования и оптимизации достигнуто увеличение производительности фабрик на 1-2,5% и сокращение расхода электроэнергии в операциях дробления и измельчения руд на 2,1 - 3,5%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тихонов О.Н. Закономерности эффективного разделения минералов в процессах обогащения полезных ископаемых. - М.: Недра, 1984. - 220 с.
2. Козин В.З., Троп В.Н. Автоматизация производственных процессов на обогатительных фабриках. - М.: Недра, 1980. - 346 с.
3. Морозов В.В., Авдохин В.М., Юшина Т.И. Совершенствование автоматического регулирования флотационного процесса с применением компьютерных моделей // Горный журнал, 2007. - №6. - С. 58-62.
4. Дэлгэрбат Л. Исследование, моделирование и оптимизация процессов измельчения и коллективной флотации медно-

молибденовых руд // Горный информационно-аналитический бюллетень, МГГУ, Москва, 2002. - №6. – С.

5. Морозов В.В. Управление процессами обогащения на основе измерения параметров сортности руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. - №7. - 2005. – С.316-319.

6. Улитенко К.Я., Попов Е.В.. Автоматическая защита барабанных мельниц от пе-

регрузок. Обогащение руд. №2, 2004.

7. Улитенко К.Я. Оптимизация шаровой нагрузки барабанных мельниц по потребляемой мощности. Обогащение руд, №5, 2008, с.42-44.

8. Улитенко К.Я. Соколов И.В., Маркин Р.П. Применение виброакустического анализа для контроля объемного заполнения мельниц. Цветные металлы. 2005., №10, с. 63-66. **ГИАБ**

Коротко об авторах

Улитенко К.Я. – ОАО «НПО Союзцветметавтоматика,
Морозов В.В. – профессор, доктор технических наук, зав. кафедрой химии,
Московский государственный горный университет,
Moscow State Mining University, Russia, ud@msmu.ru



РУКОПИСИ, ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

Даяни Д.Г. - профессор кафедры ОУТП, доктор экономических наук;

Марко И.Ю. - доцент кафедры ОУТП, кандидат экономических наук;

Цатурян Р.А. - аспирант кафедры ОУТП.

Московский государственный горный университет, Moscow State Mining University, Russia, ud@msmu.ru
Некоторые концептуальные положения управления человеческим капиталом (№ 815/03-11 от 29 декабря 2010 г.) 27 с.

Рассмотрены некоторые концептуальные положения управления человеческим капиталом. В настоящее время резко возрос интерес экономической науки к человеческим созидательным способностям, к путям их становления и развития. Понятие „человеческий капитал“ приобретает в настоящее время все большее значение не только для экономистов – теоретиков, но и для организаций, стремящихся упрочить свои позиции на рынке за счет более эффективного использования кадрового потенциала. Поэтому изучение проблем повышения эффективности использования производительных сил людей, реализующихся в современных условиях в форме человеческого капитала, становится не просто актуальным, а выдвигается в разряд первоочередных задач в структуре социально – экономических исследований. Это предполагает проведение глубоких научных исследований данной проблемы.

Ключевые слова: человеческие ресурсы, человеческий капитал, интеллектуальный капитал, потенциал личности, кадровый потенциал, нематериальный актив, инвестиции в человеческий капитал, компетенция, компетентность.

Dayanc D.G., Marko I.U., Caturyn R.A. A FEW CONCEPTUAL THESES ON THE HUMAN CAPITAL MANAGEMENT

Now interest of an economic science to human creative abilities, to ways of their formation and development has sharply increased. The concept „the human capital“ gets now all great value not only for economists – theorists, but also for the organizations, aspiring to strengthen the positions in the market by more effective using of personnel potential. Therefore studying of problems such as increasing of efficiency by using productive forces of the people realized in modern conditions in the form of the human capital, becomes not simply actual, and is put forward in the category of priorities in structure socially – economic researches. It assumes carrying out of deep scientific researches of the given problem. In article considered some conceptual positions of management by the human capital.

Key words: human resources, the human capital, the intellectual capital, potential of the person, personnel potential, a non-material active, investments into the human capital, the competence, competency.