

К.В. Баюл, В.И.Петренко

**РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ПРИНЯТИЯ  
ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ  
УВЕЛИЧЕНИЕ РЕСУРСА ЭКСПЛУАТАЦИИ БАНДАЖЕЙ  
ВАЛКОВЫХ ПРЕССОВ**

*Аннотация. Разработана экспертная система для оптимизации условий эксплуатации бандажей валковых прессов, с помощью которой реализуется комплексный подход к решению задач по определению рациональных режимов работы бандажей на различных стадиях их износа с учетом многофакторности процессов брикетирования мелкофракционных шихт брикетирования и изнашивания бандажей.*

*Ключевые слова: валковые прессы, бандажи, износ, экспертная система, параметры брикетирования.*

**Введение.** Исследование влияния износа бандажей на параметры брикетирования и работу прессового оборудования требует комплексного подхода, позволяющего учесть многовариантность условий процесса брикетирования и большое количество факторов, влияющих на характер износа рабочей поверхности бандажей.

**Целью работы и задачей исследований** является создание экспертной системы (ЭС), которая позволит выполнить прогнозную оценку влияния износа на технологические и энергосиловые параметры брикетирования с учетом совокупности всех факторов и возможных их изменения, выбрать наиболее благоприятные режимы работы пресса на разных стадиях износа бандажей, обеспечивающие получение брикетов требуемого качества.

**Структура и алгоритм экспертной системы.** Для разработки системы использованы основные компоненты и структура типичных ЭС [1]. Структурная схема ЭС представлена на рис. 1.

Базу знаний составляют данные о свойствах шихты, конструкции и характеристиках материала бандажей, параметрах, определяющих условия взаимодействия шихты с рабочими поверхностями бандажей в процессе их изнашивания.

Расчетно-аналитический компонент с помощью данных базы знаний и рабочей памяти, используя расчетно-аналитические методы и модели, заложенные в систему, обеспечивает решение поставленных задач.

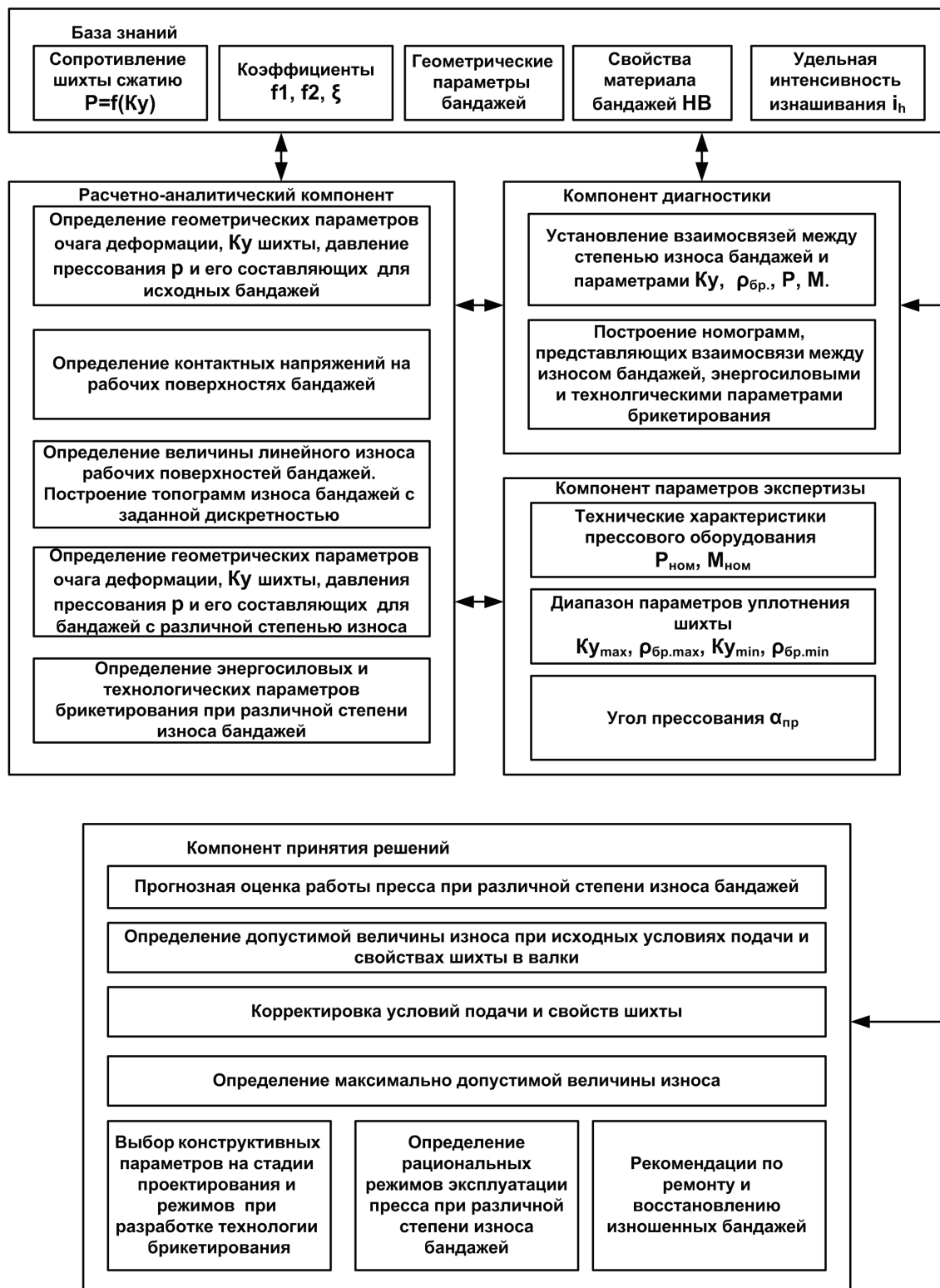


Рисунок 1 – Структурная схема экспертной системы

Полученный в расчетно-аналитическом компоненте массив расчетных данных используется системой в компоненте диагностики для получения аналитических и графических зависимостей, характеризующих взаимосвязи между величиной износа бандажей и характеристиками процесса.

Для их использования сформирован компонент параметров экспертизы, в котором содержатся условия проведения экспертизы: диапазон изменения плотности брикетов, определяемый технологическим регламентом, и технические характеристики прессы.

Компонент принятия решений предлагает варианты возможных решений, рекомендации по их применению. С его помощью можно менять условия задачи, уточнять и корректировать данные из базы данных и базы знаний.

На этом этапе выполняется интегральный анализ факторов, определяющих работу прессы на разных стадиях износа бандажей. Формируется прогнозная оценка работы прессы и бандажей, определяется ресурс их эксплуатации. ЭС позволяет определить границы управления параметрами брикетирования, оказывающими влияние на качество брикетов и режимы работы прессы.

Варьируя данные в базе знаний (изменяя характеристики шихты, выбирая параметры формующих элементов), разрабатываются рекомендации по увеличению продолжительности эксплуатации изношенных бандажей. В результате ЭС формирует блок данных и рекомендаций по рациональной эксплуатации бандажей на различных стадиях их износа.

Использование ЭС при проектировании прессового оборудования позволяет для конкретной шихты с учетом ее свойств определить наиболее рациональные конфигурации и размеры прессующих калибров с точки зрения их износа, выбрать характеристики привода с учетом влияния износа бандажей. Предлагаемая система является прототипом, т.е. начальной стадией разработки ЭС. После апробации ЭС и проверки эффективности ее применения в производственных условиях необходимо создать единый программный аппарат. Для этого выполнена алгоритмизация работы ЭС. На рис. 2 представлена схема алгоритма ЭС. Работа ЭС в соответствии с алгоритмом происходит следующим образом.

Исходные данные в алгоритме объединены в группы и представляют собой базу знаний ЭС.

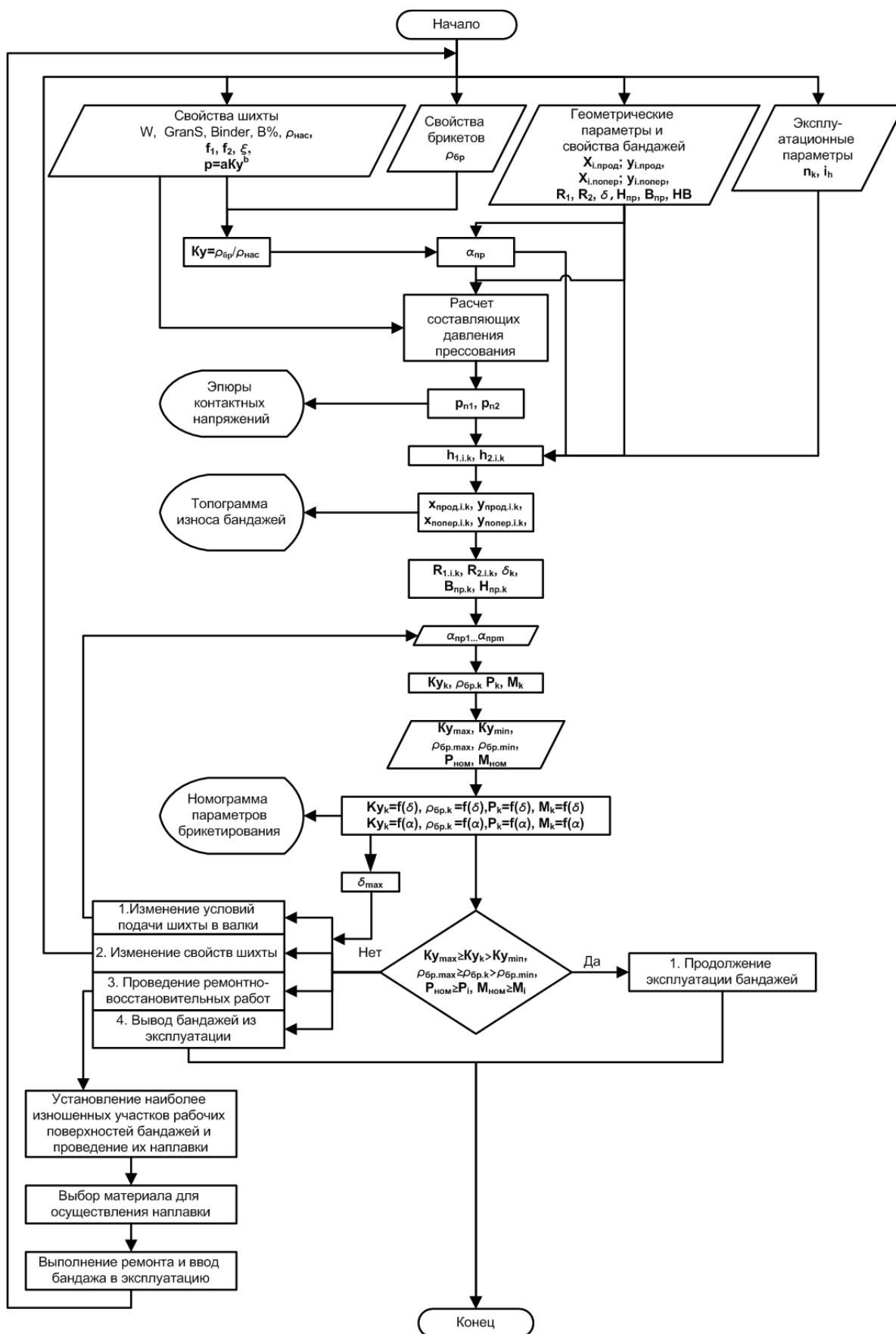


Рисунок 2 – Структурная схема алгоритма экспертной системы

Свойства шихты характеризуются следующими параметрами: влажность шихты  $W$ ; гранулометрический состав  $GranS$ ; вид связующего  $Binder$ ; содержание связующего в шихте  $B\%$ ; насыпная плотность шихты  $\rho_{нас}$ ; коэффициенты внешнего трения  $f_1$ , внутреннего трения  $f_2$ , бокового давления  $\xi$ ; коэффициент уплотнения  $Ky$ ; уравнение сопротивления шихты сжатию  $p = f(Ky)$ .

В качестве параметра, определяющего свойства и качество брикетов, задается их плотность  $\rho_{бр}$ . При дальнейшем развитии прототипа экспертной системы возможно дополнение параметров, характеризующих свойства брикетов (например, прочность).

Характеристики бандажей валкового пресса: конфигурация формующего элемента представлена координатами контура формующего элемента в поперечном  $x_{попер}$ ,  $y_{попер}$  и продольном  $x_{прод}$ ,  $y_{прод}$  сечениях, а также приведенной высотой  $H_{пр}$  и шириной  $B_{пр}$  формующего элемента; геометрия очага деформации задана радиусами  $R_1$ ,  $R_2$  и зазором между валками  $\delta$ ; указана твердость рабочих поверхностей бандажей  $HB$ .

Параметры эксплуатации бандажей включают удельную интенсивность изнашивания  $i_h$  и периоды их эксплуатации  $k$ , выраженные в количестве оборотов валков  $n_1, \dots, n_k$  с заданной дискретностью.

Используя зависимость  $p = f(Ky)$ , определяются давление прессования и его составляющие в очаге деформации валкового пресса. На основании полученных силовых характеристик процесса выполняется расчет значений контактных напряжений на рабочих поверхностях бандажей.

Алгоритмом предусмотрено графическое представление распределения контактных напряжений на рабочих поверхностях бандажей в виде эпюр.

Следующей стадией работы ЭС является расчет и построение топограмм износа бандажей – графического отображения контуров рабочей поверхности бандажей, соответствующих различной степени их износа. Для заданных периодов эксплуатации  $k$  с помощью математической модели износа бандажей определяются значения линейного износа  $h_{1.i.k}$ ,  $h_{2.i.k}$ , координат контуров рабочих поверхностей  $x_{попер.i.k}$ ,

$Y_{\text{попер.i.k}}$ ;  $X_{\text{прод.i.k}}$ ,  $Y_{\text{прод.i.k}}$  бандажей в их поперечных и продольных сечениях. На основе полученных массивов расчетных данных выполняется построение топограмм износа бандажей.

Далее с помощью топограмм определяются технологические  $Ky_k$ ,  $\rho_{\text{бр.k}}$  и энергосиловые параметры  $P_k$ ,  $M_k$  брикетирования на разных стадиях износа бандажей. Используя полученный массив данных, строится номограмма – графическое отображение взаимосвязей между величиной износа бандажей, технологическими и энергосиловыми параметрами брикетирования для различных условий подачи материала в валки (для исходного значения угла прессования и для возможного диапазона его изменения  $\alpha_{\text{пр1}}, \dots, \alpha_{\text{прm}}$ ). Полученная номограмма используется компонентом принятия решений ЭС для выполнения прогнозных и экспертных оценок условий эксплуатации бандажей.

На основании полученных прогнозных оценок, для каждой величины износа определяется режим эксплуатации пресса: величина угла прессования  $\alpha_{\text{пр}}$ , значения усилия  $P_k$ , и момента прессования  $M_k$ , а также предельные значения износа рабочей поверхности бандажей - зазор между валками  $\delta_k$  и угла прессования  $\alpha_{\text{пр}}$ , при достижении которых принимается решение о выведении бандажей из эксплуатации.

Одной из задач, решаемой с помощью ЭС, является корректировка технологического режима получения брикетов из заданного материала, т.е. изменение свойств шихты с целью достижения требуемых технологических показателей на разных стадиях износа бандажей. Возможно несколько вариантов решения этой задачи. Достижение требуемой величины уплотнения шихты в значительной мере зависит от ее сопротивления сжатию, описываемого уравнением  $p = a \cdot Ky^b$ , где  $p$  - давление прессования,  $a$  и  $b$  - коэффициенты, характеризующие свойства шихты. Корректировка свойств шихты выполняется таким образом, чтобы уменьшить силовые характеристики процесса брикетирования за счет изменения ее сопротивления сжатию, что позволит увеличить пределы регулирования подачи шихты в валки и расширить диапазон эксплуатации бандажей. Изменение сопротивления шихты сжатию можно достичь путем изменения таких параметров, как влажность шихты  $W$ , гранулометрический состав  $\text{GranS}$ , вид связующего  $\text{Binder}$  и его процентное  $V\%$  содержание в шихте.

Следующей задачей, решаемой ЭС, является определение способа и объема ремонтно-восстановительных работ. Для восстановления исходного контура рабочей поверхности бандажей используются топограммы износа. Ремонтно-восстановительные работы состоят в наплавке изношенных участков бандажей и последующей механической обработке наплавленного слоя металла с целью обеспечения исходных геометрических параметров рабочих поверхностей бандажей. С помощью ЭС устанавливается распределение износа по контуру формующего элемента, выделяются локальные зоны наибольшего износа, определяется толщина наплаваемого слоя на различных участках рабочей поверхности бандажей.

На каждой стадии работы ЭС эксперт оценивает целесообразность применения описанных выше способов увеличения ресурса эксплуатации бандажей или принимает решение о выводе изношенных бандажей из эксплуатации.

Например, изменение вида связующего может потребовать значительных изменений в технологической линии.

Условия возможности выполнения ремонтно-восстановительных работ бандажей также зависят от наличия технических возможностей предприятия, технического состояния бандажа, особенно в том варианте, если ранее он уже подвергался ремонту путем наплавки.

Особенно эффективно применение ЭС на стадии проектирования прессового оборудования и выбора технологических режимов брикетирования. ЭС позволяет оценить влияние большого количества факторов на условия эксплуатации бандажей и их износ, оптимизировать выбор конструктивных параметров пресса и характеристик брикетируемого материала.

**Варианты решения задач по прогнозированию и увеличению ресурса эксплуатации бандажей.** С использованием разработанной системы, показаны варианты решений практических задач для реальных шихт и конструктивных параметров бандажей, используемых на существующих установках по производству брикетов. В табл. 1 приведены основные расчетные данные, использованные для данных вариантов задач.

В первом варианте выполнена прогнозная оценка параметров брикетирования на разных стадиях износа бандажей для шихты, на основе силикомарганца фр. -6мм. Определена предельно допустимая

величина износа бандажей 8,5мм и диапазон регулировки подачи шихты в валки 10,0°... 15,7°.

В варианте 2 показана возможность увеличения ресурса эксплуатации бандажей за счет изменения свойств шихты. Изменение фракционного состава отсева силикомарганца фр. -6мм на фр.-3мм позволило увеличить ресурс эксплуатации бандажей на 26%.

В варианте 3 показано влияние геометрических параметров формующего элемента на величину достигаемого уплотнения и на износ бандажей. Изменение конфигурации формующих элементов позволило увеличить ресурс эксплуатации бандажей на 12%. Разработанная экспертная система позволяет учесть неоднозначность влияния этого параметра и оценить его возможные сочетания и комбинации с другими характеристиками процесса брикетирования, т. е. оптимизировать работу по выбору рациональных конфигурации и размеров формующих элементов.

Таблица 1

№ Вар-ианта	Шихта	Размеры формующих элементов, мм	$\delta_{\max}$ , мм	$n_{\max}$ , об.	$\rho_{бр.к}$	$Ky_k$	$\alpha$ , град	$P_k$ , кН	$M_k$ , кН·м
1.	96,5% SiMn (фр. -6мм) + 3,5% ОС	39,8×36,0×17,5	8,5	87816	3,6... 4,5	1,80... 2,14	10,0... 15,7	200... 520	18... 56
2.	98,5% SiMn (фр. -3мм) + 1,5% ОС	39,8×36,0×17,5	9,3	118190	3,6... 4,7	1,80... 2,17	12,4... 16,2	75... 530	7... 56
3.	96,5% SiMn (фр. -6мм) + 3,5% ОС	62,6×60,0×27,0	11,3	100247	3,6... 4,3	1,80... 2,05	15,2... 18,9	200... 540	20... 56
4.	Каолин W=10%	31,4×33,0×14,5	2,8	28049	1,9... 2,1	1,90... 2,10	13,5... 16,0	75... 180	20... 45
	Каолин W=15%	31,4×33,0×14,5	5,4	60975	1,9... 2,1	1,90... 2,10	13,5... 16,0	60... 125	15... 35
5.	97% коксовой мелочи + 3% ОС	39,8×36,0×17,5	3,5	55700	1,3... 1,5	2,42... 2,79	14,3... 19,8	230... 580	20... 56
	85% коксовой мелочи + 7,5% извести + 7,5% мелассы	39,8×36,0×17,5	3,5	79950	1,3... 1,5	2,42... 2,79	13,3... 20,0	139... 500	12... 50



Вариант 4 показывает возможность оптимизировать выбор технологических режимов брикетирования. Изменение влажности каолина с 10% на 15% существенно изменило сопротивление шихты сжатию. Уменьшились давление прессования и контактные напряжения на поверхностях бандажей. Это привело к значительному снижению изнашивания бандажей.

В варианте 5 показано влияние связующего вещества на изменение параметров брикетирования и ресурс эксплуатации бандажей. Величина максимально допустимого износа бандажей при использовании обоих видов связующего одинакова – 3,5мм, но при этом она достигается за разное количество оборотов валков пресса. При использовании органического связующего максимальный износ достигается за 55700 оборотов валков пресса, а при использовании в качестве связующего вещества извести и мелассы – за 79950, т.е. замена связующего вещества позволила увеличить ресурс эксплуатации бандажей на 30%.

Таким образом, на конкретных примерах показаны возможности системы в решении задач прогнозирования и оценки влияния износа на энергосиловые и технологические параметры процесса брикетирования, установления предельных величин износа и выбора путей повышения ресурса бандажей за счет технологических и технических приемов.

**Выводы.** Разработанная экспертная система позволяет в условиях действующего производства в оперативном режиме осуществлять оценку возможности эксплуатации изношенных бандажей, корректировать режим работы пресса и технологические характеристики шихты с целью увеличения рабочего ресурса комплекта бандажей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. <http://khpi-iip.mipk.kharkiv.edu/library/ai/conspai/> Морозов М.Н. Курс лекций по дисциплине "Системы искусственного интеллекта" Лаборатория систем мультимедиа, Марийский государственный технический университет.