

**С.Ш. БАЛАСАНЯН, Э.М. ГЕВОРГЯН**

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО  
РЕКОНФИГУРАЦИИ СТРУКТУРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ  
ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ РУДЫ**

*(Капан)*

Рассмотрены вопросы обеспечения надежности и эффективности функционирования технологической системы измельчения руды путем введения резервных связей между измельчительными агрегатами. В результате имитационных экспериментов, проведенных с помощью компьютерной модели указанной системы, определена наилучшая структура резервных связей между измельчительными агрегатами, на основании которой разработана автоматизированная система принятия решений по реконфигурации структуры системы.

**Ключевые слова:** измельчение, отказ, качество, дерево решений, реконфигурация.

**Введение.** Измельчение руды является важнейшим технологическим процессом рудоподготовки, непосредственно предшествующим процессу флотации руды и в значительной мере предопределяющим его эффективность [1,2]. Как показывает опыт эксплуатации обогатительных фабрик, эффективность флотации заметно снижается в результате ухудшения выходных характеристик технологической системы измельчения руды (ТСИР) вследствие отказов ее оборудования [3–5]. В связи с этим вопросы обеспечения надежности и эффективности функционирования ТСИР приобретают особую важность.

Одним из возможных способов повышения эффективности функционирования ТСИР является введение структурной избыточности, т.е. резервных связей между измельчительными агрегатами (ИА), которые могут быть использованы для реконфигурирования структуры системы при отказах ее оборудования с целью рационального использования работоспособных агрегатов.

Данная работа посвящена выбору наилучшей структуры резервных связей между ИА и разработке на ее основе автоматизированной системы принятия решений (АСПР) по реконфигурации структуры ТСИР Зангезурского медно-молибденового комбината (ЗММК).

**Содержательное описание нормального функционирования ТСИР.** ТСИР ЗММК (рис. 1) состоит из 21 мельницы шарового измельчения, 3 мельниц самоизмельчения, 6 двуспиральных классификаторов типа 2КСН-2.4, 10 односпиральных классификаторов типа КСН-2.0, 11 блоков гидроциклонов  $\varnothing 750$  мм, 12-ти 8-дюймовых грунтовых насосов типа ГраК 350/40,

10-ти 12-дюймовых грунтовых насосов типа ГраК 1600/50, 24 систем смазки. Цикл шарового измельчения включает 1 шаровую мельницу 1-й стадии типа МШР- 3200х3100 мм (М<sub>1</sub>), 2 шаровые мельницы 2-й стадии типа МШЦ- 3200х3100 стандартного размера (М<sub>5</sub> и М<sub>6</sub>) и 18 удлиненных шаровых мельниц типа МШР 3200х3800 мм. Шаровые мельницы М<sub>1</sub>, М<sub>2</sub>, М<sub>3</sub>, М<sub>4</sub>, М<sub>5</sub>, М<sub>6</sub>, М<sub>7</sub>, М<sub>8</sub>, М<sub>11</sub>, М<sub>13</sub>, М<sub>16</sub>, М<sub>17</sub> работают по схеме двухстадийного измельчения при сопряжении мельниц 2:1, т.е. две мельницы 1-й стадии работают с одной мельницей 2-й стадии. Шаровые мельницы М<sub>9</sub>, М<sub>10</sub>, М<sub>14</sub>, М<sub>12</sub>, М<sub>20</sub>, М<sub>21</sub>, М<sub>22</sub>, М<sub>23</sub>, М<sub>24</sub> и мельницы самоизмельчения МС<sub>1</sub>, МС<sub>2</sub>, МС<sub>3</sub> работают по схеме двухстадийного измельчения при сопряжении мельниц 1:1.

Руда из параболического бункера и бункера дробленой руды крупностью <16 мм подается на измельчение в шаровые мельницы 1-й стадии измельчения с разгрузкой через решетку. Разгрузка шаровых мельниц 1-й стадии измельчения М<sub>1</sub>, М<sub>2</sub>, М<sub>3</sub>, М<sub>4</sub>, М<sub>8</sub>, М<sub>10</sub> поступает в двухспиральные классификаторы Ø 2400 мм, а разгрузка мельниц 1-й стадии М<sub>17</sub>, М<sub>16</sub>, М<sub>21</sub>, М<sub>22</sub> и 2-й стадии М<sub>9</sub>, М<sub>10</sub> – в односпиральные классификаторы Ø 2000 мм. Мельница М<sub>13</sub>, в отличие от остальных мельниц 1-й стадии, работает в замкнутом цикле с гидроциклоном Ø 750 мм с непосредственным питанием 8-дюймовым грунтовым насосом ГН<sub>13</sub> (ГНР<sub>13</sub>). Все шаровые мельницы 2-й стадии работают по замкнутой схеме с грунтовым насосом и батареей гидроциклонов, причем мельницы М<sub>9</sub>, М<sub>11</sub>, М<sub>20</sub>, М<sub>23</sub> 2-й стадии измельчения одновременно подпитываются рудой из бункеров дробленой руды, что позволяет им при отказе или ремонте мельниц 1-й стадии работать в одностадийном режиме (1:0). Слив классификаторов и разгрузка мельниц 2-й стадии объединяются и поступают в зумпфы грунтовых насосов гидроциклонов 2-й стадии измельчения. В измельчительных комплексах (ИК), работающих по схеме сопряжения 2:1 (ИК<sub>1</sub> - ИК<sub>3</sub>, ИК<sub>10</sub>), установлены 12-дюймовые грунтовые насосы типа ГраК 1600/50, зарезервированные методом замещения 8-дюймовыми насосами типа ГраК 350/40, обеспечивающими работу ИК по схеме сопряжения 1:1 при отказе основного 12-дюймового насоса. В ИК, работающих по схеме сопряжения 1:1 (ИК<sub>4</sub>, ИК<sub>6</sub>, ИК<sub>7</sub>), установлены 8-дюймовые грунтовые насосы, зарезервированные однотипными насосами методом замещения. Цикл самоизмельчения руды включает 3 мельницы самоизмельчения (МС<sub>1</sub>, МС<sub>2</sub>, МС<sub>3</sub>) типа ММС 70-73, работающие по схеме сопряжения 1:1 соответственно с шаровыми мельницами М<sub>12</sub>, М<sub>14</sub>, М<sub>24</sub> и односпиральными классификаторами Ø 2000 мм.

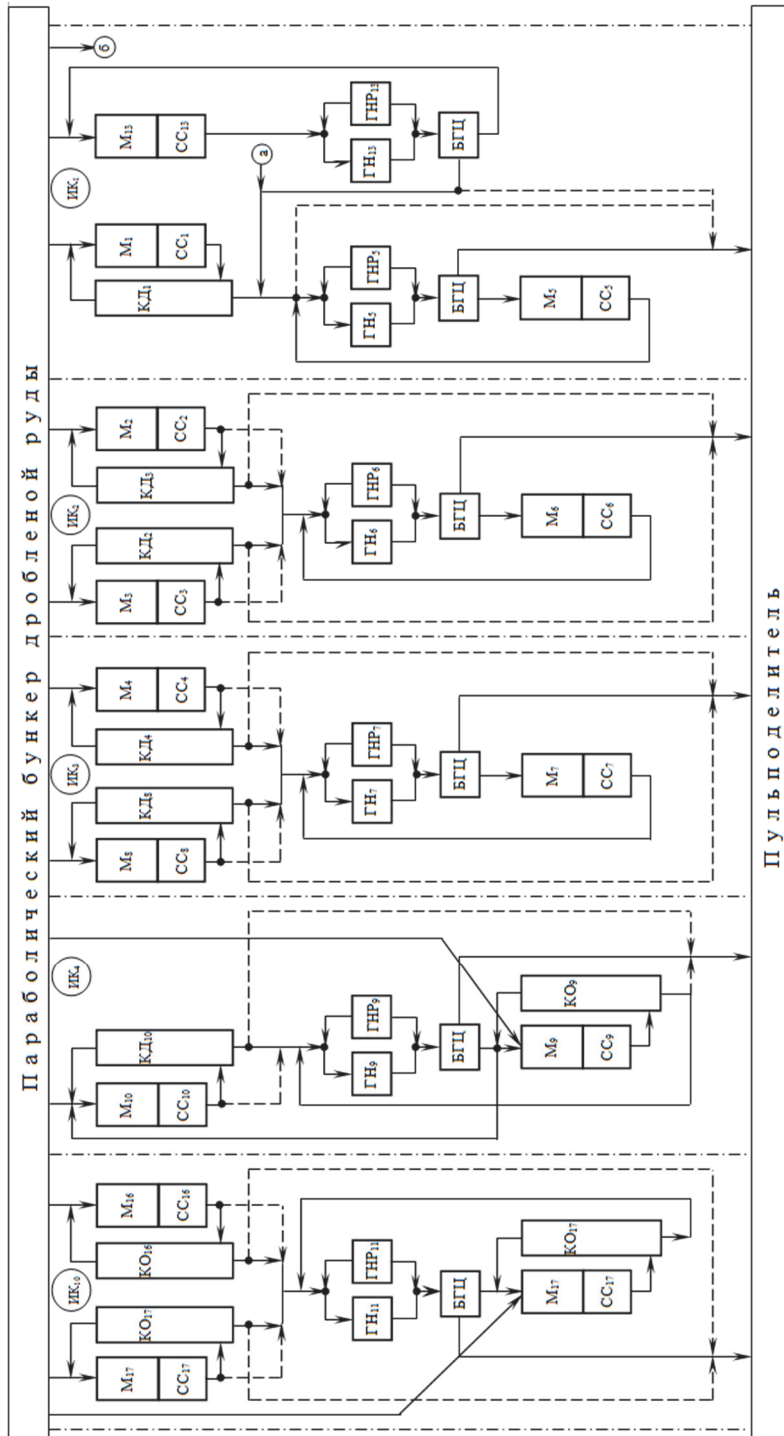


Рис. 1. Структурная схема ТСИР

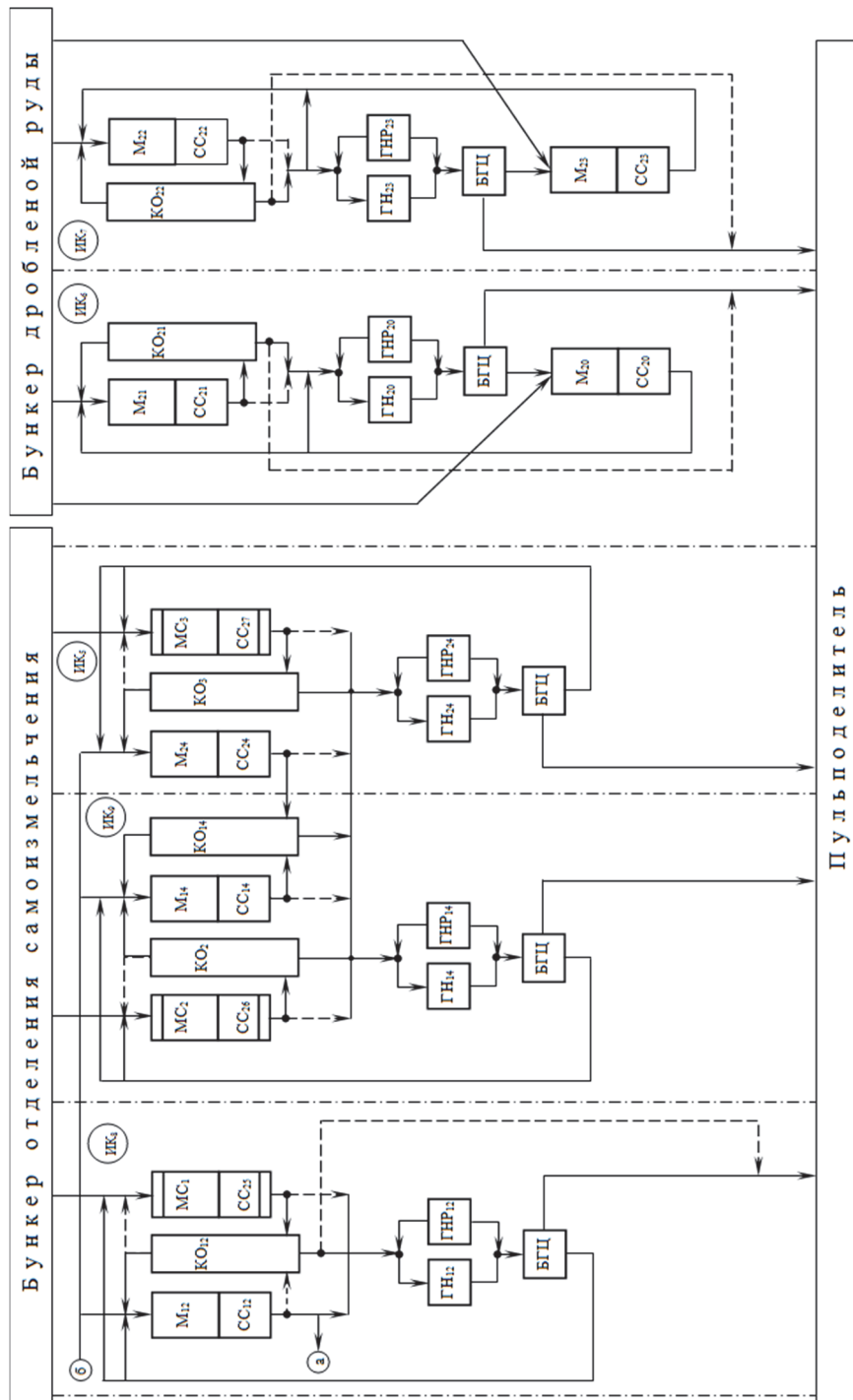


Рис. 1. Структурная схема ТСПР (продолжение)

Сливы классификаторов поступают в зумпфы 12-дюймовых грунтовых насосов, зарезервированных методом замещения однотипными насосами, откуда качаются в блоки гидроциклонов.

Мельницы со своими системами смазки и классификаторами или блоками гидроциклонов составляют ИА, которые вместе с грунтовыми насосами входят в состав ИК, работающих по схеме двухстадийного измельчения при сопряжении ИА 2:1 или 1:1 (ДИК (2:1) или (ДИК (1:1)) (рис.1).

**Содержательное описание функционирования ТСИР при отказах ее оборудования.** В ТСИР, помимо основных связей между агрегатами, предусмотрены также резервные связи (на рис. 1 эти связи обозначены пунктиром), которые используются при отказах или принудительных простоях оборудования. Благодаря свойству перестроения (реконфигурации) структуры системы посредством использования резервных связей и способности ИА функционировать в различных режимах, отказы оборудования не приводят к отказу системы в целом, а лишь снижают качество ее функционирования. Условия работоспособности ИА, ИК и возможные режимы их работы с использованием резервных связей определяются следующим образом.

Одностадийный ИА и ИА 1-й стадии измельчения работоспособны, когда одновременно работоспособно входящее в его состав оборудование: мельницы, системы смазки и классификаторы. Указанные агрегаты могут функционировать как самостоятельные ИА, так и ИА 1-й стадии в составе ДИК при соотношении агрегатов 2:1 или 1:1. ИА 2-й стадии измельчения работоспособен лишь тогда, когда одновременно работоспособны хотя бы один из грунтовых насосов и входящие в ее состав компоненты (мельница, система смазки, классификатор). Измельчительные агрегаты 2-й стадии, которые одновременно подпитываются рудой ( $A_{11}$ ,  $A_9$ ,  $A_{20}$ ,  $A_{23}$ ,  $A_{14}$ ,  $A_{24}$ ), могут функционировать как самостоятельные одностадийные ИА при отказах измельчительных агрегатов 1-й стадии. Те ИА 2-й стадии, которые не подпитываются рудой ( $A_7$ ,  $A_6$ ,  $A_5$ ) при одновременном отказе обоих ИА 1-й стадии, прекращают функционировать. Резервные и основные насосы, входящие в состав ИК<sub>4</sub>, ИК<sub>5</sub>, ИК<sub>6</sub>, ИК<sub>7</sub>, ИК<sub>8</sub>, ИК<sub>9</sub>,  $A_{13}$ , однотипные, поэтому отказавший насос после восстановления переходит в резерв. Заметим, что резервные 8-дюймовые насосы, входящие в состав ИК<sub>2</sub>, ИК<sub>3</sub>, ИК<sub>5</sub>, ИК<sub>8</sub>, ИК<sub>9</sub>, работают до момента окончания восстановления отказавшего основного насоса, который включается вместо резервного.

При необходимости, ДИК (2:1) (ИК<sub>2</sub>, ИК<sub>3</sub>, ИК<sub>10</sub>) посредством реконфигурации структуры может функционировать как:

- самостоятельный ИА (1:0) и ДИК (1:1) - при отказе основного грунтового насоса;

- ДИК (1:1) - при отказе одного из ИА 1-й стадии;
- два самостоятельных одностадийных ОИА (2:0) - при отказе ИА 2-й стадии или грунтовых насосов;
- ОИА (1:0) - при отказе обоих ИА 1-й стадии (только ИК<sub>10</sub>, который одновременно подпитывается рудой).

ДИК (2:1) полностью прекращает функционировать при одновременном отказе обоих ИА 1-й стадии и ИА 2-й стадии (или грунтовых насосов).

При отказах оборудования входящие в ДИК (1:1) (ИК<sub>4</sub>, ИК<sub>6</sub>, ИК<sub>7</sub>) указанные комплексы могут функционировать как ОИА (1:0) (А<sub>10</sub>, А<sub>21</sub>, А<sub>22</sub>) при отказе ИА 2-й стадии (или (А<sub>9</sub>, А<sub>20</sub>, А<sub>23</sub>) обоих грунтовых насосов), ОИА (1:0) (А<sub>9</sub>, А<sub>10</sub>, А<sub>23</sub>) при отказе ИА 1-й стадии (А<sub>10</sub>, А<sub>21</sub>, А<sub>22</sub>). ДИК (1:1) прекращает функционировать при одновременном отказе ИА 1-й и 2-й стадий (или обоих грунтовых насосов).

ДИК (1:1) (ИК<sub>5</sub>, ИК<sub>8</sub>, ИК<sub>9</sub>) при отказах оборудования могут функционировать как ОИА (1:0) при отказах ИА 1-й стадии (МС<sub>1</sub>, МС<sub>2</sub>, МС<sub>3</sub>) или ИА 2-й стадии (А<sub>12</sub>, А<sub>14</sub>, А<sub>24</sub>), или обоих грунтовых насосов.

При ремонте классификаторов имеется возможность подачи разгрузки мельницы непосредственно в зумпф грунтовых насосов гидроциклонов 2-й стадии измельчения.

**Выбор наилучшей структуры резервных связей и рациональной стратегии перестроения структуры системы.** В результате детального рассмотрения различных вариантов введения структурной избыточности в ТСИР и обсуждений с эксплуатирующими ее специалистами выяснилось, что кроме имеющихся в системе резервных связей, можно ввести еще четыре дополнительные связи. Из всех технологически возможных вариантов структуры резервных связей, составленных с учетом наложенного ограничения, путем исключения заведомо явно малоэффективных вариантов были выбраны четыре конкурирующих варианта. Для выбранных вариантов структуры резервных связей были рассмотрены две конкурирующие стратегии использования резервных связей. В результате имитационных экспериментов с компьютерной модели ТСИР [6] были выбраны наилучшая структуры резервных связей и рациональная стратегия реконфигурации структуры ТСИР.

**Автоматизированная система принятия решений по реконфигурации структуры ТСИР.** Оператору измельчительного отделения нелегко запомнить сложную процедуру выбора наилучшей структуры системы в зависимости от работоспособности ИА системы и своевременно принять наиболее рациональные для конкретно сложившихся отказовых ситуаций решения. В этой связи возникает необходимость автоматизации процесса принятия реше-

ний по реконфигурации структуры ТСИР при отказах ее оборудования.

В соответствии с выбранной наилучшей структурой резервных связей и рациональной стратегией реконфигурации структуры ТСИР разработана автоматизированная система принятия решений по реконфигурации структуры (АСПРРС) ТСИР при отказах ее агрегатов. АСПРРС состоит из 10 последовательно соединенных модулей, каждый из которых представляет собой дерево решений [7] для автоматизированного принятия решений по реконфигурации структуры соответствующего ИК. Дерево решений и соответствующая блок-схема модуля для ИК<sub>1</sub> приведены на рис. 2, 3.

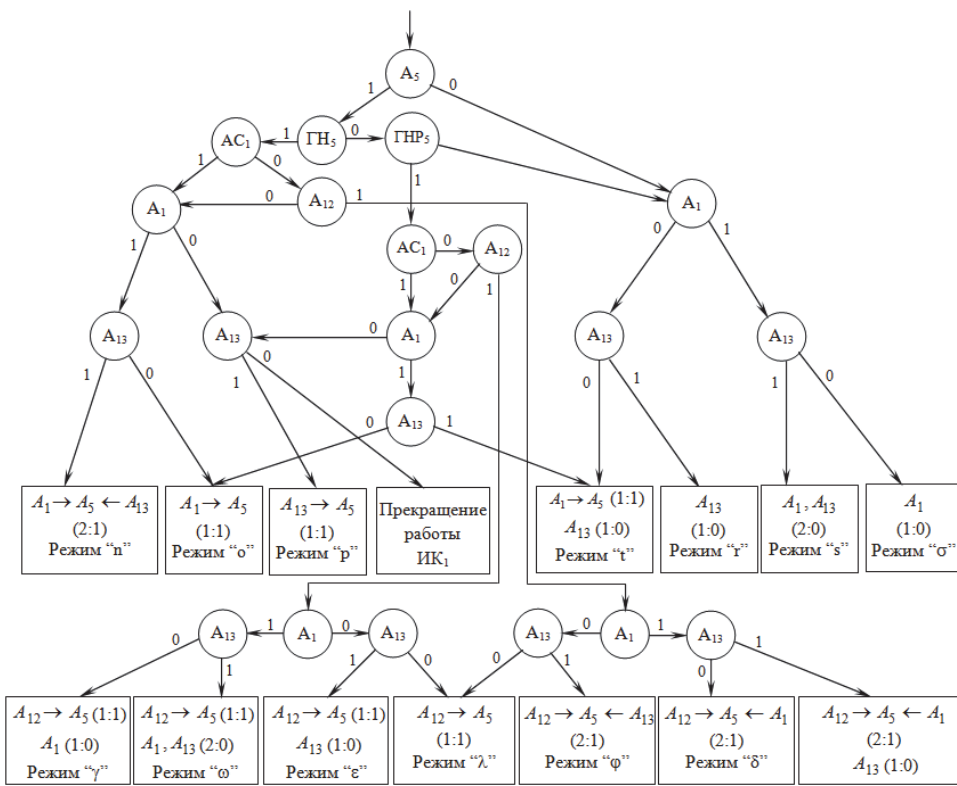


Рис. 2. Дерево решений по реконфигурации структуры ИК<sub>1</sub>

Входной сигнал АСПРРС представляет собой 32-мерный бинарный вектор  $\hat{z}(t) = (\hat{z}_1(t), \hat{z}_2(t), \dots, \hat{z}_{32}(t))$ , описывающий сложившуюся в момент времени  $t$  ситуацию. Каждая компонента вектора  $\hat{z}(t)$  в зависимости от состояния соответствующего ИА может принимать значение "1" при работоспособности агрегата, или "0" - при его отказе или принудительном простое. Выходной сигнал модели представляет собой совокупность решений по реконфигурации

структуры и выбору режимов каждого из десяти измельчительных комплексов. АСПРПС реализована на компьютере Pentium i7 с использованием языка C++, включает 430 операторов. Среднее время принятия решения для одной ситуации с помощью АСПРПС составляет около 1 мин, что позволяет использовать ее с целью ситуационного управления процессом реконфигурации структуры ТСИР в реальном масштабе времени.

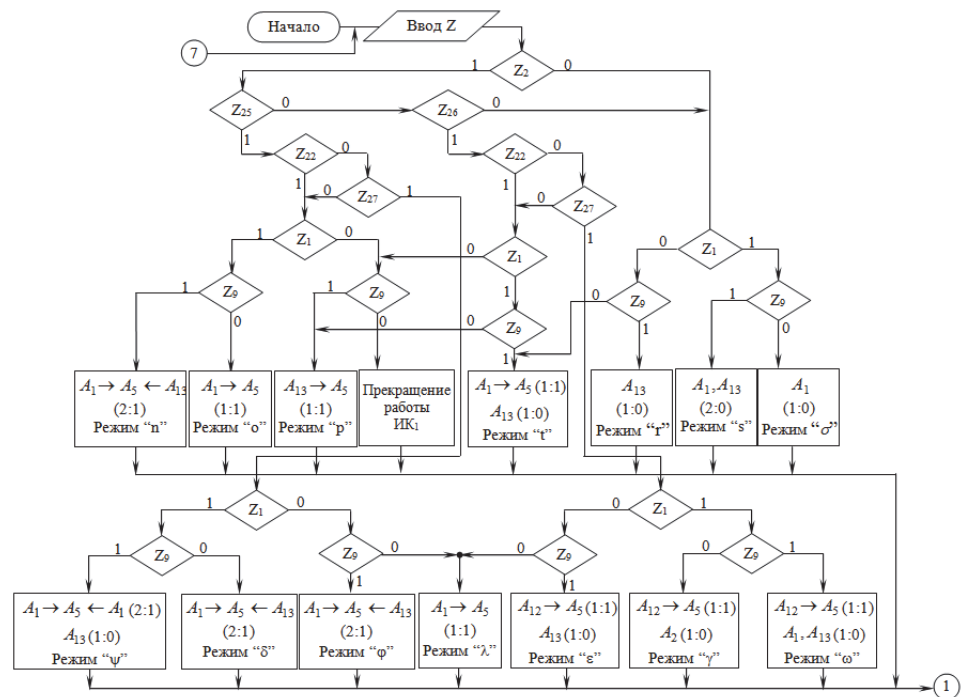


Рис. 3. Блок-схема модуля АСПР по реконфигурации структуры ИК<sub>1</sub>

**Выводы.** Разработанная АСПРПС позволяет при изменении работоспособности измельчительного оборудования ТСИР своевременно выбрать наилучшую для данной ситуации структуру и режим работы каждого ИК, независимо от квалификации и опыта оператора. Благодаря применению этой системы оператор полностью освобождается от обязанностей лица, принимающего решения.

Предлагаемая автоматизированная система принята для использования в составе программного обеспечения автоматизированной системы управления технологическим процессом измельчения медно-молибденовой руды ЗММК.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Авдохин В.М.** Основы обогащения полезных ископаемых. Т. 1. Обогащительные процессы. – М.: Изд-во “Горная книга”, 2014. – 417 с.
2. **Морозов В.В., Топчаев В.П., Улитенко К.Я.** Разработка и применение АСУ процессами обогащения полезных ископаемых. – М.: Изд. дом “Руда и Металлы”, 2013. – 512 с.
3. **Карпов В.А., Безверхая Е.В., Чесноков В.Т.** Надежность горных машин и оборудования. – Красноярск: Изд-во СФУ, 2012. – 134 с.
4. **Баласаян С.Ш., Симонян С.О., Геворгян Э.М.** Компьютерная модель для стохастического управления технологическим процессом флотации руды с учетом надежности измельчительного оборудования // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 323, № 5. – С. 50–57.
5. **Баласаян С.Ш.** Компьютерная модель процесса возникновения отказов и восстановления оборудования системы измельчения руды // Цветные металлы. – 2012. – № 7. – С. 82–86.
6. **Баласаян С.Ш.** Стратифицированное моделирование сложных технологических систем. – Саарбрюкен, Германия: LAP Lambert Academic Publishing. – 2016, ISBN 978–3–659–54725–6. – 385 с.
7. **Ritika M.** Research on data mining classification // Int. J. Adv. Res. Comput. Sci. Softw. Eng. – 2014. – 4 (4). – P. 329–332.

## Ս.Շ. ԲԱԼԱՍԱՆՅԱՆ, Հ.Մ. ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ

### ՀԱՆՔԱՔԱՐԻ ՄԱՆՐԱՑՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ՎԵՐԱՓՈԽՄԱՆ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ ՎՃԻՌՆԵՐԻ ԿԱՅԱՑՄԱՆ ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՎԱԾ ՀԱՄԱԿԱՐԳ

Դիտարկված են մանրացնող ագրեգատների միջև պահուստային կապերի ներմուծման միջոցով հանքաքարի մանրացման տեխնոլոգիական համակարգի հուսալիության և արդյունավետության ապահովման հարցերը: Նշված համակարգի քումփյութերային մոդելով կատարված նմանակային գիտափորձերի արդյունքում որոշվել է մանրացնող ագրեգատների միջև պահուստային կապերի լավագույն կառուցվածքը, որի հիման վրա մշակվել է համակարգի կառուցվածքի վերափոխման վերաբերյալ վճիռների կայացման ավտոմատացված համակարգ:

**Առանցքային բառեր.** մանրացում, խափանում, որակ, վճիռների ծառ, վերափոխում:

S.SH. BALASANYAN, H.M. GEVORGYAN

**AN AUTOMATED DECISION MAKING SYSTEM FOR  
RECONFIGURATION OF THE ORE GRINDING SYSTEM STRUCTURE**

The problems of ensuring the reliability and efficiency of the ore grinding technological system functioning by the introduction of redundant links between the grinding aggregates are considered. The result of simulation experiments with a computer model of the ore grinding technological system is determined, the best structure of the redundant links between the grinding aggregates on the basis of which, an automated decision-making system for the reconfiguration of the system structure is developed.

**Keywords:** grinding, failure, quality, decision tree, reconfiguration.

ՀՏԴ 621.52+511.52

**Վ.Ա. ՊՈՂՈՍՅԱՆ, Ռ.Ա. ՄԱՆՈՒԿՅԱՆ**

**ԲԱԶՄԱՊԱՐԱՄԵՏՐԱԿԱՆ ՄԱՏՐԻՑՆԵՐԻ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ՈՐՈՇՄԱՆ  
ԱՌՑԱՆՑ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԱՇԽԱՏԱՆՔԱՅԻՆ ՄԻՋԱՎԱՅՐԸ**

Մշակվել է բազմապարամետրական մատրիցների բնութագրերի որոշման առցանց համակարգի աշխատանքային միջավայրը:

**Առանցքային բառեր.** վեբ ծառայություն, տվյալների ձևաչափեր, առցանց API:

Բազմապարամետրական մատրիցների բնութագրերի որոշման համար մշակվել է առցանց համակարգ [1,2] տեղեկատվական արդիական տեխնոլոգիաների [3,4] և պարամետրական մատրիցների բնութագրերի հաշվման մեթոդների [5-7] կիրառմամբ: Հարթակի հիմնական էջն ունի հետևյալ տեսքը (նկ. 1):



Նկ. 1. Հարթակի հիմնական էջը