

2. Сучасний стан енергоменеджменту в Україні [Електронний ресурс] / Офіційний сайт Українського фонду соціальних інвестицій.-Київ, 2015.-Режим доступу: www.usif.org.ua.
3. Концепт розумного будинку [Електронний ресурс] IXBT.-Москва, 2014.- Режим доступу: <http://www.ixbt.com/news/hard/index.shtml?18/23/97>.- Дата доступу: 20.02.2015.
4. Mohamed El Hachemi Benbouzid/ Induction Motors' Faults Detection and Localization Using Stator Current Advanced Signal Processing Techniques/ IEEE TRANSACTIONSON POWE RELECTRONICS,VOL.14,NO.1,JANUARY1999
5. Кузнецов Д.І. Експертна система розпізнавання дефектів електрообладнання / Д.І. Кузнецов, А.І. Купін//Інформаційні управляючі системи та комп'ютерний моніторинг: зб. матеріалів III всеук. наук.-техн. конф. 2012р.- Донецьк.: ДонНТУ,2012.-С.185-187.
6. Конох И.С. Разработка и исследование интеллектуальной системы регулирования параметров микроклимата помещения/ И.С. Гула, С.В. Сукач // Электромеханические и энергосберегающие системы. – Кременчуг: КНУ, 2010. – Вып. 3/2010 (11). – С. 80–85.
7. Мансуров Р. Ш. Экспериментальное исследование переходных процессов в системах обеспечения микроклимата / Сб. докладов 4-й международной научно-технической конференции «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции». – М. : МГСУ, 2011.
8. Кувшинов Ю. Я. Динамические свойства помещения с регулируемой температурой воздуха // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1993. – № 4
9. Управление микроклиматом [Электронный ресурс] /Мир автоматизации.-Москва, 2009.-Режим доступа: <http://www.soliton.com.ua/pr/MA-2009-Feb-Produal-small.pdf>.- Дата доступа: 20.01.2015.
10. Khadim Moin Siddiqui. Fault diagnosis in induction motors by motor current signal analysis / Khadim Moin Siddiqui, V.K. Giri // International Journal of Electronics & Communication Technology. – 2011.– vol 2.– pp 114 – 119.
11. Didier G. Fault detection of broken rotor bars in induction motor using a global fault Index / Didier G., Ternisien E., Caspary O // IEEE Transactions on Industry Applications. – 2006. – vol. 42. – pp. 79–88.
12. Whitley D. Genetic Algorithms and Neural Networks: Optimization Connections and Connectivity / Whitley D., Starkweather T., Bogart C. – Parallel Computing, 1990. –231 pp. (Vol. 14).
13. Анил К. Д. Введение в искусственные нейронные сети / Анил К.Д. – М.: Открытые системы, 1997.– 234 с.
14. Said M. Detection of broken bars in induction motors using an extended Kalman filter for rotor resistance sensorless estimation / Said M., Benbouzid M., Benchaib A. // IEEE Transactions on Energy Conversion. – 2000. – vol 15, № 1. – pp. 66–70.
15. Кузнецов Д.І. Структура експертної системи моніторингу поточного стану електрообладнання / Д.І. Кузнецов, А.І. Купін // Стратегія якості в промисловості та освіті: IX міжнар. наук.–практ. конф. 2013р.: тези доповідей. Варна, 2013. – С.333–335.

Рукопис подано до редакції 21.02.17

УДК 519. 95: 621.3

Ю.С.РУДЬ, д-р техн. наук, проф., В.Ю.БЕЛОНОЖКО, ст. преп.
ГВУЗ «Криворізький національний університет»

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ФОРМАЛЬНОГО ОПИСАНИЯ СТРУКТУРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Технологические системы современных промышленных предприятий относятся к классу сложных систем [1, 2]. В системных исследованиях понятие «сложная система» применяется тогда, когда становится невозможным или достаточно трудным осуществить точное описание, исследование и предсказание поведения системы. Функция сложной системы – достижения заданных целей, предписанных назначением системы. Для проектирования, изготовления и эксплуатации сложных систем необходимо иметь средства для ее описания, которые позволят изобразить многообразие состояний системы в пространстве и времени с помощью той или иной информационной системы отсчета. Описание системы - это идентификация ее определяющих элементов и подсистем, их взаимосвязей, целей, функций и ресурсов, т.е. описание допустимых состояний системы [3, 4]. Очевидно, что это описание должно быть адекватным, однозначным и удобным для использования в практике. Применяемые для этих целей средства пока еще весьма несовершенны, хотя бы потому, что нет возможности составить описание сложной системы на од-

ном языке. Для этих целей используют набор разнообразных средств, таких как чертежи устройств, математические формулы, словесные объяснения, специальные алгоритмические языки и др. Взаимное согласование описаний системы, выполненных на разных языках, связано с дополнительными расходами средств, а в ряде случаев и потерями информации или ее однозначности. Традиционный способ описания систем основывается на двух основных приемах: а) декомпозиции (разделении) целого технического объекта на составные части и б) рассмотрении тех свойств составных частей объектов, которые важны для данного исследования. Этот способ хорошо согласовывается с основным принципом промышленного производства — изготовлением элементов, из которых потом формируются составные части системы разной степени сложности, в т.ч. и сама система.

Способы описания функций системы: алгоритмический – словесное описание в виде последовательностей шагов, которые должна выполнять система для достижения поставленных целей; аналитический – в виде математических зависимостей в терминах некоторого математического аппарата; графический – в виде графических зависимостей или временных диаграмм; табличный – в виде различных таблиц, отражающих основные функциональные зависимости [5]. Н.П. Бусленко и А.И. Аверкин в работах [6, 7] отмечают, что "математическая модель сложной системы должна включать в себя формальные описания элементов системы и взаимодействия между ними». Далее в этой же работе отмечается, что в настоящее время "методам формального описания взаимодействия между элементами системы уделяется значительно меньшее внимание".

Целью формализованного описания структуры технологических систем является представление имеющихся данных об элементном составе системы и взаимодействии этих элементов, а также о процессах, происходящих в системе в виде специальных формальных объектов, удобных для проведения над ними вычислительных и имитационных экспериментов на ЭВМ. Выбор формализованного языка, учитывающего особенности технологических систем, является основной задачей начального этапа проектирования.

Анализ исследований и публикаций. Формальное описание системы - это разработка ее математической модели, которая должна отображать структуру системы с определенными функциями. Структура системы задается перечнем элементов, входящих в состав системы, и связей между ними. Одним из первых шагов при построении формального описания системы является расчленение системы на элементы. При данном рассмотрении системы в формализованной схеме элементы системы выступают как объекты, не подлежащие дальнейшему разбиению на части. Внутренняя структура элементов игнорируется и не является предметом исследований. Учитываются лишь те свойства элементов, которые определяют их взаимодействие с другими элементами системы и оказывают влияние на характер системы в целом. В наших исследованиях учитываются лишь те свойства элементов системы, которые лимитируют их работоспособность и часто имеют лишь два пороговых значения 1 или 0.

Описание системы должно включать: определение функций системы - выделение системы из ее внешней среды путем выбора границы, определение всех входов и выходов, описание функциональных соотношений между входами и выходами; формирование структуры системы - выделение элементов системы, определение взаимосвязей между ними, определение свойств элементов.

Описания структуры системы возможно несколькими способами: графический способ – в форме структурных схем, широко используемых в инженерных приложениях, в которых элементы обозначаются в виде специальных графических фигур или в форме графа, в котором вершины соответствуют элементам системы, а дуги – связям между ними; аналитический способ – путем задания в виде символов количества типов элементов, числа элементов каждого типа и связей, определяющих взаимосвязь элементов. Структурные схемы имеют для системного анализа фундаментальное значение, так как построение структурных моделей, по сути, сводится к установлению наиболее важных для данного исследования взаимосвязей между элементами исследуемой системы. Структурные схемы проясняют механизм строения исследуемого объекта и часто являются единственным типом модели, которую удастся построить. Для построения более сложных моделей объекта структурные схемы используются в качестве основы, на которую настраиваются дополнительные структуры низшего иерархического уровня. Структурные схемы обладают наглядностью и понятны широкому кругу специалистов,

служат удобной формой общения исследователей различных специальностей, а также удобной формой представления полученных результатов. На рис. 1 показана структурная схема системы технологического оборудования фабрики окомкования Северного горно-обогатительного комбината (1-я очередь) [9-11]. Элементами структурной схемы является технологическое оборудование, которые реализуют процесс подготовки сырья к окомкованию, его обжиг, охлаждение, классификацию и отгрузку готового продукта.

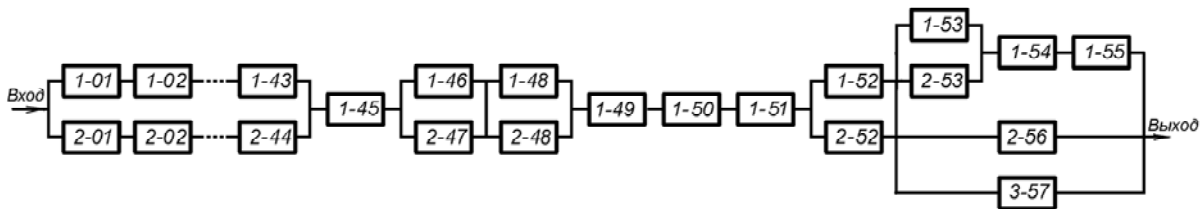


Рис. 1. Структурная схема системы технологического оборудования фабрики окомкования Северного горно-обогатительного комбината (1-я очередь)

В настоящее время разработка методов формального описания структуры сложных технологических представляет существенный теоретический и практический интерес. Несмотря на важность и актуальность проблемы, она не нашла достаточно полного практического решения ни в одной из отраслей наук. Одним из решений этой проблемы может служить метод формального описания структуры сложных технологических систем, предложенный проф. Ю.С. Рудь в работе [2].

Постановка задачи. На основе анализа известных исследований разработать метод формального описания структуры сложных технологических систем, обладающий достаточной точностью и пригодный для практического применения.

Изложение материала и результаты. Чтобы исключить разногласия и обеспечить идентичность понимания содержания данной статьи определимся с применяемой в ней терминологией. Под термином «система» понимается множество технических объектов - элементов вместе с отношениями между объектами и между их свойствами [2, 12-13]. Структура системы имеет иерархический характер, т.е. это многоуровневая форма организации элементов со строгим соотношением элементов нижнего уровня определенному системному объекту верхнего уровня. Элементом системы называется такая ее часть, которая выполняет определенные функции, необходимые для системы, и для которой определено ее техническое состояние [2, 14]. Элемент системы – это та ее динамическая часть, которая определенным образом зависит от других частей системы и определенным образом воздействует на них. Каждый элемент системы каким-то образом связан с другими элементами той же системы и имеет с ними некоторые отношения. Зависимость элементов от посторонних воздействий осуществляется через вход и выход каждого элемента. Каждый элемент связан с другими элементами системы через один вход и один выход. В системе не может быть элементов, которые полностью изолированы от других элементов. Для элемента характерна своя структура, сложность, поведение. Однако при решении конкретной задачи по отношению к системе более сложного иерархического порядка элементы рассматриваются как относительно неделимые первичные объекты – «атомы системы».

При рассмотрении свойств элементов учитываются лишь те, которые объединяют их в одно целое - систему, рассматриваемую в каждом конкретном случае. В исследованиях авторов учитываются те свойства элементов, которые оказывают воздействие на процесс функционирования системы и влияют на состояние работоспособности элементов. В общем случае существует множество состояний работоспособности элементов, зависящих от числа и уровня физических параметров. С целью упрощения проведения исследований множество состояний элементов разделено на два подмножества: состояние работоспособности и состояние отказа. С некоторым приближением эти рассуждения могут быть отнесены и к более сложным, чем элементы объектам – подсистемам. Технологическая подсистема - это более или менее самостоятельная часть системы, состоящая из комплекса взаимозависимых элементов, структурно объе-

диненных для решения одной технологической задачи, являющейся частью общего технологического процесса производства определенного продукта. Таким образом, функциональные задачи подсистем подчинены общей функциональной задаче, решаемой системой, так как изготовление конечного продукта, для которого предназначена система, требует выполнения отдельных технологических операций. Поведение подсистемы отличается от поведения системы в целом, так ее иерархический порядок ниже порядка системы, по крайней мере - на единицу. По аналогии с элементами подсистема взаимодействует с внешней средой и с внутренними подсистемами через вход и выход. Как внешние, так и внутренние подсистемы могут находиться лишь в двух состояниях - работоспособности и отказа.

Разработанный метод формального описания структуры сложных технологических систем [2] основан на использовании принципа декомпозиции. Декомпозиция - это разделение целого на части [15]. Декомпозиция, как процесс расчленения, позволяет рассматривать любую исследуемую систему как сложную, состоящую из отдельных взаимосвязанных подсистем, которые, в свою очередь, также могут быть расчленены на части - подсистемы или элементы. Исходная система располагается на нулевом иерархическом уровне. После ее расчленения получают подсистемы первого уровня. Расчленение этих подсистем или некоторых из них приводит к появлению подсистем второго уровня и т.д. Согласно принципу декомпозиции предполагается, что для каждой системы S_0 существует не менее одного способа ее декомпозиции. *Способ* декомпозиции определяется выбором размеров подсистем S_j и глубиной ее расчлененности. В связи с существованием различных способов декомпозиции системы, существуют и различные структуры одной и той же системы, а также варианты ее описания. Такое положение является нежелательным, так как формализация описания структуры сложных технологических систем должна проводиться при едином подходе к процессу декомпозиции систем различной сложности. В связи с этим разработан метод формального описания структуры сложных технологических систем, в котором единство принципов декомпозиции на всех иерархических уровнях системы обеспечивается выполнением следующих основных требований:

При декомпозиции системы S_0 или подсистемы S_j на подсистемы низшего уровня S_{j+1} , в каждую из них включают все элементы тех параллельных ветвей, которые имеют общий вход от предыдущей подсистемы и общий выход к последующей подсистеме.

Глубина декомпозиции каждой подсистемы S_j ограничена иерархическим уровнем элементов I_j , причем иерархический уровень элемента $I_3 = I$.

Иерархический уровень I_0 системы S_0 , состоящей из нескольких подсистем S_j , определяется той из них, которая имеет максимальный иерархический уровень, т.е. $I_0 = I_{j \max}$.

Иерархический уровень I_0 системы S_0 , состоящей из одного элемента, равен единице, т.е. соблюдается равенство $I_0 = I_3 = 1$.

Подсистема сложной технологической системы обозначается символом $S_{j,i}$ с двойным индексом и показателем степени, где 1-й индекс 1, 2, ... обозначает порядковый номер подсистемы в технологической системе, начиная от ее входа; 2-й индекс, имеющий вид 1-01; 2-01, ... обозначает порядковый номер параллельной ветви и элемента, в который вырождается подсистема в результате ее последовательной декомпозиции; показатель степени характеризует иерархический уровень подсистемы.

Последовательное соединение элементов и подсистем обозначается знаком «.» (он может опускаться), параллельное соединение - знаком «:». Параллельные ветви и подсистемы всех подсистем нижних иерархических уровней ограничиваются скобками всех видов }}.

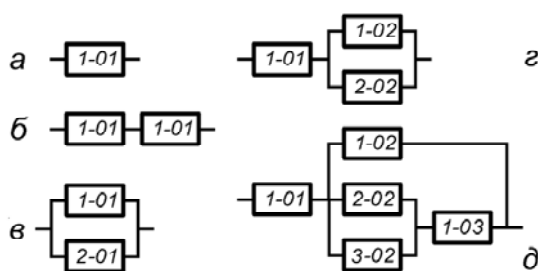


Рис. 2. Варианты структуры систем, построенных из одного элемента a , двух элементов b , v , трех элементов z , четырех элементов d

Порядок формального описания систем S_0 , структурные схемы которых приведены на рис. 1, следующий.

Система S_0 состоит из одной подсистемы S_1 (рис. 1а), которая в свою очередь состоит из одной параллельной ветви и одного элемента 01

$$S_0 = S_1^1 = S_{1,1-0,1}^1 \quad (1)$$

Система S_0 состоит из двух последовательно соединенных подсистем S_{11} и S_{21} (рис. 1б), каждая из которых состоит соответственно из одного элемента 01 или 02:

$$S_0 = S_1^1 S_2^1 = S_{1,1-0,1}^1 S_{2,1-0,2}^1 \quad (2)$$

Система S_0 состоит из двух параллельно соединенных равнонадежных подсистем $S_{1,1I}$ и $S_{1,2I}$ (рис. 1в), каждая из которых состоит из одного и того же элемента 01:

$$S_0 = S_1^1 : S_1^1 = S_{1,1-0,1}^1 : S_{1,2-0,1}^1 \quad (3)$$

Структура систем, приведенная на рис. 1а,б,в, описывается в результате одноразового применения операции декомпозиции, поэтому иерархический уровень этих систем $I_0=1$. Иерархический уровень I_0 систем S_0 не зависит от числа элементов n , включенных в цепь последовательно или количества параллельных ветвей m , если их формальное описание происходит за одну операцию декомпозиции.

Система, показанная на рис. 1г, состоит из подсистемы S_1 в составе элемента 01, последовательно соединенной с подсистемой S_2 . Для подсистемы S_2 , состоящей из двух параллельных элементов 2-01 и 2-02, операция декомпозиции применяется дважды, поэтому ее иерархический уровень $I_2=2$. Иерархический уровень системы S_0 в целом также равен $I_0=2$.

$$S_0 = S_1^1 S_2^1 = S_{1,1-0,1}^1 (S_{2,1-0,2}^{11} : S_{2,2-0,2}^{11}). \quad (4)$$

Интересно отметить два следующих мнемонических правила: 1). Иерархический уровень I_j каждой последующей подсистемы S_j увеличивается в том случае, если сомножители S_j или делитель и делимое $S_j; S_j$ берутся в скобки. 2). Формальное описание системы S_0 проведено правильно, если количество декомпозиций равно числу операции по преобразованию сложной системы S_0 в эквивалентный ей элемент по формулам последовательного и параллельного соединения в смысле надежности.

На рис. 2д показано более сложная система, структура которой описана с помощью разработанного авторами метода

$$\begin{aligned} S_0 &= S_1^1 S_2^1 = S_{1,1-0,1}^1 (S_{2,1-0,2}^1 : S_{2,2}^1) = S_{1,1-0,1}^1 [S_{2,1-0,2}^1 : S_{2,2}^{11} S_{2,1-0,3}^{11}] = \\ &= S_{1,1-0,1}^1 \{ S_{2,1-0,2}^1 : [(S_{2,2-0,2}^{11} : S_{2,3-0,2}^{11}) S_{2,1-0,3}^{11}] \}. \end{aligned} \quad (5)$$

Из последнего выражения следует, что рассматриваемая система S_0 относится к системам третьего иерархического уровня, так как ее уровень I_0 соответствует уровню $I_2=2$ подсистемы S_2 . В свою очередь максимальный уровень подсистемы S_2 обеспечивается структурным соединением элементов 2-02 и 2-03.

Разработанный авторами метод формального описания структуры сложных технологических систем применен для описания структуры, элементного наполнения и взаимодействия между элементами фабрик окускования Кривбасса. Для примера ниже приведено формальное описание структуры системы технологического оборудования обжиговой фабрики СевГОКа (2-я очередь) [16]

$$\begin{aligned} S_0(\text{СевГОК} - 2) &= [(S_{1,1-0,1}^{II} \dots S_{1,1-0,5}^{II}) : (S_{1,2-0,1}^{II} \dots S_{1,2-0,5}^{II})] [(S_{2,2-0,6}^{II} \dots S_{2,2-10}^{II}) : (S_{2,2-0,6}^{II} \dots S_{2,2-10}^{II})] \cdot \\ &\cdot [(S_{3,1-11}^{II} \dots S_{3,1-12}^{II}) : (S_{3,2-11}^{II} \dots S_{3,2-12}^{II})] : \{ \{ \{ [(S_{4,1-13}^{IV} \dots S_{4,1-18}^{IV}) : \dots : (S_{4,6-13}^{IV} \dots S_{4,6-18}^{IV})] S_{4,2-19}^{IV} \} : \\ &: \{ [(S_{4,4-13}^{VI} \dots S_{4,4-18}^{VI}) : \dots : (S_{4,6-13}^{VI} \dots S_{4,6-18}^{VI})] S_{4,2-19}^{IV} \} \} (S_{4,1-20}^{II} \dots S_{4,1-35}^{II}) [(S_{4,1-36}^{IV} \dots S_{4,1-38}^{IV}) : (S_{4,2-36}^{IV} \dots S_{4,2-38}^{IV})] \} : \\ &: \{ \{ \{ [(S_{4,7-13}^{VI} \dots S_{4,7-18}^{VI}) : \dots : (S_{4,9-13}^{VI} \dots S_{4,9-18}^{VI})] S_{4,3-19}^{IV} \} : \{ [(S_{4,10-13}^{VI} \dots S_{4,10-18}^{VI}) : \dots : (S_{4,12-13}^{VI} \dots S_{4,12-18}^{VI})] S_{4,4-19}^{IV} \} \} \cdot \\ &\cdot (S_{4,3-20}^{II} \dots S_{4,3-35}^{II}) [(S_{4,3-36}^{IV} \dots S_{4,3-38}^{IV}) : (S_{4,4-36}^{IV} \dots S_{4,4-38}^{IV})] \} \} (S_{5,1-39}^I : S_{5,2-39}^I) [(S_{5,1-41}^{II} \dots S_{5,1-42}^{II}) : (S_{5,2-41}^{II} \dots S_{5,2-42}^{II})] : \\ &: (S_{5,1-43}^{II} \dots S_{5,1-44}^{II}) : (S_{5,2-43}^{II} \dots S_{5,2-44}^{II}) [(S_{7,1-45}^{II} \dots S_{7,1-47}^{II}) : (S_{7,2-45}^{II} \dots S_{7,2-47}^{II})] (S_{8,1-48}^I : S_{8,2-48}^I) (S_{9,1-49}^I : \dots : S_{9,4-49}^I) \cdot \\ &\cdot (S_{10,1-50}^I : S_{10,2-50}^I) [(S_{11,1-51}^{II} \dots S_{11,1-52}^{II}) : (S_{11,2-51}^{II} \dots S_{11,2-52}^{II})] [(S_{12,1-53}^{II} \dots S_{12,1-57}^{II}) : (S_{12,2-53}^{II} \dots S_{12,2-57}^{II})] \end{aligned}$$

Выводы и направления дальнейших исследований. Применение на практике разработанного нами метода позволяет решить задачу формального описания структуры сложных технологических систем абстрактными символами и задачу обратного преобразования полученных уравнений с целью построения структурных схем систем, обеспечивает оценку иерархического уровня структуры и упрощение обработки информации о системе на ЭВМ.

Список литературы

1. dic.academic.ru/dic.nsf/enc3p/274430 [Электронный ресурс].
2. Рудь Ю.С. Повышение надежности и производительности систем оборудования для окускования железных руд [Текст] / Ю.С. Рудь. - Диссертация доктора техн. наук. - М.: МГИ, 1986. - 329 с.
3. ideafix.name/wp-content/uploads/stuff/SYSAN/2.pdf [Электронный ресурс].
4. www.intuit.ru/studies/courses/83/83/lecture/20470?page=2 [Электронный ресурс].
5. Понятие технической системы, её элементов, комплекса . ek-ek.jimdo.com [Электронный ресурс].
6. Бусленко Н.П. О формальном описании связей между элементами сложной системы // Кибернетика. - 1972. - №6. - С. 45-53.
7. Бусленко Н.П.. Лекции по теории сложных систем [Текст] / Н.П. Бусленко, В.В. Калашников, И.Н. Коваленко. - Ленинград: Советское радио, 1973. - 440 с.
8. Scorchet.ru/adaptologiya/minimization_efforts/minimization_efforts7.php [Электронный ресурс].
9. Рудь Ю.С. Надежность и эффективность оборудования фабрик окускования [Текст] / Ю.С. Рудь. - М.: Недра, 1977. - 200 с.
10. Рудь Ю.С. Эксплуатационная надежность оборудования обжиговой машины ОК-306 [Текст] / Ю.С. Рудь, Н.В. Кияновский, Н.М. Флакк, В.И. Бессараб, В.П. Шевченко, А.С. Якименко. - М.: Институт «Черметинформация», 1975 (Экспресс-информ. Сер. 17. Служба и ремонт механического оборудования на металлургических заводах. - Вып. 7). - 14 с.
11. Рудь Ю.С. Оборудование для окомкования и обжига железорудных окатышей [Текст] / Ю.С. Рудь, В.И. Бессараб, В.М. Палагута, Г.Х. Бойко, М.Е. Фастовский. - М.: ЦНИИТЯЖМАШ, 1982. (Обзорн. информ. Сер. Металлургическое оборудование. - Вып. 36). - 33 с.].
12. Проников А.С. Надежность машин [Текст] / А.С. Проников. - М.: Машиностроение, 1978. - 592 с.
13. Холл А.Д.. Определение понятия системы [Текст] / А.Д. Холл, Р.Е. Фейджин. - В кн.: Исследования по общей теории систем. - М., 1969. - С. 252-285.
14. Коваленко И.Н. Исследования по анализу надежности сложных систем [Текст] / И.Н. Коваленко. - К.: Наукова думка, 1975. - 211 с.
15. Википедия <https://ru.wikipedia.org/wiki/Декомпозиция> [Электронный ресурс].
16. Рудь Ю.С. Современное оборудование для обогащения железных руд [Текст] / Ю.С. Рудь, В.И. Бессараб, Л.З. Ортенберг. - ЦНИИТЭИТЯЖМАШ. - М., 1982. - Обзор информ. Сер. Горное оборудование. - Вып. 33). - 36 с.

УДК 622.7

А.Ю. КРИВЕНКО, Ю.Ю. КРИВЕНКО, кандидаты техн. наук, доц.
Криворожский национальный университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗДЕЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ В АППАРАТАХ СЕДИМЕНТАЦИОННОГО ТИПА

Актуальность. Определение параметров потоков, формирующихся в чане дешламатора, позволяет прогнозировать эффективность процесса в зависимости от физико-механических свойств исходного сырья и его гранулометрического состава. Определяя скорость частиц твердой фазы пульпы исходного сырья, становится возможным выявить их поведение и соответственно определить прогнозные показатели такие как: масса песков, высота слоя песков, плотность сгущенного и осветленного продукта. Это позволит выбрать технологические параметры, на основании которых будут обеспечены как максимальное содержание полезного компонента в сгущенном продукте, так и минимальное содержание его в сливе.

Постановка задач. Целью данной работы является усовершенствование методики моделирование разделения железорудного сырья в аппаратах седиментационного типа, что позволяет прогнозировать сепарационные характеристики аппарата и изменять их в зависимости от технологических нагрузок на дешламатор.

Результаты. С использованием радиальной подачи исходного материала при достижении некоторой минимальной скорости пульпы в струе, начинает ощущаться действие на частицы железорудного сырья сил гравитации, что приводит к его разделению. Вместе с тем, частицы, которые покидают струю пульпы, и оказываются ниже этой струи, могут только осаждаться. Частицы, покинувшие струю, и оказавшиеся выше, могут только подниматься. В противном случае, частицы вновь попадают в струю пульпы, где происходит их перемешивание. За пределами дальнотойности струи наблюдается обычное гравитационное разделение железорудного сырья в ванне дешламатора.