

Леднов А.В.¹, Муслимов М.Б.², Логунова О.С.¹, Худяков П.Ю.³, Кухта Ю.Б.¹

¹ Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

² АО «Учалынский ГОК», г. Учалы, Республика Башкортостан

³ Технический университет УГМК, г. Верхняя Пышма, Свердловская область

СИСТЕМА ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ДИСПЕТЧЕРСКОГО КОНТРОЛЯ ОТДЕЛЕНИЕМ ФЛОТАЦИИ: АКСИОМАТИЧЕСКИЙ ПОДХОД

Целью исследования является научное обоснование необходимости использования аксиоматического подхода при выборе и исследовании процессов централизованного диспетчерского контроля технологических параметров для комплекса флотационных машин. Тенденции цифровизации предприятий подразумевают переход к интеллектуальным производственным технологиям, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта, что, соответственно, требует выбора критериев и ключевых показателей для формирования управляющих воздействий. При проведении исследований было выполнено: сопоставление реального объекта и его свойств с классическими аксиомами управления системного анализа и обосновано использование иерархической структуры взаимосвязанных технологических параметров и их применение для ситуационного управления. Для проведения исследований использованы методы классических аксиом управления системного анализа, придерживались концепции перехода от традиционной диспетчерской, ориентированной на задачи эпизодического распределения материальных или энергетических потоков, к мощным аналитическим центрам оперативного управления всей производственной деятельностью предприятия. Сформулированы критерии ситуационного управления, концепция визуализации в системе диспетчеризации, которая основывается на совместном участии в процессе людей и технических средств. При этом выполнение формализуемых операций возлагается на вычислительную технику, а принятие решений на основе неформальных методов – на специалистов-технологов и руководителей. Наличие современных методов и методик для сбора и структурирования информационных потоков, характеризующих производственные процессы и подпроцессы, позволяет соответствовать основным аксиомам системного анализа. Построение процесса диспетчеризации в системах управления производством (MES), в которых представлены многостадийность технологии и взаимозависимые факторы, требует подходов, отличных от подходов к управлению технологическим процессом. Полученные результаты позволяют утверждать, что реализация принципа Росса-Эшби значительно повышает управляемость технологическими процессами с большим количеством агрегатов и измеряемых параметров.

Ключевые слова: аксиомы управления, диспетчерский контроль, флотационная машина, иерархия параметров управления, ситуационное управление.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие систем автоматизированного управления технологическими процессами прошел этапы всеобщей механизации, общей автоматизации и находится в стадии активного развития интеллектуальных систем управления [1]. Указанная интеллектуализация заложена в 2018 году национальным проектом «Наука» и требует перехода к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта [2].

Наиболее актуальным этот переход является для областей, которые обеспечивают металлургическую, строительную, машиностроительную отрасли и производства двойного назначения. К предприятиям таких отраслей в современной экономике относятся обогащенные производства для цветных металлов. Высокая стоимость и востребованность цветных металлов определяют новые вызовы к системам управления технологическими процессам их производства, что подтверждается положительной динамикой выработки меди в годовом исчислении и ростом цен на нее в 1,6 раза в сравнении с 2016 годом [3].

Соответственно, современные научные разработки в

области развития автоматизированных систем управления для процессов флотации охватывают исследования:

- по выявлению факторов, оказывающих влияние значений технологических параметров и режимов работы флотационной машины на ее производительность и качество получаемой продукции [3];

- определение структуры системы управления производством (MES) и интеграции в нее подсистем управления отдельными подпроцессами: подача реагентов, определение крупности частиц, скорости подачи материала и т.п. [4];

- человеческого фактора и экспертной оценки технолога в системах управления при определении ситуационного состояния процессов и принятии решения по результатам этой оценки [1-3];

- определение структуры систем диспетчерского контроля, инструментов визуализации и индикации стабильности состояния как системы в целом, так и отдельных процессов и подпроцессов [1-3].

Современные системы диспетчеризации крупных предприятий представляют собой комплексы, которые на основе централизованного сбора информации и системного анализа позволяют видеть состояние системы в целом и отдельных ее частей. Авторы исследования придерживаются точки зрения ученых Мусаева А.А., Шерстюка Ю.М. [1-3] по переходу от традиционной диспетчерской, ориентированной на задачи эпизодического распределения материальных или энергетических потоков, к мощным аналитическим центрам

оперативного управления всей производственной деятельностью предприятия. В трудах В.С. Анфилатова, А.А. Емельянова, А.А. Кукушкина [4-5] отмечено, что системы с управлением создаются для достижения конкретных целей, которые определяются в рамках других наук.

В работах [1-3] предлагается классификация систем управлением: организационные (социальные) системы управления; технические системы управления; организационно-технические (комплексные) системы управления. Согласно этой классификации система автоматизации отделения флотации обогатительного производства является организационно-технической системой. Это соответствует определению как сложных, так и больших систем. В трудах специалистов [4, 5] отмечается, что управление большими системами основывается на совместном участии в процессе людей и технических средств. При этом выполнение формализуемых операций возлагается на вычислительную технику, а принятие решений на основе неформальных методов – на специалистов-технологов и руководителей.

Наличие современных методов и методик для сбора и структурирования информационных потоков, характеризующих производственные процессы и подпроцессы, остается нереализованным в формате полного централизованного процесса диспетчеризации для производств, в которых представлены многостадийность технологии и взаимозависимые факторы.

Несмотря на наличие теоретических и практических исследований в области синтеза систем диспетчерского контроля, остаются не решенными следующие проблемы:

- пренебрежение к фундаментальным процедурам системного анализа процессов и подпроцессов при установлении взаимосвязей между отдельными факторами одного уровня и между уровнями автоматизированных систем;

- недостаточное развитие системы универсальных процедур, позволяющих выстраивать иерархическую структуру параметров технологических процессов для централизованной диспетчеризации и ситуационного управления с последующим их использованием в алгоритмах определения эффективности производства.

Учитывая результаты современных теоретических и практических разработок, авторы определили цель исследования: научное обоснование применения аксиоматического подхода системного анализа для построения информационной системы управления флотацией и детализация решений при построении алгоритмов, а также синтез ключевых показателей эффективности в новой системе централизованного диспетчерского контроля отделения флотации на примере ПАО «Учалинский горно-обогатительный комбинат».

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Перед применением классических аксиом управления системного анализа [4-8] необходимо определить объект управления. Объектом управления в рамках исследования выбрано отделение флотации медной и медно-цинковой руды. Объект является сложно-структурированным, так как в составе функционирует более 80 флотационных машин (рис. 1).



Рис. 1. Цех флотации медной и медно-цинковой руды Учалинского ГОКа

Для сбора данных и управления комплексом флотационных машин используется локальная сеть предприятия *Ethernet*, которая включает автоматизированные рабочие места контроля параметров для передачи их значений на сервер для централизованной обработки. Рассмотрим элементы существующей системы автоматизации в соответствии с классическими аксиомами управления системного анализа.

Аксиома 1. Наличие наблюдаемости объекта управления: объект считается наблюдаемым в некотором заданном состоянии, если по результатам измерения выходных переменных $y(t)$ при известных значениях входных переменных $x(t)$ может быть получена оценка $z^0(t)$ любой из переменных состояния $z(t)$.

Аксиома 2. Наличие управляемости объектом наблюдения: способность объекта управления переходить в пространстве состояний из текущего состояния в требуемое под воздействиями управляющей системы.

Задачи наблюдения и управляемости в условиях объекта управления решаются достаточно эффективно в рамках функционирования локальных подсистем отделения флотации при наличии и функционировании:

- системы управления дозированием реагентов для каждой флотационной машины и системы в целом;
- системы контроля и управления закачкой реагентов в технологические чаны для флотационных машин;
- системы контроля уровня в известковых чанах и резервуарах промышленной воды;
- системы измерения количества (переработки) руды и управления производительностью рудных конвейеров;
- системы аналитического контроля пульпы на содержание химических элементов;
- системы контроля температуры, водородного показателя (pH), щелочности, плотности пульпы;
- автоматической системы стабилизации уровня пульпы и расхода воздуха для каждой флотационной машины.

Указанный минимальный набор локальных подсистем должен расширяться по мере появления новых технических и цифровых технологий, способствующих дополнению базы сформированных данных и знаний с использованием новых видов информации.

Аксиома 3. Наличие цели управления объектом наблюдения: необходимый результат деятельности объекта управления, который характеризуется каче-

ственными и количественными характеристиками и обоснован возможностями объекта управления и перспективными потребностями результата деятельности.

Цель управления флотационным отделением – обеспечение выпуска товарного медного и медно-цинкового концентрата, соответствующего комплексу технологических регламентов на основании решения эксперта-технолога по информации, полученной с помощью технических средств автоматического и автоматизированного контроля.

Аксиома 4. Наличие свободы выбора управляющих воздействий из множества альтернативных решений: наличие множества альтернатив для организации управления и обеспечение возможности выбора управляющих воздействий из этого множества.

В процессе обследования структуры флотационного отделения и технологии флотации медного и медно-цинкового концентрата выявлено, что процесс управления флотацией является многоуровневым. Для его описания и описания ресурсоемких потоков используется более 50 стадий (флотация, доизмельчение, перемешивание и т.д.) с частичной рекурсией. В настоящее время появились возможности использования альтернативной и косвенной информации, с помощью которой возможно проведение прогностического дополнительного моделирования показателей качества готовой продукции [9-14].

Соблюдение аксиомы 4 требует определение набора ключевых показателей, которые могут быть использованы в процессе принятия решений и формирования множества траекторий выбора альтернатив.

Аксиома 5. Наличие критерия эффективности управления объектом наблюдения: формирование множества показателей и требований к ним, которые позволяют определить направление ведения процесса для эффективного достижения цели.

В соответствии с этой аксиомой для управления процессами во флотационном отделении при извлечении медного и медно-цинкового концентрата предлагается выделить ключевой показатель эффективности – максимальное извлечение полезного компонента в пенном продукте на каждом этапе флотации. Эффективность управления в соответствии с критерием достигается на основе анализа и принятия решений при интеграции данных из системы контроля качества продукции.

Аксиома 6. Наличие ресурсов, обеспечивающих реализацию принятых решений. Обеспечение эффективного управления требует наличия ресурсов: информационного, технического, материального, энергетического, финансового и др. Среди указанных ресурсов консолидирующим является информационный, который главным образом базируется на множестве иерархически упорядоченных показателей, образующих структуру иерархических кортежей.

В настоящее время в маркетинговых материалах декларируются высокие возможности автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП), которые трудно осуществимы для действующего производства. Например, разработчики АСУ ТП декларируют элементы систем управления, повышающие информативность и эффективность управления [15]:

– контроль и мониторинг параметров работы технологических процессов и состояния оборудования в объеме, достаточном для качественного регулирования технологического процесса обогащения и принятия обоснованных решений оперативным персоналом;

– визуализацию оперативных параметров технологических процессов;

– периодическое сохранение как контролируемых, так и управляющих параметров технологического процесса, а также действий оперативного персонала по управлению технологическим процессом в технологической базе данных;

– формирование и выдачу оперативных и архивных данных о состоянии и изменении технологических процессов, состоянии технических средств системы управления и действиях обслуживающего персонала;

– обеспечение возможности ввода в систему производственных данных инженерно-техническим персоналом фабрики со своих рабочих мест;

– производственную аналитику, в том числе анализ зависимости между управляющими и возмущающими факторами и параметрами технологического процесса;

– диагностику предаварийных и аварийных ситуаций как на основании информации, получаемой непосредственно с объекта управления, так и на основании косвенно вычисляемых параметров или логически определяемых ситуаций.

Эти же тезисы подтверждаются декларациями Индустрия 4.0 [16], в частности:

– придание всем элементам функций искусственного интеллекта, превращение каждого элемента системы в потребителя и источник информации;

– активное участие «умных» элементов в своем собственном конструировании, создании и ремонте;

– автоматизация услуг путем массового применения искусственного интеллекта – постепенное превращение всей индустрии услуг в отрасль, управляемую взаимодействием клиентского и сервисного искусственного интеллекта с активным использованием «больших данных» как источника информации для предсказания и планирования;

– быстрое сокращение участия человека во взаимодействиях между элементами;

– повсеместное создание институтов и инфраструктуры дополненной реальности и протоколов ее общения с «умными» элементами и девайсами.

Малая вероятность использования в достаточном объеме вышеперечисленных тезисов на сегодняшний день связана с отсутствием необходимых промышленных самокалибрующихся и самоочищающихся датчиков, исполнительных механизмов, а также игнорирование ключевых, на взгляд авторов, третьей и пятой аксиомы управления.

В производстве извлечения медного и медно-цинкового концентрата, несмотря на большое количество измеряемых параметров (более 500) и непрерывно меняющийся процесс, существуют проблемы, связанные с дискретностью поступления информации. Например, измерение и поступление информации по уровню pH производится один раз в два часа, химический состав пульпы – один раз в 20 минут.

В соответствии с [4, 5] при управлении процессом извлечения медного и медно-цинкового концентрата в производственных условиях возникают отклонения состояния управляемого объекта относительно заданного. Это определяется тем, что управляющая система в общем случае подвержена внешним воздействиям и не обладает полной информацией о состоянии среды и объекта управления. Это приводит к тому, что управляющие воздействия не полностью соответствуют требуемым воздействиям. Качество управления определяется количеством взаимной информации в управляющих воздействиях относительно состояний управляемого объекта. Это соответствует фундаментальному принципу кибернетики, известному как принцип необходимого разнообразия (принцип У. Расса Эшби), формулируемый в виде: «Разнообразие управляющей системы должно быть не меньше разнообразия объекта управления» [4, 5], в котором отмечается, что для повышения качества управления необходимо:

- уменьшать разнообразие состояний управляемого объекта;
- увеличивать разнообразие управляющих воздействий, приближая его к разнообразию состояний управляемого объекта;
- уменьшать неоднозначность управляющих воздействий относительно состояний объекта управления.

РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Авторами работы при построении информационного обеспечения для процесса извлечения медного и медно-цинкового концентрата при флотации предлагается реализовать принцип У. Расса Эшби в направлении: «Уменьшать неоднозначность управляющих воздействий относительно состояний объекта управления за счет построения системы диспетчеризации по иерархической схеме «участок-агрегат-параметр» с применением теории ситуационного управления».

Существующая в настоящее время практика построения диспетчерских систем сводится к отображению структуры всего консолидированного информационного массива и выдаче отчетов в виде матрицы, в которой количество столбцов измеряется десятками и строк – сотнями. Принятие управленческих решений в этом случае, как минимум, затруднено и требует изменения технологического процесса принятия решений, объединяя в единое целое опыт эксперта и возможности искусственного интеллекта, для которого должна быть подготовлена информационная структура и траектории принятия решений на основе научно обоснованных альтернатив.

Принято считать, что метод ситуационного управления относится к наиболее перспективным методам, позволяющим для широкого класса систем решать задачу поиска при адаптации алгоритмов работы системы управления. В основе ситуационного управления лежит гипотеза: вся необходимая информация об управлении объектом должна быть получена из непосредственного прямого наблюдения за его работой.

С использованием аксиом теории управления сформулирована основная задача, которую необходимо решить в процессе построения модели управления: если множество решений $\{P(t)\}$ имеет мощность I , то

задача управления может быть решена при наличии такого разбиения множества ситуаций $\{S(t)\}$ на I классов, при котором все ситуации $S(t)$ окажутся отнесенными к какому-нибудь определенному классу K_i , которому однозначно соответствует некоторое решение P_i , обладающее свойством полезности с точки зрения целей управления объектом. Суть ситуационного управления состоит в построении метода, позволяющего на основании описания ситуаций $S(t)$ на естественном языке построить систему обобщенных описаний классов K_i .

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Согласно аксиомам 1-3 целью управления флотационным отделением является обеспечение выпуска товарного медного и медно-цинкового концентрата, соответствующего комплексу технологических регламентов на основании решения эксперта-технолога по информации, полученной с помощью технических средств автоматического и автоматизированного контроля.

Для указанной цели определим ситуацию для управления: критерий-извлечение полезного компонента в выбранном отделении или для флотационной машины (ОУ по аксиоме 1), для которого определяется химический состав до и после флотационной машины, и требует интеграции с системой управления качеством получаемого продукта. Наблюдение и применение критерия эффективности проводилось на флотомашине №56 Учалинского ГОКа.

Информация о химическом составе (аксиомы 1-2) поступала из системы аналитического контроля пульпы на содержание элементов (АСАК): «Питание» (вход флотомашин) и «Хвост» (выход флотомашин). Данные в АСАК поступают каждые 20 минут в разное время из каждой точки измерения. В данной опытной работе учитывалось транспортное запаздывание, сопоставимое с временем флотации, то есть время поступления данных на входе машины синхронизируется с временем поступления данных о хвосте машины.

На **рис. 2** показаны экраны рабочих станций «как есть», и данные выглядят нормальными. После применения интеграционного решения (**рис. 3**) четко видна ситуация отсутствия съема полезного компонента, что позволяет оперативно принять управленческие решения.

При выполнении наблюдений зафиксирована нештатная ситуация – отсутствие извлечения (произошло из-за механических проблем с оборудованием), что подтверждает правильность выбранного критерия и исполнения аксиомы 3.

Выполнение требований аксиом 4-6, с учетом принципа Расса-Эшби предлагается решить созданием конструктора интерфейса системы диспетчеризации из типовых элементов для:

- отображения любого технологического агрегата с узнаваемыми очертаниями, причем возможно отображение нескольких последовательных агрегатов;
- отображения технологических параметров, получаемых из общего информационного пространства из SCADA-систем.

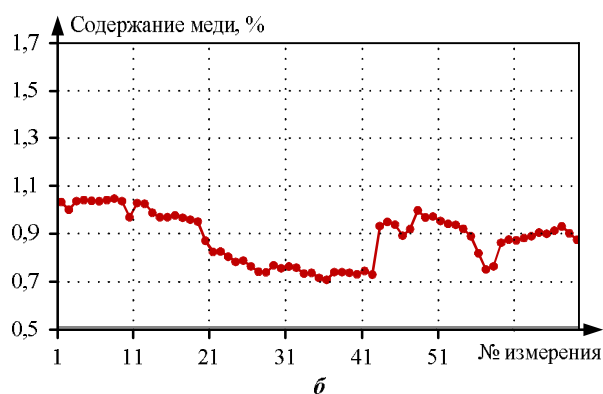


Рис. 2 Показания АСАК на входе (а) и выходе (б) флотомашины

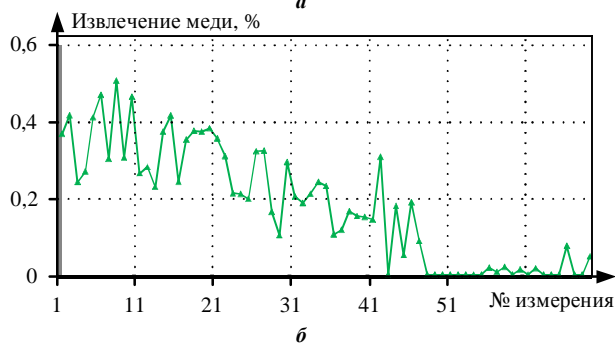
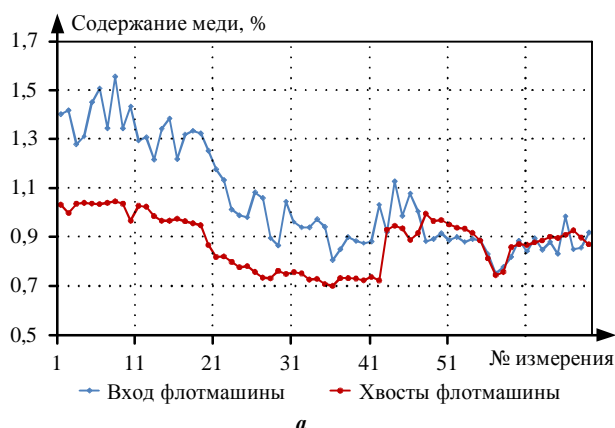


Рис. 3. Ситуация «извлечение полезного компонента»: а — интеграция данных по входу и выходу флотомашины; б — критерий — «извлечение полезного компонента»

Участок с агрегатами должен быть узнаваем по внешним параметрам и состоять из тиражируемых примитивов, что значительно упрощает создание программного обеспечения, а технологический агрегат идентифицируется согласно его технологической схеме (на примере флотомашины № 56) (рис. 4).

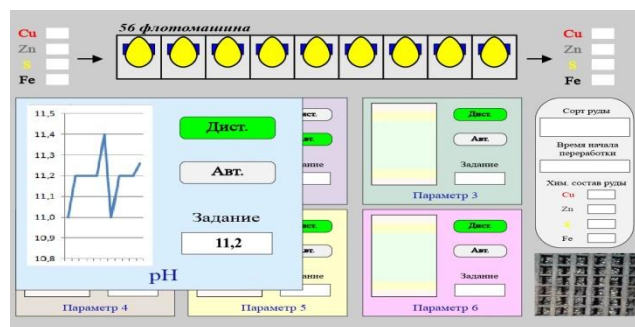


Рис. 4. Эскиз окна системы диспетчеризации

Важным элементом визуализации является отображение общецеховой информации, которая показывает сорт перерабатываемой руды и исходный химический состав подаваемой на переработку товарной руды. Данная оперативная информация позволяет использовать опыт технологов и операторов для обеспечения наилучших параметров технологического процесса. Основное поле экранной формы занимают окна с отображением контролируемых параметров флотомашины. В каждой группе агрегатов количество окон может быть разным, но наиболее важным отображением в каждом окне является:

- график текущего значения параметра;
- вид управления: автоматическое или дистанционное;
- заданное значение технологического параметра.

Предлагается выполнить окна с помощью *HTML* и стилей *CSS* с возможностью масштабирования, сворачивания окон с применением адаптивной верстки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты изучения теоретических и практических разработок в области построения систем управления флотацией при извлечении медного и медно-цинкового концентрата показали отсутствие фундаментальных процедур системного анализа процессов и подпроцессов при установлении взаимосвязей между отдельными факторами одного уровня и между уровнями автоматизированных систем, а также недостаточное развитие системы универсальных процедур, позволяющих выстраивать иерархическую структуру параметров технологических процессов для централизованной диспетчеризации и ситуационного управления с последующим их использованием в алгоритмах определения эффективности производства.

Рассмотрены аксиомы теории управления в системном анализе, выполнение которых необходимо при построении эффективной системы управления объектом. Для отделения флотации по извлечению медного и медно-цинкового концентрата в условиях Учалинского горно-обогатительного комбината выполнено сопоставление аксиом и элементов системы управления, построенной в производственных условиях.

Теоретические исследования системы управления объектом позволили представить задачу в новой формулировке, использующей принцип У. Росса Эшби в направлении: «Уменьшать неоднозначность управляющих воздействий относительно состояний объекта управления за счет построения системы диспетчеризации по иерархической схеме «участок-агрегат-параметр» с применением теории ситуационного управления».

Экспериментальные исследования системы управления в отделении флотации по извлечению медного и медно-цинкового концентрата показали, что в настоящее время в полной мере реализованы и аксиомы 1, 2, 3, 6, которые составляют основу для реализации аксиомы 4 по наличию свободы выбора управляющих воздействий из множества альтернативных решений и 5 по наличию критерия эффективности управления объемом наблюдения и последующему его достижению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизация научных исследований нарушения сплошности плоской поверхности: конструктивное решение программно-аппаратного комплекса / О.С. Логунова, С.М. Андреев, Е.А. Гарбар, А.В. Маркевич, А.А. Николаев // *Электротехнические системы и комплексы*. 2020. № 1. С. 54-59. doi: 10.18503/2311-8318-2020-1(46)-54-59.
2. Официальный сайт Национальный проект «Наука»: паспорт от 24.12.2018 № 16. 2018. URL: <http://static.government.ru/media/files/vCAoi8zEXRVSuy2Yk7D8hvQbpbUSwO8y.pdf>. (дата обращения 27.04.2021)
3. Официальный сайт TAdviser. Государство. Бизнес Ит. URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Добыча_меди (дата обращения 27.04.2021).
4. Официальный сайт АСУТП в России. URL: <https://automation-system.ru/main/69-about-scada.html> (дата обращения: 27.04.2020).
5. Анфилов В.С. Системный анализ в управлении. М.: Финансы и статистика, 2002. 368 с.
6. Козлецов А.П., Решетников И.С. Применение стандарта ISA-95 для интеграции информационных систем на производственном предприятии // *Автоматизация в промышленности*. 2010. №12. С. 3-7.
7. Официальный сайт MESA International. URL: <http://www.mesa.org/en/modelstrategicinitiatives/>
8. Анфилов В.С., Емельянов А.А., Кукушкин А.А. Системный анализ в управлении: учебное пособие. М.: Финансы и статистика, 2009. 368 с.
9. Официальный сайт Wonderware MES. URL: http://archestra.info/index.php/Wonderware_MES (дата обращения 27.04.2021).
10. Милов А.В., Тимохин В.Н., Черноус Г.А. Экономическая кибернетика: конспект лекций. Донецк: Изд-во Донецкого национального университета, 2004. 105 с.
11. Соловьев Н.А., Чернопрудова Е.Н., Лесовой Д.А. Основы теории принятия решений для программистов. Оренбург: Изд-во Оренбургского государственного университета, 2012. 187 с.
12. Раков В.И. Системный анализ (начальные понятия): учебное пособие. М.: Академия Естествознания, 2012. 234 с.
13. Логунова О.С., Максимов М.А. The complex of image processing algorithms for granulometry of charging materials // *Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах*. 2015. № 1(6). С. 38-42.
14. Сегментация изображения пенного продукта флотации: обоснование замены пузырька их бликами / О.С. Логунова, А.В. Леднов, Р.Э. Шилов, М.Б. Муслимов, Ф.Р. Байбулатов // *Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах*. 2018. Т. 6. № 1. С. 12-19.
15. Курчуков А.М., Кордаков В.Н. Автоматизированная система управления процессом флотации медно-никелевых руд // *Записки Горного института*. 2011. Т. 189. С. 295-298.
16. Тарасов И.В. Индустрия 4.0: понятие, концепции, тенденции развития // *Стратегии бизнеса*. 2018. № 6(50). С. 57-63.

Поступила в редакцию 24 марта 2021 г.

INFORMATION IN ENGLISH

CENTRALIZED CONTROL SYSTEM OF FLOTATION DEPARTMENT: AXIOMATIC APPROACH

Anatoly V. Lednov

Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Department of Informatics and Computer Engineering, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: alednov@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7614-0534>.

Marat B. Muslimov

Chief metrologist, Automation and metrology department, JSC "Uchalinsky Gok", Uchaly, Russia. E-mail: zla_muslimov_mb@ugok.ru.

Oksana V. Logunova

D. Sc. (Engineering), Professor, Head of Department, Department of Informatics and Computer Engineering, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk. Russia. E-mail: logunova66@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7006-8639>.

Pavel Yu. Khudyakov

Ph.D. (Physics and Mathematics), Head of Department, Department of Mechanics and Automation of Technological Processes and Production, UMMC Technical University, Verkhnyaya Pyshma, Russia. E-mail: p.hudyakov@tu-ugmk.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9609-7665>.

Yuliya B. Kukhta

Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Department of Informatics and Computer Engineering, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: perfectumyuka@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9128-3891>.

The aim of the study is to scientifically substantiate the need to use the axiomatic approach when choosing and studying the processes of centralized dispatching control of technological parameters for a complex of flotation machines. The digitalization trends of enterprises imply the transition to intelligent production technologies, the creation of systems for processing large amounts of data, machine learning and artificial intelligence, which, accordingly, requires the selection of criteria and key indicators for the formation of control actions. During the research, the authors carried out a comparison of the real object and its properties with the classical axioms of system analysis control and substantiated the use of a hierarchical structure of interrelated technological parameters and their application for situational management. Methods of classical control axioms of system analysis were used for the research. The authors of the study adhere to the concept of transition from a traditional control room focused on the tasks of episodic distribution of material or energy flows to powerful analytical centers for operational management of all production activities of an enterprise. The authors formulated the criteria for situational management, the concept of visualization in the dispatching system, which is based on the joint participation of people and technical means in the process. At the same time, the implementation of formalized operations is entrusted to computer technology and the decision-making based on informal methods to technicians and managers. The availability of modern methods and techniques for collecting and structuring information flows that characterize production processes and sub-processes allows us to comply with the basic axioms of system analysis. The construction of a dispatching process in production management systems (MES), in which the multistage technology and interdependent factors are presented, requires approaches that are different from approaches to process control. The results obtained allow us to assert that the implementation of the Ross-Ashby principle significantly increases the controllability of technological processes with a large number of units and measured parameters.

Keywords: control axioms, supervisory control, flotation machine, hierarchy of control parameters, situational control.

REFERENCES

- Logunova O.S., Andreev S.M., Garbar E.A., Markevich A.V., Nikolaev A.A. Automation of scientific research of discontinuities of a flat surface: a design solution of a software and hardware complex. *Elektrotehnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical systems and complexes], 2020, no. 1, pp. 54-59. doi: 10.18503/2311-8318-2020-1(46)-54-59. (In Russian)
- Official website of the National Project "Science": passport dated 12.24.2018 No. 16. 2018. Available at: <http://static.government.ru/media/files/vCAoi8zEXRVSuy2Yk7D8hvQbpbUSwO8y.pdf> (accessed 27 April 2021) (In Russian)
- Official website of TAdviser. State. Business It. Available at: https://www.tadviser.ru/index.php/Article: Copper_ extraction (accessed 27 April 2021). (In Russian)
- Official site of the process control system in Russia. Available at: <https://automation-system.ru/main/69-about-scada.html> (accessed 27 April 2020). (In Russian)
- Anfilatov V.S. *Sistemnyi analiz v upravlenii* [System analysis in management]. Moscow, Finance and Statistics Publ., 2002. 368 p. (In Russian)
- Kozletsov A.P., Reshetnikov I.S. Application of the ISA-95 standard for the integration of information systems at a manufacturing enterprise. *Avtomatizatsiya v promyshlennosti* [Automation in industry], 2010, no. 12, pp. 3-7. (In Russian)
- Official website of MESA international. Available at: <http://www.mesa.org/en/modelstrategi-cinities/MESAModel.asp> (accessed 27 April 2021). (In Russian)
- Anfilatov V.S., Emelyanov A.A., Kukushkin A.A. *Sistemnyi analiz v upravlenii* [System analysis in management]. Moscow, Finance and Statistics Publ., 2009. 368 p. (In Russian)
- Wonderware MES Official Site. Available at: http://archestra.info/index.php/Wonderware_MES (accessed 27 April 2021). (In Russian)
- Milov A.V., Timokhin V.N., Chernous G.A. *Ekonomicheskaya kibernetika* [Economic cybernetics]. Donetsk, Donetsk National University Publ. House, 2004. 105 p. (In Russian)
- Soloviev N.A., Chernoprudova E.N., Lesovoy D.A. *Osnovy teorii prinyatiya resheniy dlya programmistov* [Fundamentals of decision-making theory for programmers]. Orenburg, Publ. house of the Orenburg State University, 2012. 187 p. (In Russian)
- Rakov V.I. *Sistemnyi analiz (nachalnye ponyatiya)* [System analysis (initial concepts)]. Moscow, Academy of Natural History Publ., 2012. 234 p. (In Russian)
- Logunova O.S., Maksimov M.A. The complex of image processing algorithms for granulometry of charging materials. *Matematicheskoe i programnoe obespechenie sistem v promyshlennoy i sotsialnoy sferakh* [Mathematical and software systems in industrial and social spheres], 2015, no. 1(6), pp. 38-42. (In Russian)
- Logunova O.S., Lednov A.V., Shilov R.E., Muslimov M.B., Baybulatov F.R. Segmentation of the image of the froth flotation product: justification of replacing the bubble with their glare. *Matematicheskoe i programnoe obespechenie sistem v promyshlennoy i sotsialnoy sferakh* [Mathematical and software systems in industrial and social spheres], 2018, vol. 6, no. 1, pp. 12-19. (In Russian)
- Kurchukov A.M., Kordakov V.N. Automated control system for the flotation process of copper-nickel ores. *Zapiski Gornogo instituta* [Journal of Mining Institute], 2011, vol. 189, pp. 295-298. (In Russian)
- Tarasov I.V. Industry 4.0: concept, concepts, development trends. *Strategii biznesa* [Business strategies], 2018, no. 6(50), pp. 57-63. (In Russian)

Система централизованного диспетчерского контроля отделением флотации: аксиоматический подход / А.В. Леднов, М.Б. Муслимов, О.С. Логунова, П.Ю. Худяков, Ю.Б. Кухта // *Электротехнические системы и комплексы*. 2021. № 2(51). С. 61-67. [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2021-2\(51\)-61-67](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2021-2(51)-61-67)

Lednov A.V., Muslimov M.B., Logunova O.V., Khudyakov P.Yu., Kukhta Yu.B. Centralized Control System of Flotation Department: Axiomatic Approach. *Elektrotehnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical Systems and Complexes], 2021, no. 2(51), pp. 61-67. (In Russian). [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2021-2\(51\)-61-67](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2021-2(51)-61-67)