

ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ КОМБИНАТОВ

Рудь Ю.С., докт. техн. наук, проф.,
Белоножко В.Ю., ст. препод., Белоножко Т.С., магистрантка,
Криворожский технический университет

Рассмотрена проблема расчета надежности систем технологического оборудования горно-обогажительных комбинатов на стадии их проектирования.

The problem of calculation of reliability of systems of the process equipment of ore dressing combines at a stage of their designing is considered.

Проблема надежности систем технологического оборудования горно-обогажительных комбинатов и ее связь с научными и практическими задачами. Надежность и производительность систем технологического оборудования горно-обогажительных комбинатов (СТО ГОК) зависят от технического совершенства технологического оборудования (его технико-экономических показателей, уровня надежности), структурных особенностей технологической системы и условий ее эксплуатации. Технический уровень оборудования, в т.ч. и уровень надежности, определяется, прежде всего, конструктивными особенностями и качеством изготовления. Реализация технических возможностей оборудования проявляется в технологической системе. Задача обеспечения надежности технологической системы решается на трех этапах – на этапе ее проектирования, создания и эксплуатации. Уровень надежности, определяющий потенциальную производительность системы, закладывается на этапе проектирования и реализуется в реальном физическом объекте на этапе изготовления технологических элементов и создания системы. Результаты деятельности коллективов проектировщиков, изготовителей, монтажников по созданию функциональных и надежностных свойств технологических элементов и систем проявляются на последнем этапе – на этапе эксплуатации. Поэтому роль процесса проектирования в создании высоконадежных СТО ГОК'ов трудно переоценить, так как ошибки в проектах являются основными причинами недостаточного уровня надежности систем. В результате этого снижается их производи-

ность, растет величина материальных, трудовых и стоимостных затрат на поддержание в исправном состоянии систем в процессе эксплуатации, возникают отрицательные психологические последствия, которые проявляются в недоверии к новой технике. Просчеты и ошибки, допущенные в процессе проектирования, как правило, трудно устранимы или вообще не устранимы на дальнейших этапах существования системы. Внесение изменений в систему связано с серьезными конструктивными и технологическими затруднениями, а также с большими экономическими затратами. Как отмечают Б.В. Гнеденко, Б.А. Козлов, И.А. Ушаков в работе /1/: «Основная задача теории надежности на этапе технического проектирования – помочь разработчику принять обоснованные решения, касающиеся выбора структуры системы, необходимости использования и мощности вводимой избыточности, построения оптимальной системы контроля и т.д.».

Анализ исследований и публикаций. В работе /2/ приведены сведения об особенностях технологического процесса и оборудования фабрик окомкования железорудных окатышей, а также изложены методы расчета основных технологических показателей и параметров оборудования этих фабрик. Однако в этих методах расчета не учитывается уровень надежности технологического оборудования, что значительно снижает ценность этой работы. Этих недостатков лишена серьезная работа /3/, в которой приведены методы и справочные данные для оценки эксплуатационной надежности и долговечности оборудования черной металлургии. Приведены сведения, касающиеся характеристик и закономерностей возникновения и проявления статической и усталостной прочности сталей, оценки влияния различных факторов на эти характеристики, расчета деталей металлургического оборудования на долговечность при нестационарных нагрузках. Специальная направленность разработанных авторами методов не дает возможности их применения для СТО ГОК'ов. В работах /4, 5/ рассматривается широкий круг вопросов, связанных с анализом, синтезом и моделированием надежности систем различного технического назначения. Эти задачи решаются на всех этапах создания систем – от проектирования и производства до их испытаний и эксплуатации. Большое внимание уделяется вероятностным оценкам безопасности при воздействии случайных нагрузок на изделия со случайными прочностными характеристиками. Эргономические основы разработки сложных систем приведены в работе /6/, где приведены результаты анализа, систематизации и теоретического обобщения обширного

объема исследований, связанных с разработкой сложных систем «человек-машина». В пионерной работе проф. Ю.С. Рудь /7/ впервые для сложных систем технологического оборудования горно-обогатительных комбинатов поставлена и в значительной мере решена проблема надежности этих систем на стадии их эксплуатации. Здесь изложены теоретические основы методов, предназначенных для определения надежности технологического оборудования горно-обогатительных комбинатов, а также получены количественные оценки параметров надежности этого оборудования. Разработана и применена методика оценки структурной надежности и эффективности фабрик окускования. Разработаны методы оптимизации структурных схем фабрик окускования. Работа /8/ посвящена вопросам надежности, монтажа, ремонта, износа и смазки металлургического оборудования, Приведены классификации способов технического обслуживания машин и механизмов.

Постановка задачи. Рассмотреть проблему расчета надежности систем технологического оборудования горно-обогатительных комбинатов на стадии их проектирования.

Изложение материала и результаты. Прежде всего, необходимо отметить, что решение проблемы расчета надежности систем технологического оборудования горно-обогатительных комбинатов на стадии их проектирования может быть получено лишь при условии сознательного применения системного подхода. Использование системного подхода для решения научно-технических задач, теории надежности и практики повышения эффективности СТО ГОК'ов возможно и необходимо в связи с выявлением в процессе проведенных нами исследований следующих процессов, зависимостей и явлений:

1). Если исследовать процесс функционирования СТО ГОК'ов только в одном из аспектов, таких, например, как надежность, эффективность, работоспособность или др., то невозможно понять и изучить весь процесс в целом. И хотя такая абстракция вполне приемлема и правомерна, изучение отдельного ряда свойств процесса функционирования не обеспечивает понимания всей сложности проблемы. Современные данные подтверждают многомерность процесса функционирования СТО ГОК'ов, а значит лишь системный подход может обеспечить раскрытие взаимосвязей между различными элементами системы как внутри исследуемого объекта, так и в его взаимоотношениях с факторами окружающей среды. 2). Многообразие связей и отношений между элементами в СТО ГОК'ов приводит к

тому, что эти системы являются многоуровневыми, с упорядоченной последовательностью различных ее компонентов и уровней взаимосвязей между ними, т.е. построенными по иерархическому принципу. Упрощенно СТО ГОК'а можно рассматривать как систему, состоящую из отдельных подсистем и элементов. 3). В процессе эксплуатации СТО ГОК'ов происходят количественные и качественные изменения свойств элементов, подсистем, функциональных и структурных связей. Например, вследствие ухудшения протекания технологического процесса со временем производительность оборудования падает; из-за износа узлов деталей, а также разрегулировок их характеристик снижается надежность элементов и их эффективность. Поэтому СТО ГОК'ов необходимо рассматривать в динамике с учетом изменений свойств элементов, подсистем, функциональных и структурных связей. 4). Вероятный характер процесса функционирования СТО ГОК'ов не может обеспечить применение к ним обычных принципов детерминизма. Например, увеличение уровня нагружения элемента (причина) приводит к его отказу (следствие) не по функциональной зависимости, а по вероятному закону.

Использование общей теории систем при исследованиях процессов функционирования СТО ГОК'ов и при их проектировании дает возможность выделить важнейшие аспекты технологических объектов, которые вытекают из общих свойств технологических систем, а не только из их конкретного содержания, значения параметров элементов и подсистем. Законы суперпозиции, действующие в системе, определяют особое поведение системы, которое отлично от поведения отдельных элементов и подсистем. Технологическая система – это не только совокупность элементов, которые управляются законами причинной связи, действующей на них, но это – и совокупность отношений между элементами. При таком подходе каждый новый элемент не только определяет его отношение с другими элементами, но и изменяет отношения между всеми элементами. Исследование технологических систем путем их расчленения на элементы и изучения свойств последних лишает системы ряда свойств, и она в этом случае не может быть представлена как единое целое. Свойства целостных систем могут быть изучены лишь при системном подходе к их исследованию.

Таким образом, системный подход выступает как методологическая концепция, призванная сформулировать в систематическом виде

совокупность методов исследований и создания СТО ГОК'ов различных типов.

Процесс проектирования СТО ГОК'ов можно рассматривать как процесс создания нескольких вариантов систем, обладающих различными технико-эксплуатационными и надежностными показателями, с последующим отбором лучшего варианта по принятому критерию оптимальности. При этом оценка качества созданных вариантов СТО ГОК'ов проводится по двум различным, но тесно взаимосвязанным аспектам. Во-первых, анализируется уровень функционального совершенства системы, характеризуемый заданным набором входных и выходных технико-эксплуатационных показателей; во-вторых, анализируется уровень надежности, определяемый выбранным набором нормируемых показателей.

Высокий уровень функционального совершенства, удовлетворяющий заданным требованиям, является обязательным для любого варианта проектируемой технологической системы. Если задача обеспечения заданных значений технико-эксплуатационных показателей не решена, нет смысла говорить о надежностных свойствах системы. Если же СТО ГОК'а удовлетворяет требованиям первого аспекта, то появляется необходимость в оценке уровня надежности разработанного варианта системы.

При проектировании СТО ГОК'а необходимо решить две основные задачи: 1) выбрать и обосновать функциональную схему (схему цепи аппаратов), служащую основой для построения сначала структурно-элементной схемы; а затем математической модели надежности технологической системы; 2) выполнить элементное наполнение схемы цепи аппаратов, обосновать технико-эксплуатационные и надежностные показатели выбранного технологического оборудования.

Процесс проектирования СТО ГОК'а с учетом надежности носит многоэтапный характер, включающий: 1) формулирование требований к системе (техническое задание); 2) разработку эскизного проекта; 3) разработку технического проекта; 4) изготовление и ввод в эксплуатацию технологической системы, а также дополнительные этапы; 5) нормальную эксплуатацию и развитие системы (главный и наиболее продолжительный этап); 6) модернизацию системы.

На первом или в крайнем случае, на втором этапе проектирования СТО ГОК'а в соответствии с целями и задачами, которые должна решать проектируемая технологическая система, выбирается система

– аналог, виявляються її достоїнства і недостатки, визначається комплекс зовнішніх факторів, впливаючих на систему, проводиться збір статистичних даних про надійність системи і її елементів, а також проводиться вибір і обґрунтування критеріїв надійності, формуються вимоги до чисельному значенню нормованих показників надійності. Зрозуміло, що рівень надійності проектуваної системи повинен бути вище, ніж у системи – аналога. Основні труднощі, виникаючі при цьому: обмежене час виконання проектних робіт, відсутність точних даних по системам – аналогам, особливо в тому випадку, якщо в якості аналога потрібно вибирати не систему в цілому, а частини різних технологічних систем, що працюють в різних зовнішніх умовах; відсутність повних даних про конкретні особливості проектуваної системи і об умових її роботи.

На стадії ескізної проекту виконується декілька варіантів СТО ГОК'а, що відрізняються структурою і елементним наповненням. Зпершу все, вибирається тип агломераційної або обжигової конвеєрної машини, яка може забезпечити виконання вимог, поставлених в технічному завданні. Далі вибираються комплектуюче конвеєрну машину технологічне обладнання в відповідності з функціональною схемою СТО ГОК'а (з обов'язковим урахуванням кратності продуктивності технологічного обладнання і конвеєрної машини). Проводиться попередня оцінка надійності варіантів систем, для чого розробляються методи досліджень і математична модель надійності. Недостатній обсяг вихідної інформації призводить до необхідності використовувати такі моделі, які забезпечують необхідну достовірність результатів при мінімумі вихідних даних. На другому етапі проектування СТО ГОК'а можна представити в вигляді системи послідовно з'єднаних підсистем, що мають пуассонівським потоком відмов.

Отримана при таких передумових оцінка надійності служить оцінкою знизу. В результаті аналізу різних варіантів технологічних систем з них вибирається одна або декілька кращих, які підлягають подальшій розробці. В цих варіантах СТО ГОК'а повинно використовуватися перспективне технологічне обладнання, що забезпечує виконання вимог, викладених в технічному завданні. Проводиться аналіз статистичної інформації про надійність систем – аналогів або їх елементів, характери-

стики которых близки элементам, используемым в проектируемой системе. Производится выбор окончательного варианта СТО ГОК'а, который подвергается всестороннему анализу с точки зрения соответствия его технико-эксплуатационных показателей требованиям технического задания. Назначается технологический режим функционирования, способ эксплуатации системы, вид технического обслуживания и т.п.

Разработка технического проекта является основным этапом проектирования, на котором закладывается потенциальная надежность СТО ГОК'а. На этом этапе уточняется выбор всего комплектующего технологического оборудования и структуры технологической системы в целом. Определяются показатели надежности конвейерной машины и комплектующих элементов, для чего используются расчетные методы, данные лабораторных испытаний и данные подконтрольной эксплуатации. При этом учитываются характер связей между элементами, режим их работы, условия внешней среды, способ технического обслуживания и стратегию замен элементов. Разрабатывается уточненная математическая модель и производится расчет надежности и производительности системы, а также окончательный выбор варианта СТО ГОК'а. Разрабатываются требования к надежности комплектующих элементов и рекомендации по оптимизации надежности технологических элементов и системы в целом, ее технического обслуживания.

На этапе изготовления, монтажа и ввода в эксплуатацию технологической системы окончательно проверяется соответствие технико-эксплуатационных и надежностных показателей СТО ГОК'а требованиям технического задания. Проводятся работы по организации сбора статистической информации с целью контроля фактического уровня надежности комплектующих элементов и системы, уточняется режим технической эксплуатации системы и ее технического обслуживания, разрабатываются рекомендации по повышению надежности системы в период эксплуатации, корректируется техническая документация.

На этапе нормальной эксплуатации СТО ГОК'а организуется и проводится сбор статистической информации о надежности конвейерной машины, комплектующих элементов и систем, анализ и математическая обработка этой информации с целью получения количественных значений показателей эксплуатационной надежности, производится оптимизация режимов эксплуатации и технического обслуживания, а также разработка рекомендаций по выявлению лимитов

тирующих элементов и дальнейшему совершенствованию СТО ГОК'а за счет увеличения числа резервных технологических элементов системы и связей между ними.

При модернизации и реконструкции СТО ГОК'а производится ее дальнейшее развитие и совершенствование за счет использования новых принципов, концепций и технических решений, что обеспечивает существенное улучшение качества функционирования системы.

Выводы и направление дальнейших исследований. Последовательность решения задач проектирования СТО ГОК'а на различных этапах можно рассматривать как переход от общей, сравнительно простой модели системы, к системе с большой степенью сложности и детализации. Причем, процесс усложнения модели при переходе одного этапа к другому носит итерационный характер, последовательно увеличивая степень адекватности модели и реального объекта. Так как на первых этапах проектирования объем и достоверность исходной информации недостаточны, а структура системы и режим ее функционирования полностью не определены, то точность полученных результатов недостаточна. Однако, приблизительный, а иногда даже условный характер результатов расчета на начальных этапах проектирования, не снижает их значений, поскольку этот результат обеспечивает возможность сравнения различных вариантов систем и принятия обоснованного решения.

Список источников

1. Гнеденко Б.В., Козлов Б.А., Ушаков И.А. О роли и месте теории надежности в процессе создания сложных систем.-В кн.: Теория надежности и массовое обслуживание/Под ред. Б.В. Гнеденко.-М., 1969.- С. 14-32.
2. Бессараб В.И. Проектирование и эксплуатация оборудования фабрик окомкования: Справочник.-М.: Металлургия, 1986.-152 с.
3. Гребенник В.М., Цапко В.М. Надежность металлургического оборудования: Справочник.-М.: Металлургия, 1980.-344 с.
4. Диллон Б., Сингх Ч. Инженерные методы обеспечения надежности систем.-М.: Мир, 1984.-318 с.
5. Капур К., Ламберсон Л. Надежность и проектирование систем.-М.: Мир, 1980.-604 с.
6. Мейсмер Д. Эргономические основы разработки сложных систем.-М.: Мир, 1979.-455 с.
7. Рудь Ю.С. Надежность и эффективность оборудования фабрик окускования.-М.: Недра, 1977.-200 с.
8. Седуш В.Я. Надежность, ремонт и монтаж металлургических машин.-К.: Вища школа, 1977.-228 с.