

Контрольные датчики в шлейфе безопасности, при контроле ленты, ограждения, датчики скорости ленты и барабана потребовали только ревизии. Для определения номера сработавшего в шлейфе датчика был разработан малогабаритный адресный модуль, который легко устанавливается в цепи датчика, типа КТВ и КСЛ, и при его замыкании генерирует в шлейф запрограммированный адрес. На верхнем уровне установили специализированное программное обеспечение АРМ-ЦПУ.

Данная система автоматизации конвейерного транспорта прошла опытную эксплуатацию в 2003 году в руднике ОАО «Уралкалий» и в 2004-м получила разрешение на применение в шахтах и рудниках, опасных по газу и пыли. Система получила название «автоматизированная система управления конвейерным транспортом АСУК-ДЭП». За семь лет АСУК-ДЭП получила «прописку» на многих предприятиях горной и угольной промышленности. В частности, ее используют все рудники ОАО «Уралкалий» и ОАО «Сильвинит», все шахты ОАО «Воркутауголь». В Кузбассе первыми АСУК-ДЭП стала использовать шахта «Березовская», а в настоящее время системой заинтересовались и другие угольные предприятия региона.

За это время система АСУК-ДЭП получила немало положительных отзывов. Система постоянно совершенствуется, добавились новые функции: измерение температуры на двигателе и редукторе, измерение объема транспортируемого материала, управление орошением и пр. Появилась аппаратура управления вспомогательным оборудованием конвейерного транспорта — например, пересыпными устройствами, бункерами, питателями, катучими конвейерами, реверсивными конвейерами и многое другое.

Результаты исследований

Дальнейшее качественное совершенствование автоматизации конвейерных линий должно развиваться в направлении повышения централизации управления на базе использования специализированных ЭВМ и микроконтроллеров, что позволит повысить оперативность управления за счет обработки большого объема информации о работе конвейеров, причинах аварийных ситуаций, вести работу конвейеров в оптимальных режимах, увязанных с работой очистных забоев или других источников грузопотока.

Автоматизация конвейерного транспорта предусматривает оснащение средствами автоматического контроля и защиты каждого конвейера и управление, как отдельными конвейерами, так и всей линией.

Повышение эффективности технологических процессов путем применения компьютерно-интегрируемых систем автоматизированного управления является перспективой дальнейшего развития рудодобывающей промышленности, которые позволяют организовать технологические процессы на качественно новом уровне, исключая непроизводительные затраты времени и энергоресурсов при изменении динамических параметров объекта. Если рассматривать транспортный комплекс шахты, который осуществляет доставку полезного ископаемого от очистных забоев на поверхность шахты и включает в себя конвейерный транспорт с аккумуляционными емкостями и скиповой подъем, то в процессе работы конвейерной линии должно обеспечиваться наиболее выгодное (по условиям экономии электроэнергии) соотношение параметров — «уровень загрузки ленты — величина скорости ленты», не ограничивая при этом производительность забоя. При отсутствии твердого материала на ленте конвейер должен быть остановлен. Это позволит снизить потребление электрической энергии за счет уменьшения времени работы конвейеров

вхолостую, а также повысит срок их службы. Существующие в настоящее время системы управления шахтными конвейерными установками не позволяют достаточно эффективно регулировать скорость движения ленты. Поэтому единственным вариантом регулирования её скорости при производительной работе является остановка конвейеров на период времени, продолжительность которого определяется аккумулярующей способностью конвейерного состава. Автоматическое поддержание в процессе разгрузки аккумулярующего бункера рационального соотношения параметров — «уровень загрузки бункера — уровень загрузки ленты — скорость движения ленты» обеспечит дополнительную экономию электроэнергии.

Список литературы

1. Семёнов А.С., Шипулин В.С. Использование газоаналитических систем нового поколения для защиты рудника // Фундаментальные исследования. — 2014. — № 6-3. — С. 480-484.
2. Рушкин Е.И., Бондарев В.А., Семёнов А.С. Применение автоматической газовой защиты на подземном руднике по добыче алмазосодержащих пород // Современные наукоемкие технологии. — 2014. — № 5-1. — С. 229-231.
3. Семёнов А.С. Применение системы электропривода с преобразователем частоты и автономным инвертором напряжения на проходческом комбайне // Технические науки — от теории к практике. — 2013. — № 18. — С. 71-77.
4. Семёнов А.С., Пак А.Л., Шипулин В.С. Моделирование режима пуска электродвигателя погрузочно-доставочных машин применительно к рудникам по добыче алмазосодержащих пород // Приволжский научный вестник. — 2012. — № 11 (15). — С. 17-23.

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Шевчук В.А., Семёнов А.С.

Политехнический институт (филиал) ФГАОУ ВПО «Северо-восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», Мирный, e-mail: kainotheone@gmail.com

В настоящее время двигатели переменного тока пользуются большим спросом среди большинства современных производственных предприятий. Российский и зарубежный опыт показывает, что они используют 80% всей вырабатываемой в стране электроэнергии, поэтому стабильность их работы играет большую роль в крупной промышленности. Периодическая диагностика состояния оборудования помогает своевременно выявить возникающие неисправности. [1]

Асинхронные двигатели (АД) на практике показывают свою выносливость и простоту по относительно низкой стоимости. Однако в процессе эксплуатации могут возникать повреждения элементов двигателя, что в свою очередь приводит к преждевременному выходу его из строя.

Основными источниками развития повреждений асинхронного двигателя являются:

- перегрузка или перегрев статора электродвигателя — 31%;
- межвитковое замыкание — 15%;
- повреждения подшипников — 12%;
- повреждение обмоток статора или изоляции — 11%;
- неравномерный воздушный зазор между статором и ротором — 9%;
- работа электродвигателя на двух фазах — 8%;
- обрыв или ослабление крепления стержней в белой клетке — 5%;
- ослабление крепления обмоток статора — 4%;
- дисбаланс ротора электродвигателя — 3%;
- несоосность валов — 2%. [7]

В производстве внезапный выход из строя двигателя может привести к непоправимым последствиям.

Очень важно выявлять любой дефект на ранней стадии, исключая риск возникновения серьезных повреждений двигателя.

Система технической диагностики должна включать в себя регулярный мониторинг технического состояния электродвигателей, поиск дефектов, повреждений, определение степени опасности дефектов и оценку остаточного ресурса оборудования. Для предприятий, осуществляющих специализированное сервисное обслуживание ремонты электродвигателей, задача проведения диагностики состояния электродвигателей не менее актуальна. [2]

Идеальный современный способ диагностирования электродвигателей должен отвечать следующим требованиям:

- высокая достоверность и точность выявления неисправностей и повреждений электродвигателя;
- возможность обнаружения всех или значительной части электрических и механических повреждений электродвигателя и связанных с ним механических устройств;
- проведение диагностических измерений дистанционно, что актуально в тех случаях, когда доступ к оборудованию затруднен;
- низкая трудоемкость диагностических работ (измерений) и простота проведения измерений;
- возможность проведения аналитической обработки полученных результатов измерений за короткое время, с применением вычислительных и программных средств. [2]

К тому же, при эксплуатации электродвигателей, находившихся в неудовлетворительном состоянии, может привести к финансовым потерям:

- прямым, связанным с непрогнозируемым выходом из строя оборудования и вызванным этим нарушением технологического процесса;
- значительным (до 5–7%) косвенным непродуктивным затратам электроэнергии, обусловленным повышенным электропотреблением. [1]

Отсюда остро встаёт вопрос о необходимости диагностики состояния двигателя в процессе его работы.

Большинство современных методов диагностики базируется на анализе вибрации работающих машин и оборудования. Эти методы составляют основу функциональной (рабочей) диагностики, несмотря на то, что режимы работы оборудования могут быть самыми разными – от установившихся (номинальных или специальных) до переходных, в том числе пусковых, импульсных и т.п. В функциональной диагностике машин и оборудования по вибрации используется информация, содержащаяся в характеристиках колебательных сил и свойствах колебательной системы. И поскольку до начала анализа вибрации работающего оборудования, как правило, нет достаточно точной информации ни о колебательных силах, ни о колебательной системе, в функциональной диагностике максимальный результат дают самые сложные методы анализа вибрации, являющейся функцией параметров колебательных сил и свойств колебательной системы. [9]

Вибрация, измеряемая в контрольных точках работающего оборудования, является результатом действия колебательных сил в разных узлах оборудования на механическую колебательную систему с разными передаточными характеристиками от каждого из источников колебательных сил до каждой точки контроля вибрации. В наиболее общем виде колебательные силы описываются суммой периодических, случайных и ударных составляющих, а передаточные характеристики – амплитудно-частотными и фазочастотными компонентами. Естественно, что максимальный объем диагностической информации, содержащейся в структуре колебательных сил, можно получить, лишь разделив сигнал на составляющие (периодические, случайные и ударные) и анализируя каждую из них отдельно, с учетом передаточных характеристик колебательной системы. Практическое решение подобной задачи настолько сложно, что приходится рассматривать лишь ее частные случаи. [9]

Существует ряд факторов, влияющих на обоснованность применения какого-либо из методов вибродиагностики в каждом конкретном случае: режим работы АД, требуемая точность диагностики, условия, в которых проводятся операции диагностики, требования к виброизмерительной и виброанализирующей аппаратуре, качество электроэнергии.

Наиболее распространенными группами методов вибродиагностики асинхронного двигателя являются:

- Диагностика АД по среднеквадратичному значению (СКЗ) вибросигнала;
- Вибродиагностика АД с помощью фазовых портретов (траекторий колебаний);
- Спектральный анализ;
- Спектральный анализ огибающей;
- Кепстральный анализ;
- Ультразвуковая дефектоскопия и акустическая диагностика;
- Специальные диагностические параметры;
- Вейвлет-анализ;
- Статистические методы обработки сигналов вибрации;
- Диагностика на основе нейронных сетей. [8]

В настоящее время широкое распространение получил метод спектрального анализа потребляемого тока. Важным преимуществом этого подхода является то, что проведение мониторинга тока электродвигателя может быть выполнено как непосредственно на нем, так и в электрошите питания (управления). [2] Физический принцип, положенный в основу этого метода, заключается в том, что любые возмущения в работе электрической и/или механической части электродвигателя и связанного с ним устройства приводят к изменениям магнитного потока в зазоре электрической машины и, следовательно, к слабой модуляции потребляемого электродвигателем тока. Наличие в спектре тока двигателя характерных (и несовпадающих) частот определенной величины свидетельствует о наличии повреждений электрической или механической части электродвигателя и связанного с ним механического устройства. [1]



Рис. 1. Принципиальная схема измерительного комплекса для проведения диагностики электродвигателя

Для проведения диагностики состояния электродвигателей методом спектрального анализа потребляемого тока необходим измерительный (аппаратно-программный) комплекс, включающий оборудование:

1. Электродвигатель.
2. Механическое устройство электродвигателя – насос, компрессор и т.п.
3. Низкочастотный фильтр (кондиционер сигнала).
4. Аналого-цифровой преобразователь (АЦП).
5. Портативный компьютер (ПК) со специализированным программным обеспечением для сбора и анализа информации (данных). [3]

Запись сигналов тока осуществляется в течение времени, необходимого для выполнения спектрального анализа с разрешением по частоте не менее 0,01–0,02 Гц. Оцифрованные АЦП данные передаются в ПК, где выполняется обработка полученных данных: определяется частота вращения двигателя и число стержней его ротора, затем осуществляется специальный спектральный анализ сигнала тока. [1]

Рассмотрим общий пример.

На рисунке заметно увеличение частотных полос. Это говорит о различных дефектах, образовавшихся за 5 лет эксплуатации.

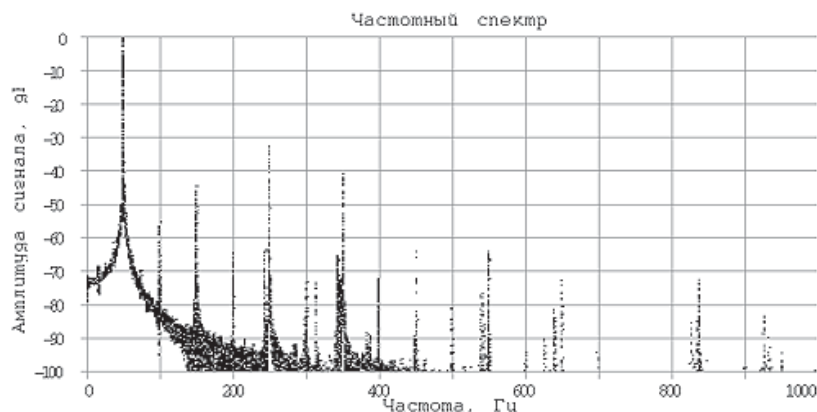


Рис. 2. Спектральный анализ потребляемого нового электродвигателя

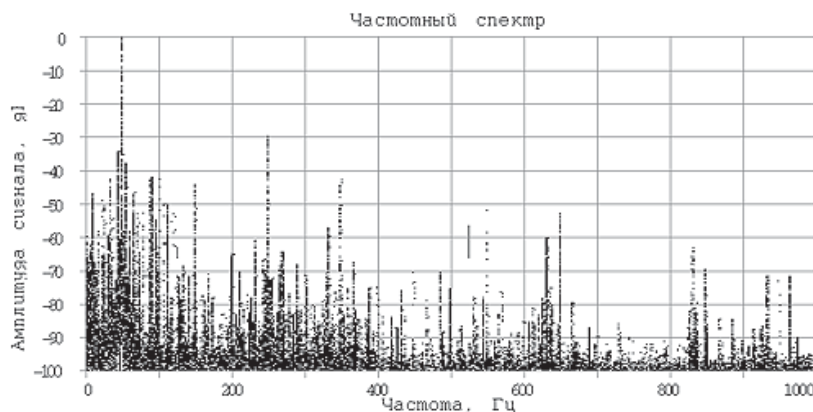


Рис. 3. Спектральный анализ потребляемого электродвигателя, эксплуатируемого 5 лет

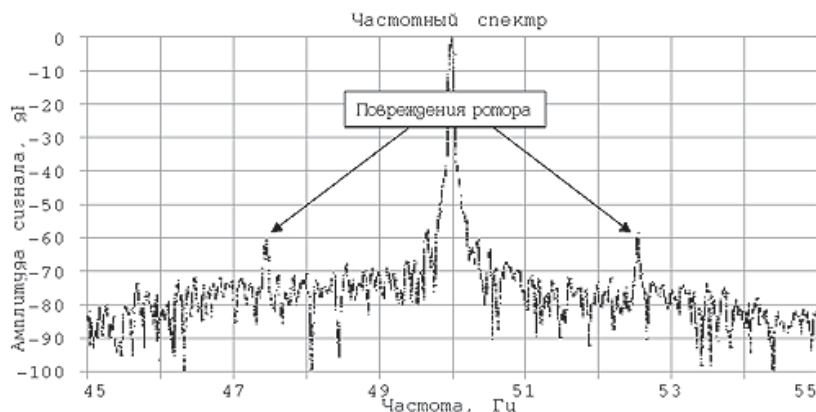


Рис. 4. Частоты, характерные для поврежденной ротора

На рисунке 4 можем увидеть более подробный пример. Повреждение ротора двигателя можно обнаружить по наличию двух относительно симметричных пиков частоты питающей сети в спектре тока. [1]

Аналогичным образом определяется и наличие таких дефектов, как:

- межвитковые замыкания обмоток статора;
- повреждения подшипников (необходимы данные о подшипниках электродвигателя и механического устройства);
- дисбаланс ротора электродвигателя;
- ослабление элементов крепления электродвигателя;
- дефекты механических частей связанных с электродвигателем устройств. [1]

В зависимости от способа получения информации данный метод может осуществляться двумя способами: контактным и бесконтактным. При бесконтактном способе чаще всего используют датчики в виде токовых клещей.

Но этот метод имеет недостаток – сильное искажение или появление высокочастотных гармоник при определённых дефектах. Сюда входит:

- Возникновение межвитковых и межфазных замыканий (появление в спектрах высокочастотных гармоник);
- Дефект в подшипниковом узле (искажение спектра, в частности, появление гармоник с комбинационными частотами). [4]

На сегодняшний день методы диагностики не позволяют полноценно диагностировать оборудование во всех условиях эксплуатации, а значит, не влияют на сокращения затрат, связанных с выходом из строя электродвигателя. Поэтому актуальна разработка каких-либо новых методов, либо использование методов ранее не использовавшихся в диагностике. Рассмотрим метод вихретокового контроля, который является не совсем стандартным для диагностики. [5]

Физический принцип основан на анализе взаимодействия внешнего электромагнитного поля с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых возбуждающей катушкой в электропроводящем объекте контроля. Плотность вихревых токов в объекте зависит от геометрических и электромагнитных параметров объекта, а также от взаимного расположения измерительного вихревого преобразователя (ВТП) и объекта. Электромагнитное поле вихревых токов воздействует на катушки преобразователя, наводя в них электродвижущую силу (ЭДС) или изменяя их полное электрическое сопротивление. Регистрируя напряжение на зажимах катушки или их сопротивление, получают информацию о свойствах объекта. [5]

Стоит отметить, что конструкция преобразователя крайне проста. Катушки помещают в предохранительный корпус и заливают компаундами. Благодаря этому они устойчивы к механическим и атмосферным воздействиям, могут работать в агрессивных средах в широком интервале температур и давлений, а также на него не влияют влажность, радиоактивные излучения, загрязненность газовой среды. [4]

Особенность данного метода так же состоит в том, что нет необходимости в контакте преобразователя и объекта. Их взаимодействие происходит на расстояниях, достаточных для свободного движения преобразователя относительно объекта (от долей миллиметра до нескольких миллиметров). Поэтому этими методами можно получать хорошие результаты контроля даже при высоких скоростях движения объектов. [5]

В работе [4] было экспериментально доказано, что наличие в спектре напряжённости гармоник,

кратных 3, является признаком межвитковых и межфазных замыканий, а кратных 2 – признаком эксцентриситета ротора.

Таким образом было установлено, возникновение 4 гармоник – механические повреждения двигателя (а); нечётных гармоник относительно 1 – при электрических неисправностях (б);

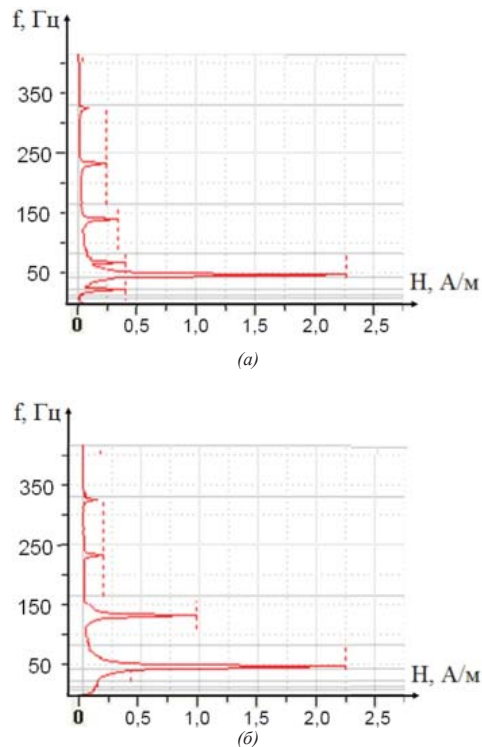


Рис. 5. Спектральный состав внешнего магнитного поля АД при эксцентриситете вала ротора (а); Спектральный состав внешнего магнитного поля АД при межвитковом замыкании (б)

При этом установлено, что наиболее информативной гармоникой является 3-я, т. к. она проявляется как при межвитковых замыканиях, так и при межфазных. Кроме того, по значению коэффициента 3-й гармоники появилась возможность делать прогноз о техническом состоянии электродвигателя, по результатам которого могут быть разработаны рекомендации о дальнейшей эксплуатации электродвигателя в зависимости от конкретных значений рассматриваемого диагностического параметра. [4]

В то же время применение метода вихретокового контроля затрудняется тем, что при контроле одного параметра другие являются мешающими. Для разделения параметров используют раздельное или совместное измерение фазы, частоты и амплитуды сигнала измерительного преобразователя, ведут контроль одновременно на нескольких частотах. [10]

В статье были рассмотрены два современных метода диагностики асинхронного двигателя: спектрального анализа потребляемого тока и вихретокового контроля. Так же на их фоне были рассмотрены наиболее широко применяемые методы обработки и анализа данных с целью вибрационного контроля. Составлена сравнительная таблица, из которой видно, что каждый метод имеет свои преимущества и недостатки и может быть использован в каких-либо частных случаях. Метод вихретокового контроля лучше всего использовать для выявления межвитковых замыканий. В отличие от других видов неисправно-

стей, чтобы определить межвитковые замыкания необходимо знать всего лишь коэффициент 3-й гармоники напряжённости внешнего магнитного поля, тогда как для определения неисправностей другого рода будет затруднено внешними факторами (расстояние измерения, качество электрической энергии, фоновые электромагнитные поля). В свою очередь, у метода спектрального анализа потребляемого тока спектр выявляемых неисправностей будет шире. Для обнаружения неисправностей электродвигателя выделяются характерные частоты электродвигателя и связанных с ним механических устройств. Но стоит отметить, что метод спектрального анализа потребляемого тока более трудоёмким и дорогим, чем метод вихретокового контроля.

Список литературы

1. Петухов В. Диагностика состояния электродвигателей. Метод спектрального анализа потребляемого тока // *Новости Электротехники*. – 2005. – № 1 (31). – С. 23–28.
 2. Петухов В. Диагностика электродвигателей. Спектральный анализ модулей векторов Парка тока и напряжения // *Новости электротехники*. – 2008. – № 1 (50). – С. 33–37.

3. Петухов В. Диагностика электродвигателей. Спектральный анализ модулей векторов Парка тока и напряжения // *Новости электротехники*. – 2008. – № 2 (50). – С. 43–49.
 4. Бобров В.В. Оценка эффективности основных методов диагностики асинхронных двигателей // *Ползуновский Вестник*. – 2012 – № 3/1. – С. 198–203.
 5. Бобров В.В. Оценка технического состояния асинхронных двигателей методом вихретокового контроля. Материалы конференции научных исследований и их практическое применение. Современное состояние и пути развития. – 2012.
 6. Сидельников Л.Г., Афанасьев Д.О. Обзор методов контроля технического состояния асинхронных двигателей в процессе эксплуатации // *Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело*. – 2013. – № 7. – С. 127–137.
 7. Неисправности асинхронного электродвигателя. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.malahit-irk.ru>. (Дата обращения: 25.12.2014).
 8. Браташ А.В. Анализ методов вибродиагностики асинхронных двигателей / А.В. Браташ, А.П. Калинов // *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету*. – Кременчук: КДПУ, 2006. – Вип. 4.
 9. Барков А.В. Вибрационная диагностика машин и оборудования. Анализ вибрации: учебное пособие / А.В. Барков, Н.А. Баркова. – СПб.: Изд. центр СПбГМТУ, 2004. – 156 с.
 10. Средства неразрушающего контроля. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://defektoskopia.narod.ru>. (Дата обращения: 26.01.15).

**Секция «Энергоснабжение, энергопотребление, энергосбережение»
 научный руководитель – Кузнецов Николай Матвеевич, канд. тех. наук, профессор**

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
 АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В КАЗАХСТАНЕ**

Келсигазина Р.Е., Дуйсен А.Ж.

*Государственный университет имени Шакарима,
 Семей, e-mail: ruziya_95@mail.ru*

В прогнозах Мирового энергетического агентства признается, что ядерная энергетика по сравнению с другими источниками энергии не только помогает удовлетворить растущий спрос на энергию и повысить безопасность энергоснабжения, но и уменьшает выброс углерода в атмосферу, поскольку на предприятии, производящие энергию из органического топлива, приходится около половины антропогенных выбросов парниковых газов.

Рост энергетических потребностей во всем мире, нестабильность цен на нефть и природный газ, экологические ограничения в связи с использованием органического топлива, озабоченность в отношении надежности энергоснабжения в ряде стран делают актуальной своевременную подготовку новых энергетических технологий. Активные исследования новых возобновляемых источников энергии и управляемого термоядерного синтеза пока не позволяют рассматривать их в качестве реалистичных конкурентоспособных способов крупномасштабного замещения традиционного топлива [1].

Ядерные технологии производства энергии обладают важными принципиальными особенностями по сравнению с другими энерготехнологиями:

- ядерное топливо имеет в миллионы раз большую концентрацию энергии и практически неисчерпаемые ресурсы;
- отходы ядерной энергетики имеют относительно малые объёмы и могут быть надёжно локализованы, а наиболее опасные из них можно «дожигать» в ядерных реакторах;
- ядерный топливный цикл (ЯТЦ) может быть реализован таким образом, что радиоактивность и радиотоксичность отходов не превысят их значений для руды, из которой добывается уран [2].

Таким образом, ядерная энергетика потенциально обладает всеми необходимыми качествами для посте-

пенного замещения значительной части энергетики на ископаемом органическом топливе и становления в обозримом будущем в качестве доминирующей энерготехнологии.

Целью данной работы является обоснование актуальности развития атомной энергетики и необходимости строительства АЭС в Казахстане.

При выполнении данной работы были поставлены и решены следующие задачи:

- анализ современных тенденций развития мировой ядерной энергетики;
- анализ современного состояния атомной энергетики в Казахстане;
- анализ сильных и слабых сторон атомной энергетики Республики Казахстан.

Сегодня Казахстан занимает первое место в мире по добыче урана и второе место по объемам запасов, обладая 19 % мировых разведанных запасов урана. За относительно короткое время Казахстан сумел поднять сферу атомной энергетики на высокий уровень развития. Кроме того, Казахстан обладает развитой уранодобывающей и перерабатывающей промышленностью с инфраструктурой для проведения фундаментальных и прикладных исследований в области ядерной энергетики и ядерной физики. В республике существует уникальная научная база для исследований в области ядерной физики, включая квалифицированный персонал. Благодаря этому в настоящее время в научных целях успешно эксплуатируются три исследовательских ядерных реактора.

Всего на территории Казахстана известно 129 месторождений и рудопроявлений урана. Месторождения урана объединены в 6 урановых провинций: Чусарьуская, Сырдарьинская, Северо-Казахстанская, Илийская, Прикаспийская, Прибалхашская (см. рисунок 1).

Большинство запасов урана (около 65%) пригодны для отработки наиболее прогрессивным, экологически безопасным и экономически целесообразным способом – методом подземного выщелачивания [3].

На сегодняшний день в Казахстане имеются все объективные предпосылки для создания и развития атомной отрасли. На рисунках 2, 3 представлены