

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПОТОЧНЫХ ЛИНИЯХ

Васильков Ю.В., Фролов П.А., Сергеев И.А.

Ярославский государственный технический университет, г.Ярославль

Ключевые слова: экономия электроэнергии, снижение энергетических потерь, энергозатраты, производство, поточная линия, пуск/останов оборудования, статистический анализ, отказы, тренды.

Аннотация. В данной статье рассматриваются причины потерь электроэнергии на промышленном предприятии. Выявлена и обоснована необходимость сокращения энергозатрат в производстве. На основе проведенного статистического анализа показано, что можно выявлять нестабильные участки работы промышленной поточной линии, специфические зоны её эксплуатации, аномальные режимы работы. В конечном итоге, данный подход направлен на существенное снижение потерь электроэнергии.

Введение

На пути от природного ресурса до промышленного потребителя энергия любого вида проходит через цепь передаточных устройств, трансформаций и преобразований. Эта цепочка на всех стадиях имеет энергетические потери - от долей до десятков процентов. Наибольшие потери возникают при производстве электроэнергии и при ее потреблении в установках промышленного назначения. Поэтому целесообразно более пристально рассмотреть возможность снижения энергетических потерь на промышленном предприятии.

1. Непроизводительные затраты энергии на производстве

На сегодняшний день вопросы эффективного и рационального использования энергетических ресурсов в различных областях промышленности приобретают все большее значение. Многие руководители при разработке перспективных планов производства, в первую очередь, ориентируются на себестоимость конечного продукта, объем мощностей и загрузку оборудования, что подтверждает актуальность учета энергетических ресурсов.

На современном предприятии выделяют множество групп потребителей электричества, в числе которых: электродвигатели, вентиляция, электрическое освещение, оргтехника и другие.

В данной работе рассматриваются вопросы снижения потерь электроэнергии при работе электродвигателей мощностью более 10 кВт, которые используются в основных производственных процессах. Электротехнологические установки включают в себя процессы сушки, нагрева, электроплавки, электросварки, электролиза и т.д. Для многих отраслей промышленности большая часть электрозатрат по этой группе электроприемников приходится на электропечи, холодильное и вентиляционное оборудование, сварочные установки [1].

Пример электробаланса одного из современных промышленных предприятий приведен на рисунке 1 [2].

Из рисунка видно, что наибольшая доля электрозатрат в основном приходится на технологическое оборудование.



Рис. 1. Электробаланс промышленного предприятия

При этом на производстве активно используется электропривод. Он присутствует в станках, в крановом оборудовании, в различных системах вентиляции, в водораспределительных сетях и т.д. Согласно статистическим данным доля энергопотребления в промышленности, приходящаяся на электродвигатели, доходит до 68% [3]. Следовательно, обеспечение энергосбережения актуально в этом направлении.

2. Нарушение ритмичности поточных линий как источник потерь электроэнергии

В промышленности одним из главных факторов является стабильность работы оборудования, прежде всего поточных линий. От стабильности работы зависит качество выпускаемой продукции, энергозатраты, срок службы основных составляющих системы и др. При поддержании стабильного режима работы линии можно добиться уменьшения брака производства, снижения затрат на себестоимость продукции и электроэнергию. Несвоевременные и частые остановки производства приводят к существенным энергопотерям. Поэтому во избежание внеплановых затрат необходимо своевременно идентифицировать и устранять всевозможные негативно влияющие на экономические показатели факторы. Данный подход способствует увеличению жизненного цикла системы, снижению материальных затрат, сохранению желаемой стабильности и ритмичности, и обеспечит оптимальный расход электроэнергии. При этом возникает задача анализа стабильности работы промышленных линий и их диагностика на основе статистических данных о работе технологических единиц.

Одним из самых энергозатратных процессов, с точки зрения неэффективного использования электроэнергии при соблюдении основных технологических режимов, на промышленном предприятии является пуск/останов промышленного оборудования. В сложных автоматизированных линиях производства самыми энергозатратными компонентами являются электродвигатели ввиду того, что они встречаются наиболее часто, и для их запуска требуется больше количество энергии.

В промышленности широкое применение нашли асинхронные двигатели благодаря простоте конструкции и невысокой стоимости. Основные потери в электродвигателях связаны с пусковыми режимами, как только двигатель заработал, полезная энергия затрачивается на выполнение работы, связанной с вращением выходного вала, остальная уходит на тепловыделение, шум и вибрацию. Чем больше мощность двигателя, тем больше пусковые токи [4]. На рисунке 2 представлен схематичный график изменения скорости вращения ротора и график токовой нагрузки при пуске электродвигателя.

Примем, что максимальный пусковой ток в среднем составляет $6 \cdot I_{\text{ном}}$, (обычно пусковой ток в 3-8 раз выше номинального [5]). Далее, для упрощения оценки, примем такой закон изменения тока, как показано на рисунке 3.

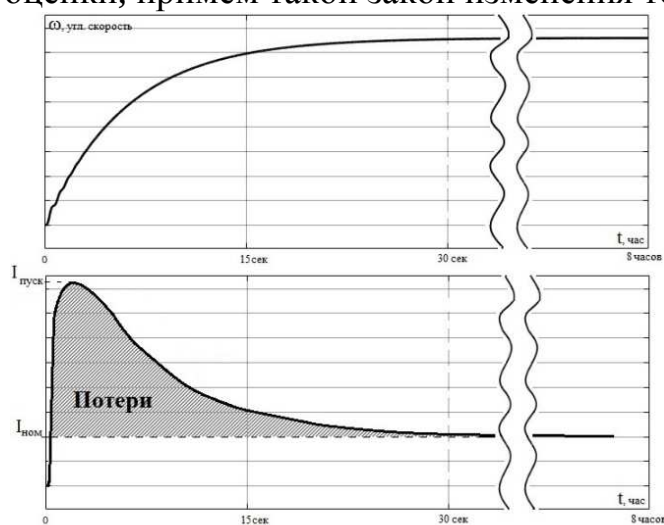


Рис. 2. Графики скорости вращения ротора и пускового тока при пуске электродвигателя

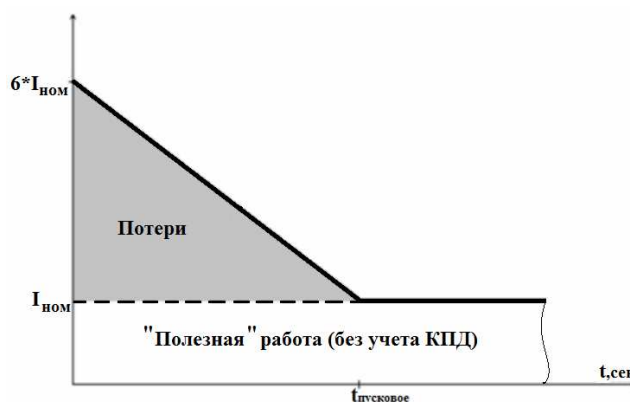


Рис. 3. Закон изменения тока

Найдем «потерянную» работу за время пуска от 0 до $t_{\text{пуска}}$, расчет проведем по следующей формуле:

$$\frac{(6-1) \cdot I_{\text{ном}} \cdot U_{\text{питания}} \cdot t_{\text{пуска}}}{2}.$$

Положим, что время пуска двигателя (при условии выполнения им работы на валу двигателя) составляет 1 минута. За 1 час работы одного двигателя с одним пуском потери составят примерно $1 \cdot 100 / 60 \approx 1.6\%$. Если в производственной линии 10 приводов, то потери на пуск могут составить около 15-16%, что является большой величиной. Применение частотных преобразователей или специальных устройств плавного старта только для пуска/останова является достаточно затратной статьей расходов, сопоставимой с потерями энергии.

В связи с этими оценками актуальной является задача сокращения внезапных неплановых остановов и пусков многодвигательных поточных производственных линий.

Первым шагом для решения этой задачи является статистический анализ реальных остановов на конкретных линиях. Проведенный анализ случайных остановов в течение года на шести линиях предприятия ХХХ (конкретное название предприятия в статье не раскрывается) показал, что количество таких остановов составляет до 3200, а общее время простоя – 108584 минуты (данные взяты за год).

При исследовании надежности линий был в автоматическом режиме проведен полный статистический анализ: построение гистограмм распределения, оценка воспроизводимости, оценка закона распределения (который в большинстве случаев близок к экспоненциальному), выделение дрейфа и его математической модели. На рисунках 4-7 приведены некоторые результаты этого исследования

(экспериментальная гистограмма [по количеству отказов, по времени простоя для одной из поточных линий], пример выделенного линейного тренда.



Рис. 4. Гистограмма распределения по количеству простоев



Рис. 5. Гистограмма распределения по времени простоя

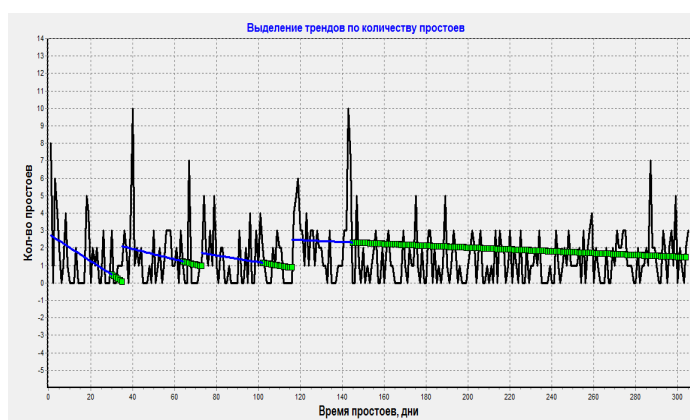


Рис. 6. График выделения трендов для данных по количеству простоев

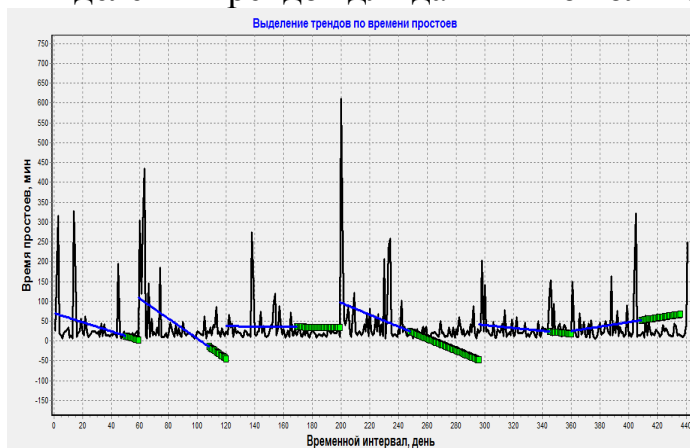


Рис. 7. График выделения трендов для данных по времени простоев

Анализ результатов статистического исследования показал, что общая тенденция дрейфа отказов является случайной, она не содержит в себе классических [6] участков «быстрого падения количества отказов», «плавного медленного роста» и «быстрого роста», что характеризует в основном надежную работу линии, хотя и с большим количеством случайных пусков/остановов, которые и нужно выявлять, и устранять их причины в промышленных условиях, что может привести к значительной экономии электроэнергии – до 20%.

Кроме того, выявленные тренды показывают, что в исследуемом оборудовании есть дополнительные, не случайные, т.е. причинно-обусловленные тренды, причины которых необходимо выявлять и устранять.

Необходимо приведенный статистический анализ делать автоматически, чтобы выявлять специфические зоны эксплуатации поточных линий, что может привести к заметной экономии энергоресурсов.

Вывод

Сокращение потерь производственных ресурсов, в данном случае электроэнергии, одна из актуальных проблем современной промышленности. Решения данной проблемы позволит существенно сократить затраты, обеспечить рациональное использование электроресурсов. Решение поставленной задачи позволит существенно сократить потери электроэнергии при пуске-останове электродвигателей в поточных линиях. Автоматический контроль и анализ работоспособности оборудования позволит выявлять нестабильные участки работы технологической линии, её этапы функционирования, что будет способствовать более качественному выявлению аномальных режимов работы и их устранению и, как результат, значительной экономии энергоресурсов.

Список литературы

1. Денисова Н.В. Основы электроснабжения: программа, методические указания по изучению дисциплины. – К.: Казан. гос. энерг. ун-т, 2012. – 40 с.
2. Жуковский Ю.Л., Сычев Ю.А. Энергосбережение и энерго-эффективность средствами управления объектами энергетики. Определение параметров показателей энергетической эффективности и энергетические балансы: методические указания. – СПб: Национальный минерально-сырьевой университет "Горный", 2015. – 43 с.
3. Щелоков Я.М. Энергетическое обследование: справочное издание: В 2-х томах. Том 2. Электротехника – Екатеринбург, 2011. – 150 с.
4. Сильнов А. Возможности энергосбережения при использовании устройства плавного пуска [Электронный ресурс] // [2017] URL: <https://www.elec.ru/articles/vozmozhnosti-energoberezeniya-pri-ispolzovanii-u>
5. Расчет пускового тока электродвигателя. Пусковые токи асинхронных двигателей. [Электронный ресурс] // [2009] URL: <http://electricremont.ru/raschet-puskovogo-toka-elektrodvigatelya.html>
6. Основные термины и определения понятий в надежности. [Электронный ресурс] // [2016] URL: <https://helpiks.org/6-77519.html>.

Сведения об авторах:

Васильков Юрий Викторович – д.т.н. профессор, действительный член академии проблем качества РФ, ЯГТУ, г.Ярославль;

Фролов Павел Александрович – магистрант ЯГТУ, г.Ярославль;

Сергеев Илья Александрович – магистрант ЯГТУ, г.Ярославль.

ANALYSIS ON THE POSSIBILITY OF SAVING ELECTRICITY ON PRODUCTION LINES***Vasilkov Yu.V., Frolov P.A., Sergeev I.A.***

Keywords: energy saving, reduction of energy losses, energy consumption, manufacture, production line, start/stop equipment, statistical analysis, failure, statistical trends.

Abstract. This article deals with causes of energy losses in industrial enterprise. Necessity for energy consumption reducing in manufacture is identified and substantiated. The conducted statistical analysis demonstrates that unstable area of working production line, specific zones of its exploitation, abnormal modes of operation could be identified. Ultimately, this approach aims at substantial reducing losses of energy.

References

1. Denisova N.V. Fundamentals of electricity: the program, guidelines for the study of the discipline. – K.: Publishing House Of Kazan. state energy. un-ty, 2012. – 40 p.
2. Zhukovsky Yu.L, Sychev Yu.A. Energy saving and energy efficiency by means of energy facilities management. Determination of parameters of energy efficiency indicators and energy balances: guidelines. – St. Petersburg: National mineral resources University "Mining", 2015. – 43 p.
3. Schelokov Ya.M. Energy survey: reference edition: in 2 volumes. Vol. 2. Electrical Engineering. – Ekaterinburg, 2011. – 150 p.
4. Silnov A. power savings when using soft starters [Electronic resource] // [2017] URL: <https://www.elec.ru/articles/vozmozhnosti-energoberezheniya-pri-ispolzovanii-u>
5. Calculation of the starting current of the motor. Starting currents of asynchronous motors. [Electronic resource] // [2009] URL: <http://electricremont.ru/raschet-puskovogo-toka-elektrodvigatelya.html>
6. Basic terms and definitions in reliability. [Electronic resource] // [2016] URL: <https://helpiks.org/6-77519.html>.