

Автоматизированная расчетно-справочная система для повышения эффективности электроснабжения промышленных предприятий

В связи с растущей актуальностью задач модернизации энергоемких производств, повышения энергетической эффективности, внедрения энергоэффективной техники и технологий в системах электроснабжения работа специалистов по энергосбережению усложняется, становится более напряженной и ответственной. Для эффективного решения этих задач и технико-экономической оценки энергосберегающих мероприятий в УО «ГГТУ им. П. О. Сухого» разработаны алгоритмы и комплекс компьютерных программ, которые объединены в автоматизированную расчетно-справочную систему.

Известно, что существенная доля потенциала энергосбережения промышленных предприятий заключается в повышении энергетической эффективности систем их электроснабжения, и эта задача требует серьезного технико-экономического обоснования [1].

В условиях многообразия энергосберегающих мероприятий с одной стороны и изменений режимов работы систем электроснабжения - с другой, решение задач повышения эффективности электроснабжения представляется целесообразным основывать на специализированных программных комплексах, которые позволяют автоматизировать процессы выбора оборудования из различных вариантов, а также рассчитывать энергосберегающий эффект и показатели экономической оценки эффективности затрат.

Принципы построения разработанного программного обеспечения представленной расчетно-справочной системы основаны на создании справочного (база данных по энергоэффективному оборудованию) и расчетного (методы расчетов энергетической и экономической эффективности) блоков, разработке удобного интерфейса и могут быть адаптированы к значительному количеству энергосберегающих мероприятий (рис. 1).

В расчетной части при помощи разработанных алгоритмов происходит обработка данных с последующим выводом информации в табличном, графическом либо текстовом видах. Пользователь,

в частности, может наглядно оценить затраты, а также величину и стоимость сэкономленной электроэнергии за счет конкретного мероприятия.

Справочная часть содержит базы данных по выбору оборудования. Данные представляются в табличном виде с возможностью сортировки и выборки нужных параметров. Программа предусматривает возможность пополнения баз данных об энергосберегающем оборудовании.

The complex of computer programs for improving efficiency of industrial enterprises' electric power supply is considered in this article. It is provided on the base of a comprehensive technical and economic evaluation of energy-saving measures. Developed programs are combined into automatic calculation and reference system.

It is displayed that automation of technical and economic calculation and creation of computer systems should be based on the interaction of multiple interactive applications which consist of calculation and reference blocks.

Система обладает интерактивностью, так как происходит информационный обмен ее элементов.

Интерфейс каждого приложения разработан таким образом, чтобы пользователь, впервые столкнувшись с программой, смог быстро решать поставленные задачи (рис. 2).

На данном этапе разработки система позволяет автоматизировать технико-



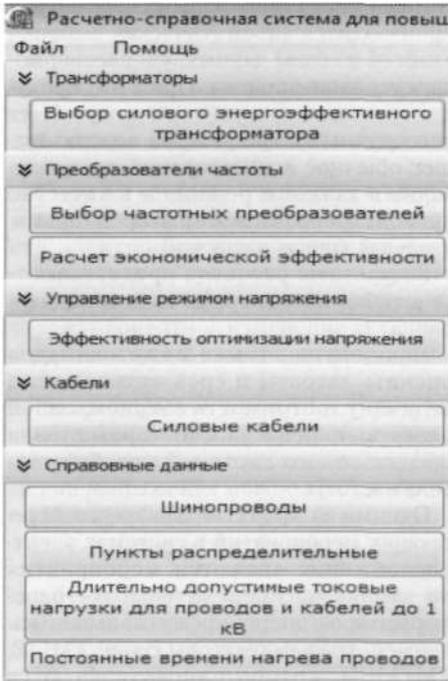


Рис. 2. Фрагмент главного интерфейса системы

экономические расчеты по внедрению энергоэффективных распределительных трансформаторов, частотных электроприводов насосных и вентиляторных агрегатов, устройств управления энергопотреблением и стабилизаторов - регуляторов напряжения в системах электропитания напряжением до 1 кВ, токоведущих элементов в цеховых электрических сетях. Система предусматривает возможность интеграции новых расчетных и справочных блоков по другим направлениям повышения энергоэффективности.

Рассмотрим основные функциональные возможности системы.

Так, для расчета экономии электроэнергии за счет применения преобразователей частоты, оценки их экономической эффективности используется соответствующее приложение системы. Программа опирается на сравнительный анализ наиболее распространенных методов регулирования производительности. Напомним, что таковыми являются частотное и дроссельное регулирование (рис. 3).

В расчетной части приложения реализованы алгоритмы сравнительного анализа дроссельного и частотного регулирования объемного расхода, учитывающие характеристики гидравлической системы и электроприводов агрегатов [2,3].

В справочной части системы имеется база данных основных технических характеристик частотных преобразователей (рис. 4).

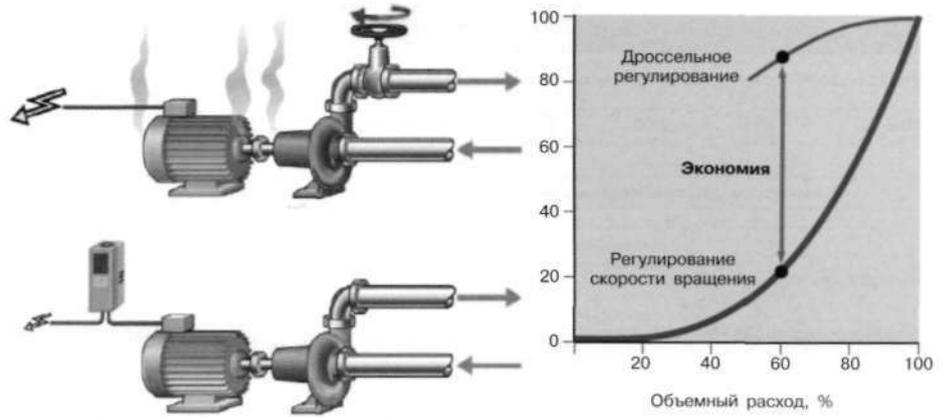


Рис. 3. Принцип энергосбережения при частотном регулировании производительности

Частотные преобразователи

Трехфазное напряжение питания, В: 400

Мощность, кВт: Обычное использование, В тяжелом режиме, Привод насосов и вентиляторов

Тип А	Обычное использование			Использование в тяжелом режиме						Sn	Pn	
	I2hd_4/5 мин	I2hd_max 1/5 мин	I2hd_max 13/15 с	I2hd_4/5 мин	I2hd_max 1/5 мин	I2hd_max 13/15 с	I2hd_max 2/15 с					
ACx 601-0005-3	7,6	8,4	5	3	3	6,2	9,3	6,2	12,4	4	2,2	3
ACx 601-0006-3	11	12	6	4	5	7,6	11	7,6	15,2	5	3	3
ACx 601-0009-3	15	17	9	5,5	7,5	11	17	11	22	6	4	5
ACx 601-0011-3	18	20	11	7,5	10	15	23	15	30	9	5,5	7,5
ACx 601-0016-3	24	26	16	11	15	18	27	18	36	11	7,5	10
ACx 601-0020-3	32	35	20	15	20	24	36	24	48	16	11	15

Рис. 4. Фрагмент базы данных частотных преобразователей

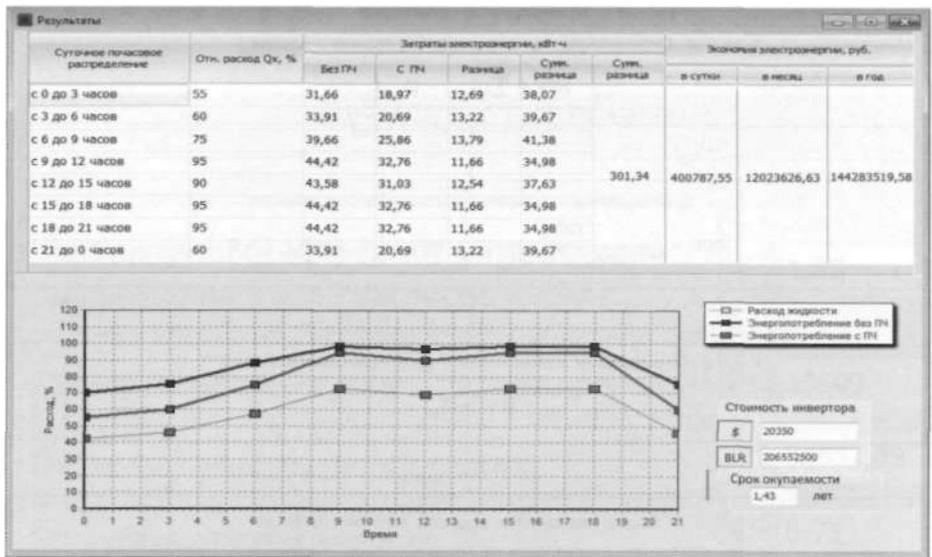


Рис. 5. Результаты расчета экономии электроэнергии при использовании частотного преобразователя

Выбор силовых трансформаторов

Тип трансформатора: ТМГ
 Номинальная мощность, кВА: 1000
 Номинальное напряжение, кВ: Унн-10 / Унн-10

Сравнение приведенной полной стоимости силовых трансформаторов и выбор оптимального из ряда альтернативных

Тип трансформатора	Номен. мощность, кВА	Номинальное напряжение, кВ		Схема и группа соединения обмоток	Потери, Вт			Укз, %		Размеры								
		Унн	Унн		х.х.	к.з.		L	B	H	H1	A	A1	A2	A3	A4		
ТМГ-1000/10-У1	1000	6; 10	0,4	У/Унн-0	1600	10800	5,5	1770	1100	1900	1450	820	820	230	135	135	135	135
ТМГ-1000/10-У1	1000	6; 10	0,4	Д/Унн-11	1600	10800	5,5	1770	1100	1900	1450	820	820	230	135	135	135	135
ТМГ-1000/20-У 2	1000	20	0,4	Д/Унн-11	1600	10800	5,5	1770	1100	1900	1450	820	820	230	135	135	135	135

Рис. 6. Фрагмент базы данных распределительных трансформаторов

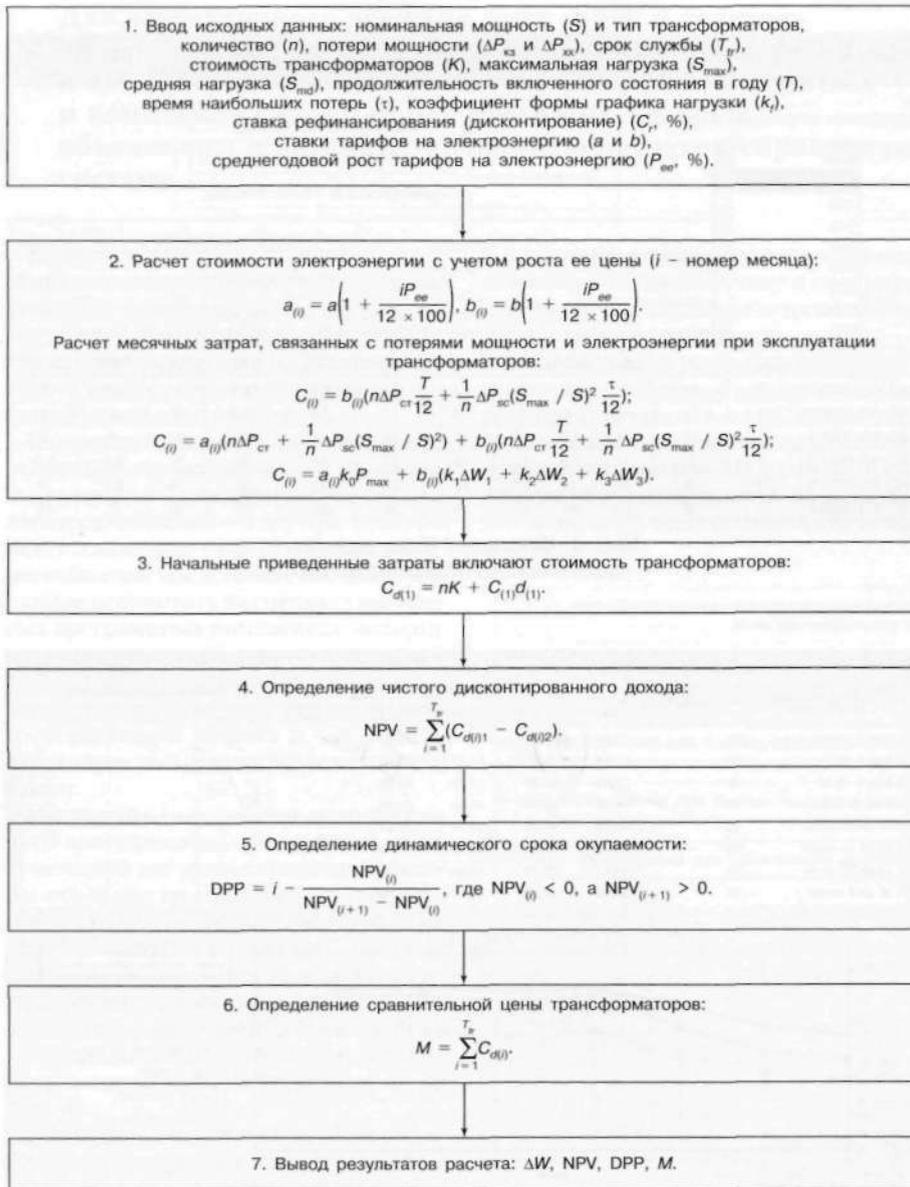


Рис. 7. Алгоритм технико-экономической оценки эффективности распределительных трансформаторов

После ввода необходимых параметров производится автоматическая выборка записей из базы данных, удовлетворяющих условиям поиска. При этом предусмотрено, что регуляторы могут быть рассчитаны на три режима использования: обычное использование, использование в тяжелом режиме и в качестве привода насосов и вентиляторов (прямоугольная кривая нагрузки).

Результаты расчетов представляются в табличном и графическом видах - рис. 5.

Пользователь также может наглядно оценить затраты и срок окупаемости, величину и стоимость сэкономленной электроэнергии за счет применения предлагаемого системой преобразователя частоты.

Одними из эффективных энергосберегающих мероприятий в системах электроснабжения являются мероприятия по замене распределительных трансформаторов энергоэффективными (например, трансформаторы серий ТМГ12, ТМГМШ), которые характеризуются меньшими потерями мощности [4]. Для оценки эффективности таких мероприятий и выбора трансформаторов предусмотрено соответствующее приложение системы (рис. 6).

Справочный блок приложения включает базу данных распределительных трансформаторов производства УП «МЭТЗ им. Козлова». Выборка данных из базы возможна по типу, напряжению и мощности.

В расчетной части приложения реализованы алгоритмы технико-экономических расчетов эффективности в рыночных условиях функционирования [5, 6], учитывающие характеристики трансформаторов, электрической нагрузки потребителя, тарифы и динамику роста цен на электроэнергию (рис. 7).

Функция приложения «Сравнение приведенной полной стоимости силовых трансформаторов и выбор оптимального из ряда альтернативных вариантов» предлагает пользователю альтернативный вариант трансформатора (рис. 8). Поскольку стоимость трансформатора типа ТМГ12 выше, приложение автоматически выполняет обоснование. В результате представляются конкретные значения показателей о целесообразности выбора энергоэффективного трансформатора.

Одна из проблем современного электроснабжения - поддержание оптимального напряжения на выводах электроприемников в цеховых электрических сетях. Решение этой задачи также позволяет получить энергосберегающий эффект [7]. Учитывая, что в последнее время широкое распространение получают универсальные контроллеры электро-

энергии, стабилизаторы-регуляторы напряжения, устройства управления энергопотреблением (автотрансформаторы) и т. п., в системе также предусмотрено соответствующее приложение для оценки эффективности внедрения этих устройств (рис. 9).

Степень влияния отклонения напряжения на изменение активной мощности электроприемников учитывается с помощью регулирующего эффекта по активной мощности α , который показывает процентное изменение активной мощности на 1 % изменения подводимого напряжения.

Таким образом, с учетом структуры электроприемников потребителя уменьшение расхода электроэнергии при снижении напряжения можно приближенно оценить по формуле [8]:

$$\delta W \approx V \sum W_i \alpha_j - \Delta W_p,$$

где V – математическое ожидание отклонения напряжения в узле нагрузки (на зажимах электроприемников);

W_i – фактическое потребление электроэнергии по i -м группам электроприемников, полученное, например, из электрического баланса;

α_j – регулирующий эффект по активной мощности для каждой из групп электроприемников;

ΔW_p – потери электрической энергии в регуляторе (стабилизаторе) напряжения.

В результате программа позволяет выполнить оценку энергосберегающего эффекта с учетом структуры электрического баланса, отклонений напряжения в течение суток, расчетных потерь электроэнергии в регуляторе (стабилизаторе) напряжения (рис. 10).

Немаловажным элементом системы является приложение для выбора сечений проводников в цеховых электрических сетях, основанное на итерационном алгоритме уточнения расчетных электрических нагрузок [9].

Алгоритм также позволяет учесть постоянные времени нагрева (T_0 , мин) токоведущих элементов при определении расчетных электрических нагрузок (рис. 11). Из представленных результатов видно, что в некоторых случаях допустимо уменьшение сечения проводника и, следовательно, затрат на электроснабжение.

Система предусматривает возможность пополнения базы данных о токоведущих элементах электроснабжения, содержащих сведения о сечении проводника, постоянной времени нагрева и длительно допустимом токе.

Представленная разработка направлена на повышение эффективности систем за счет энергосбережения и снижения затрат на электроснабжение.

Выбор оптимального из ряда альтернативных вариантов

1. Выберите трансформатор (нажмите на запись в таблице)

Тип трансформатора	ТМГ11-1000/10-У1(ХЛ1)	Альтернативный вариант ТМГ12-1000/10-У1(ХЛ1)
Мощность, кВт	1000	1000
Потери холостого хода (Рх.х.), Вт	1400	1100
Потери короткого замыкания (Рк.з.), Вт	10800	10500

2. Введите исходные данные

Стоимость трансформатора, млн руб.	110,163	121,158
Тариф на электроэнергию, руб./кВт·ч.		1329,9
Коэффициент загрузки		0,45

Рассчитать

3. Результаты расчета

Годовые потери электроэнергии, кВт·ч	31422,12	28261,95
Годовая экономия электроэнергии, кВт·ч		3160,17
Стоимость сэкономленной электроэнергии, млн руб		4,20
Срок окупаемости разницы в цене, лет		2,62

Рис. 8. Фрагмент работы приложения

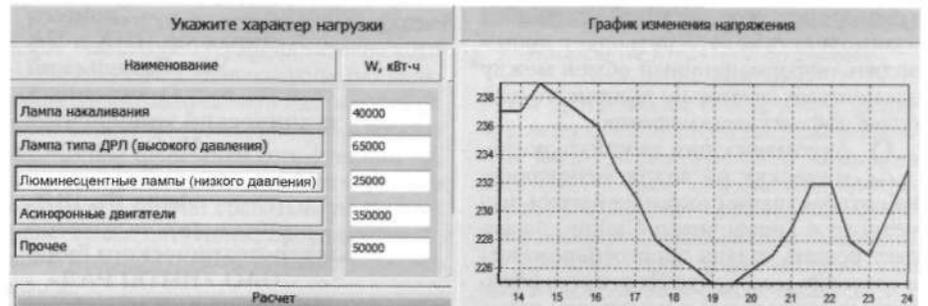


Рис. 9. Некоторые данные для оценки эффективности стабилизации режима напряжения

Результаты расчетов

Регулирующий эффект от оптимизации напряжения в узле нагрузки, %/‰:	1,82
Потери электроэнергии в регуляторе, кВт·ч	10600
Экономия электроэнергии: кВт·ч	35557,09
Экономия электроэнергии, %	6,71

Рис. 10. Результаты расчетов экономии электроэнергии

уточненный расчет сечений

Исходные данные

Марка кабеля: АВВГ Способ прокладки: в трубе

Дополнительная информация

Расчетная нагрузка:
I_p = 152 А

Коэффициент расчетной нагрузки:
K_p = 1,5

Начальная постоянная времени нагрева:
T₀ = 10 мин

Рассчитать сечение проводника

Исходные данные

Расчетная нагрузка (ток), I _p	152	А
Сечение проводника	95	мм ²
Длительно допустимый ток	175	А
Постоянная времени нагрева, T ₀	32	мин
Коэффициент расчетной нагрузки	1,5	
Способ прокладки	в трубе	

Уточненное значение нагрузки

Уточненное сечение проводника	70	мм ²
Длительно допустимый ток	140	А
Постоянная времени нагрева, T ₀	27	мин
Количество итераций	2	

Рис. 11. Фрагмент работы приложения для уточненного расчета сечений проводников

ВЫВОДЫ

1 Создание компьютерных систем для решения задач энергосбережения в системах электроснабжения целесообразно основывать на интерактивных приложениях множественного взаимодействия, что позволяет производить информационный обмен между элементами системы и принимать наиболее эффективные решения.

2 Автоматизация технико-экономических расчетов, основанная на интерактивном взаимодействии расчетного и справочного блоков, позволяет решать задачи энергосбережения в условиях многообразия энергоэффективных технологий и изменений режимов работы систем электроснабжения. Это максимально упрощает процессы разработки и обоснования комплекса

мероприятий по повышению эффективности систем электроснабжения предприятий.

Юрий КОЛЕСНИК,
кандидат технических наук,
доцент,
директор ИПК и ПК
УО «Гомельский
государственный
технический университет
им. П. О. Сухого»,

Анна БЕЛЯЙ,
инженер-конструктор
электротехнического бюро
ОАО «ИНТЕГРАЛ» -
управляющая компания
холдинга «ИНТЕГРАЛ»

ЛИТЕРАТУРА

1. Климова Г. Н., Кабышев А. В. Элементы энергосбережения в электроснабжении промышленных предприятий: учеб. пособие. - Томск: Изд-во ТПУ, 2008. - 186 с.
2. Колесник Ю. Н., Беляй А. Н. Автоматизированная расчетно-справочная система для оценки эффективности и выбора энергосберегающего оборудования // Сборник тезисов МНТК «Машиноведение - 2012». - Гомель, 2012.
3. Бохан А. Н., Колесник Ю. Н. Оптимизация режимов электропотребления насосных агрегатов водопроводно-канализационного хозяйства // Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого. - 2002. - № 2.
4. Стабровский Л. Н. О комплексной финансовой оценке технических характеристик распределительных трансформаторов с точки зрения конечного потребителя // Энергия и менеджмент. - 2005. - № 3.
5. Колесник Ю. Н., Кузнецов М. Н., Савочкина В. В. Многофакторная оценка эффективности распределительных трансформаторов в условиях роста цен на электроэнергию // Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого. - 2010. - № 3.
6. Колесник Ю., Иванейчик А., Кузнецов М. Оценка эффективности долгосрочных энергосберегающих мероприятий с учетом роста цен на электроэнергию // Энергетика и ТЭК. - 2008. - № 11.
7. Панов В. Понижение с повышением // Промышленная безопасность. - 2008. - № 4.
8. Колесник Ю., Прохоренко С, Ведерников С. Эффективность регулирования напряжения в электрических сетях высших учебных заведений // Энергетика и ТЭК. - 2011. - № 1.
9. Колесник Ю., Прохоренко С, Харкевич А. Учет влияния постоянной времени нагрева на выбор проводников в цеховых электросетях // Энергетика и ТЭК. - 2010. - № 2.