

**Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ
ИМЕНИ ГУМАРБЕКА ДАУКЕЕВА»**

Кафедра «Тепловые энергетические установки»
Специальность 6М071700 - Теплоэнергетика

Допущен к защите
Зав. кафедрой ТЭУ _____ А.А.Кибарин

« ____ » _____ 20__ г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема: Разработка мероприятий по повышению энергоэффективности нагнетателей АО «АлЭС» ТЭЦ-2 с расчетными приложениями.

Магистрант _____ Каирлин Э. М. _____
подпись (Ф.И.О.)

Руководитель диссертации _____
подпись (Ф.И.О.)

Рецензент _____
подпись (Ф.И.О.)

Алматы, 2020г.

**Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ
ИМЕНИ ГУМАРБЕКА ДАУЖЕЕВА»**

Факультет _____ Офис программ докторантуры и магистратуры _____
Специальность _____ 6M071700 - Теплоэнергетика _____
Кафедра _____ «Тепловые электрические станции» _____

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

Магистранту _____ Каирлину Әділ Мұратбекұлы _____
(фамилия, имя, отчество)

Тема диссертации: Разработка мероприятий по повышению энергоэффективности нагнетателей АО «АлЭС» ТЭЦ-2 с расчетными приложениями.

утверждена Ученым советом университета №122 от « 25» октября 2019г.
Срок сдачи законченной диссертации

« ____ » _____

Цель исследования: оценка возможностей и применение современных вычислительных технологий для расчета снижения энергопотребления насосами, воздуходувками и компрессорами на АО «АлЭС» ТЭЦ-2.

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов или краткое содержание магистерской диссертации:

Анализ состояния нагнетателей АО «АлЭС» ТЭЦ-2; рассмотрение турецкого опыта внедрения ЧРП на вентиляторах ТЭС; составление алгоритмов и использование расчетных приложений для выявления потенциала энергосбережения; оценка экономических и экологических показателей

Рекомендуемая основная литература

Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках. - М.: Энергоатомиздат, 2006

Increasing energy efficiency of fans in thermal power plants. Energy efficiency services for power plants // Сименс Турция. 2017. URL:

<https://www.siemens.com.tr/i/Assets/enerji-verimliligi/docs/increasing-energy-efficiency-of-fans-in-thermal-energy-plants.pdf> (дата обращения 06.04.2020)

Г Р А Ф И К
подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Библиографический поиск	01.09-20.11	
Разбор технических данных ТЭЦ-2	20.11-30.11	
Работа над приложением	13.01-10.02	
Поиск аналогов созданному приложению	10.02-07.03	
Работа с новыми приложениями	07.03-20.03	
Поиск вспомогательных данных (характеристики нагнетателей)	20.03-05.04	
Расчет экономических и экологических характеристик	05.04-18.04	
Написание диссертации	11.05-06.06	

Дата выдачи задания 01.09.2019

Заведующий кафедрой _____ (_____)
(подпись) (Ф.И.О.)

Руководитель диссертации _____ (_____)
(подпись) (Ф.И.О.)

Задание принял к исполнению магистрант _____ (_____)
(подпись) (Ф.И.О.)

Аннотация

В магистерской диссертации разработаны мероприятия по внедрению частотно-регулируемого привода нагнетателям АО «АлЭС» ТЭЦ-2 путем использования расчетных приложений. Произведен анализ состояния насосов, тяго-дутьевых механизмов и компрессоров за 5 лет. Рассмотрен турецкий опыт работы с применением ЧРП для вентиляторов первичного воздуха. Расчеты потребления и экономии энергии насосами, дымососом и компрессором ТЭЦ-2, а также их окупаемости и количества выбросов выполнены в таких приложениях, как EneSaveCalc, WEG Energy Saving Estimator и ABB EnergySave Calculator. Предложен вариант применения фильтра гашения пульсаций для компрессора ВПЗ-20/8 с помощью Parker Energy Saving Calculator. Выдвинута идея дооснащения робота Crawl для создания мини-модели циркуляционного насоса ТЭЦ.

Abstract

In the master's thesis, measures were developed for introducing a frequency-controlled drive to the pumps, fans and compressors of JSC "AIES" TPP-2 through the use of calculation applications. The condition analysis of pumps, draft-blowing mechanisms and compressors for 5 years is performed. The Turkish experience with the application of VFD for primary air fans is considered. Calculations of energy consumption and energy saving by pumps, ID fan and compressor of TPP-2, as well as their payback and emissions were made in applications such as EneSaveCalc, WEG Energy Saving Estimator and ABB EnergySave Calculator. An application of the pulsation damping filter for the VPZ-20/8 compressor using the Parker Energy Saving Calculator is proposed. The idea of retrofitting the Crawl robot to create a mini-model of the CHP circulation pump was put forward.

Аннотация

Магистрлік диссертацияда есептік қосымшаларды қолдану арқылы "АлЭС" АҚ ЖЭО-2 сығымдағыштарына жиіліктік-реттелетін жетекті енгізу бойынша іс-шаралар әзірленді. Сорғылардың, тартқыш механизмдер мен компрессорлардың 5 жыл ішіндегі жағдайына талдау жүргізілді. Бастапқы ауа желдеткіштері үшін ЖРЖ қолданумен түрік тәжірибесі қарастырылды. ЖЭО-2 сорғылары, түтін сорғыштары және компрессоры, сондай-ақ олардың өтелімділігі мен шығарындыларының мөлшерін есептеу EneSaveCalc, WEG Energy Saving Estimator және ABB EnergySave Calculator сияқты қосымшаларда орындалған. Parker Energy Saving Calculator көмегімен ВПЗ-20/8 компрессоры үшін пульсацияны сөндіру сүзгісін қолдану нұсқасы ұсынылған. ЖЭО циркуляциялық сорғысының шағын моделін жасау үшін Crawl роботын толық жабдықтау идеясы ұсынылды.

Содержание

Введение.....	7
Глава 1 Анализ состояния нагнетателей АО «АлЭС»ТЭЦ-2.....	9
1.1 Характеристика паровых турбин и вспомогательного оборудования.....	
1.2 Характеристика паровых котлов и вспомогательного оборудования.....	12
1.3 Расход электрической энергии на собственные нужды котельного цеха	15
1.4 Расход электрической энергии на собственные нужды турбинного цеха	18
1.5 Потребление сжатого воздуха ТЭЦ-2	19
1.6 Тепловая и электрическая нагрузка ТЭЦ-2.....	20
Глава 2 Пример компании Сименс в Турции при расчете энергоэффективности внедрения ЧРП на ВПВ.....	21
2.1 Применение привода с регулируемой скоростью в вентиляторах первичного воздуха.....	
2.2 ТЭО турецкого проекта Сименс.....	23
2.3Проверка ТЭО после реализации.....	25
Глава 3 Насосы.....	26
3.1 Определение характеристик насоса	
3.2 Энергопотребление насоса	27
3.3 Прогнозируемая экономия энергии	28
Глава 4 Вентиляторы и компрессоры.....	32
4.1 Энергоэффективность в вентиляторах.....	
4.2 Выходная и входная демпферы (заслонки).....	
4.3 Регулировка скорости вентилятора.....	
4.4 Потенциал применения частотно-регулируемых приводов на вентиляторах и компрессорах.....	
4.5 Законы сходства.....	33
4.6 Расчет потребляемой мощности вентилятора и компрессора....	34
4.7 Определение расхода.....	35
4.8 Фильтр гашения пульсаций в компрессоре.....	36
Глава 5 Работа с расчетными приложениями.....	37
5.1 Обзор возможностей WEG Energy Saving Estimator.....	
5. 2 EneSaveCalc.....	51
5.3 Знакомство с ABB EnergySave Calculator.....	
5. 4 Работа с Parker Energy Saving Calculator.....	56
5.5 Роботы Crawl, Trial.....	59
Глава 6 Результаты расчетов программных приложений.....	62
6.1 Результаты насосов EneSaveCalc.....	
6.2 Результаты применения WEG на дымососе ТЭЦ-2.....	63
6.3 Результаты применения ABB на компрессоре ТЭЦ-2.....	

Глава 7 Экономические и экологические эффекты.....	64
7.1 Окупаемость частотно-регулируемого электропривода и снижение выбросов в насосах турбинного и котельного цехов.....	
7.2 Окупаемости и снижение выбросов остальными программами....	65
Заключение.....	66
Список использованной литературы.....	68
Приложение А.....	70
Приложение Б.....	74
Приложение В.....	77
Приложение Г.....	82
Приложение Д.....	84

Введение

Энергоэффективность, являющаяся «первичным топливом» разработчиков энергетической политики и правительств, является наиболее важным инструментом политики, который способен помочь в удовлетворении растущих потребностей в энергии за счет использования чистой и доступной энергии, в повышении конкурентоспособности, создании рабочих мест, обеспечении безопасной энергии, снижении бедности и распространении выгод. Энергоэффективность – беспроблемный вариант, поскольку экономия и рациональное потребление энергии может дать положительные результаты для всех заинтересованных сторон, включая правительства, регионы, города, потребителей энергии и окружающую среду.

В последние несколько лет Казахстан уделяет все больше внимания вопросу энергоэффективности и энергосбережения, что было включено в число важнейших национальных приоритетов с принятием обязательств по сокращению потребления и достижению экономии. Действия, которые были предприняты, достаточно своевременны для решения проблемы значительной нехватки энергии, ведущей к замедлению темпов роста, для повышения конкурентоспособности промышленного сектора и смягчения последствий быстрого роста внутренних цен на энергию.

Республика Казахстан, в экономике которой значительную роль играет энергетический сектор, приспосабливается к резким падениям цен на нефть, произошедшим в 2012 году и приведшему к снижению торговли и экспорта страны, и проходит процесс экономической диверсификации в сторону устойчивой, зеленой экономики, предусматривающий снижение энергоемкости и ВВП страны на 50% к середине XXI века. На этом фоне, политика повышения энергоэффективности и энергосбережения является важнейшим инструментом, который способствует решению проблемы дефицита энергии, замедляющая рост, в повышении конкурентоспособности промышленности и смягчении последствий быстрого роста внутренних цен на энергоносители [1].

Учитывая огромный потенциал для повышения энергоэффективности, энергосбережение отнесено к одному из стратегических задач государства. Технический потенциал энергосбережения в РК оценивается на уровне 28% от общего объема потребления первичных энергетических ресурсов или более 17 млн. т.н.э.

В то же время, в условиях Казахстана экономически оправданной будет реализация только части этого потенциала порядка 19% от общего объема потребления первичных энергетических ресурсов или порядка 12 млн.т.н.э. Необходимый объем инвестиций на реализацию экономического потенциала – 4 млрд. долл. США.

Поскольку почти 20% существующих мощностей для выработки электроэнергии в Казахстане были введены в эксплуатацию до 1970-х годов, в стране имеется возможность (в тех случаях, когда это представляется

целесообразным с практической и экономической точек зрения) перейти от повсеместного использования твердого топлива (доля которого составляет приблизительно 70%) в качестве топлива для электростанций, к более диверсифицированной схеме, основанной на более широком применении газа, возобновляемых источников и атомной энергии.

Однако, с учетом наличия в Казахстане большого количества доступного угля и комплекса крупных угольных электростанций, в течение следующих двух десятилетий предполагается, что страна в значительной степени будет полагаться на уголь, хотя со временем доля угольного топлива для выработки электроэнергии, скорее всего, будет постепенно снижаться.

«В перспективе до 2030 года основным источником спроса на энергетический уголь останется внутренняя угольная генерация Республики Казахстан. С учетом планов по вводу и выбытию генерирующих мощностей потребность в угле продолжит расти: к 2030 году мощность новых угольных электростанций составит 20% от совокупной установленной мощности, при этом доля старых сократится с текущих 60% до 39%. Общая потребность в энергетическом угле для генерации тепла и электроэнергии в Казахстане вырастет к 2030 году с текущих 53 до 76 млн. тонн, то есть на 50%.» [2]

Это означает, что на ТЭС затраты на собственные нужды превышают текущие нормы на несколько процентов.

Цель исследования – оценка возможностей и применение современных вычислительных технологий для расчета снижения энергопотребления насосами, воздуходувками и компрессорами на АО «АлЭС» ТЭЦ-2.

Актуальность – превышение норм потребления энергии на собственные нужды на ТЭЦ-2.

Новизна – использование различных программных продуктов, в том числе созданных, в целях выявления потенциала энергосбережения насосов, воздуходувок и компрессоров ТЭЦ-2

Чтобы достичь поставленной цели, необходимо выполнить следующие задачи:

1. Провести анализ систем, технических данных насосов, воздуходувок и компрессоров АО «АлЭС» ТЭЦ 2.

2. Рассмотреть опыт стран дальнего зарубежья по внедрению энергосберегающих технологий, современные методов регулирования приводов нагнетателей ТЭС.

3. Доработать созданное в дипломном проекте приложение.

4. Изучить современные программные продукты энергосбережения нагнетателей, составить к ним алгоритмы выполнения расчетов.

5. Применить приложения для расчетов потенциала энергосбережения

6. Определить экономические и экологические эффекты внедрения энергосберегающих технологий.

7. Сделать выводы по проделанной работе

Глава 1 Анализ состояния нагнетателей АО «АлЭС»ТЭЦ

1.1 Характеристика паровых турбин и вспомогательного оборудования

Характеристики паровых турбин ТЭЦ-2 АО «АлЭС» приведены в таблице 1.1.

Год ввода турбин 1980-1989 гг. Суммарная номинальная электрическая мощность турбоагрегатов составляет 510 МВт. Максимальная тепловая нагрузка составляет 767 Гкал/ч.

Турбина Р-50-130 из-за отсутствия нагрузки по технологическому пару практически не работает.

Турбина ПТ-80/100-130/13 с двумя регулируемыми отборами пара – производственным и 2-х ступенчатым теплофикационным отбором, Номинальная мощность 80 МВт с номинальным расходом свежего пара 470 т/ч имеет теплофикационный отбор 68/100 Гкал/ч и производственный отбор 185/250 т/ч.

Турбина конденсационная Т-110/120-130-5 с номинальным расходом свежего пара 480 т/ч имеет номинальный теплофикационный отбор 175 Гкал/ч, максимальный – 184 Гкал/ч. При ступенчатом подогреве сетевой воды паром двух отопительных отборов регулирование поддерживает заданную температуру сетевой воды за верхним сетевым подогревателем. Абсолютное давление в регулируемых отборах может изменяться в следующих пределах:

- в верхнем 0,059-0,245 МПа при включенных обоих отопительных отборах;

- в нижнем 0,049-0,196 МПа при выключенном верхнем отопительном отборе.

Максимальная мощность турбины 120 МВт достигается при отсутствии нерегулируемых отборов сверх отборов на регенерацию:

- при величинах отопительных отборов, определяемых по диаграмме режимов;

- на конденсационном режиме.

Встроенные пучки конденсаторов турбин ПТ-80 и Т-110 имеют максимальную тепловую нагрузку до 30 Гкал/час.

Установленные на ТЭЦ-2 турбины стандартно комплектуются теплообменным оборудованием, в число которых входят подогреватели сетевой воды (ПСГ-1, ПСГ-2). Кроме этого на ТЭЦ-2 установлены общестанционные подогреватели ПСВ. Характеристика сетевых подогревателей теплофикационной установки представлена в таблице 1.2, а характеристика насосов теплофикационной установки в таблицах 1.3 и 1.4.

Таблица 1.1- Характеристика турбоагрегатов ТЭЦ-2

№	Тип	Год ввода	Завод	Мощность		Параметры пара		Расход пара, т/ч	
				ном	макс	Р _{о,ата}	Т _{о,С}	ном	макс
1	ПТ-80	1980	ЛМЗ	80	100	130	555	470	470
2	ПТ-80	1981	ЛМЗ	80	100	130	555	470	470
3	ПТ-80	1982	ЛМЗ	80	100	130	555	470	470
4	Р-50	1986	ЛМЗ	50	60	130	565	385	430
5	Т-110	1988	УТМЗ	110	120	130	555	480	485
6	Т-110	1989	УТМЗ	110	120	130	555	480	485

Таблица 1.2 - Характеристика сетевых подогревателей теплофикационной установки

Бойлерная группа	Тип	Кол-во	ст.№	G _{св} ,т/ч
ПТ-80 т/а ст.№1	ПСГ-1300-3-8	2		2500
ПТ-80 т/а ст.№2	ПСГ-1300-3-8	2		2500
ПТ-80 т/а ст.№3	ПСГ-1300-3-8	2		2500
	ПСВ-500-14-23	1	1	1500
	ПСВ-500-14-23	1	2	1500
	ПСВ-500-14-23	2	3-4	1500
Р-50 т/а ст.№4	ПСВ-500-14-23	4	5-8	1500
Т-110 т/а ст.№5	ПСГ-2300-3-8	2		3500
Т-110 т/а ст.№6	ПСГ-2300-3-8	2		3500
3	ПСВ-500-14-25	6	9-14	1500

Таблица 1.3 - Насосы теплофикационной установки

Тип насоса	Кол-во	ст.№	G _{св} ,т/ч	Напор,м	Примечание
300Д-90	5	1-5	1250	65	1 очередь
300Д-90	6	6-11	1250	65	2 очередь
300Д-63	3	12-14	1300	65	3 очередь
СЭ-1250-70	4	1-4	1250	70	1 очередь

Тип насоса	Кол-во	ст.№	$G_{св}, т/ч$	Напор, м	Примечание
СЭ-1250-140	4	1-4	1250	140	1 очередь
СЭ-2500-180	4	5-8	2500	180	2 очередь
СЭ-2500-180	4	5-8	2500	180	2 очередь
700Д62	4	5--8	2500	70	3 очередь
900Д80Н	4	9--12	3000	180	3 очередь

Таблица 1.4 – Конденсатные насосы теплофикационной установки

Тип насоса	Количество	$G_{св}, т/ч$	Напор, м	Место установки
Кс 80-155	4	80	155	т/а ст. № 1
Кс 80-155	4	80	155	т/а ст. № 2
Кс 80-155	4	80	155	т/а ст. № 3
КсВ 320-160	4	320	160	т/а ст, № 5
КсВ 320-160	4	320	160	т/а ст. № 6
КсВ 320-160	3	320	160	ПБ ст. № 5-8
АКСВ 320-160	3	320	160	ПБ ст. № 9-14
АКСВ 125-140	2	125	140	ПБ ст. №9-14

Характеристики конденсаторов турбин и циркуляционных насосов представлены в таблицах 1.5 и 1.6.

Таблица 1.5 - Характеристика конденсаторов

№	Тип	Расход пара	Поверхность	Расход воды
		D _к , т/ч	F _п , м ²	W, м ³ /ч
1	80КЦС	220	2345	6250
2	80КЦС	220	2345	6250
3	80КЦС	220	2345	6250
4	КГ2	398	5260	13500
5	6200	398	5260	13500

Таблица 1.6 - Характеристика циркуляционных насосов

№	Тип	Кол-во	Подача	Напор
		шт	м ³ /ч	м
1	Д6300	2	6300	27
2	Д6300	2	6300	27
3	Д6300	2	6300	27
4	Д6300	2	6300	27
5	Д6300	2	6300	27

1.2 Характеристика паровых котлов и вспомогательного оборудования

Котел БКЗ-420-140-7с Барнаульского котельного завода, с естественной циркуляцией предназначен для сжигания каменных углей в пылевидном состоянии с сухим шлакоудалением.

Характеристики топлива: Проектное топливо - Карагандинский промпродукт: $Q_H^P=3\ 880$ ккал/кг, $A^P=38,7\%$, $W^P=10\%$, расход 72,5 т/ч. Фактическое топливо - Экибастузский уголь: $Q_H^P=4000-4200$ ккал/кг, $A^P=40,0\%$, $W^P=5\%$.

Характеристики котельных агрегатов представлены в таблице 1.7, а характеристики топлива в таблице 1.8.

Таблица 1.7 - Характеристика котельных агрегатов

№	Тип	Год ввод	Завод	Пр-ть	Параметры пара	
				Дк,т/ч	Ро, ата	То,°С
1	БКЗ-420	1980	БКЗ	420	140	560
2	БКЗ-420	1981	БКЗ	420	140	560
3	БКЗ-420	1983	БКЗ	420	140	560
4	БКЗ-420	1984	БКЗ	420	140	560
5	БКЗ-420	1985	БКЗ	420	140	560
6	БКЗ-420	1987	БКЗ	420	140	560
7	БКЗ-420	1988	БКЗ	420	140	560
8	ПК-100	2016	БКЗ	420	140	560

Таблица 1.8 - Характеристика топлива для котельных агрегатов

Марка	Q _{н^р} , ккал/к г	A ^р , %	W ^р , %	S ^р , %	V ^г , %	В _к , т/ч	Марка	Q _{н^р} , ккал/к г	A ^р , %	W ^р , %	S ^р , %	V ^г , %	В _к , т/ч
Карагандинский промпродукт	3880	38,7	10	0,9	30	72,5	Экибастузский уголь, марки КСН	4100	40,8	5	0,7	24	72,5

Каждый котел оборудован 4-мя системами пылеприготовления прямого вдувания с молотковыми мельницами ММТ-2000/2590/730. Подача топлива в мельницы осуществляется скребковыми и шнековыми питателями сырого угля. Подача горячего воздуха на сушку топлива и транспорт угольной пыли к горелкам осуществляется вентиляторами горячего дутья (ВГД) типа ВГДН-15, установленными по одному для каждой мельницы.

Для подачи общего воздуха на котел установлено 2 дутьевых вентилятора (ДВ) типа ДН-26. Для удаления дымовых газов установлено 2 дымососа ДН-26*2-0,62.

Котлоагрегат типа ПК-100 (Е-420-13,8-560 КТ) барабанный, вертикально- водотрубный с естественной циркуляцией, газоплотный, предназначен для получения перегретого пара при сжигании углей Экибастузского месторождения. Растопочным топливом является мазут марки М-100.

В случае котла ПК-100 по газовому тракту расположены эмульгаторы и основные дымососы котла. Охлажденные дымовые газы основными дымососами направляются в дымовую трубу. Подача воздуха, необходимого для горения, осуществляется дутьевыми вентиляторами. Подача воздуха, необходимого для сушки и транспортировки пылевидного топлива к горелкам, осуществляется вентиляторами горячего дутья.

Основные технические характеристики ТДМ котлов БКЗ-420 даны в таблице 1.9.

Таблица 1.9 -Характеристика ТДМ КА ст.№1-7

Наименование характеристики	Единица измерения	Дымосос	Дутьевой вентилятор	Вентилятор горячего дутья
Тип	-	ДН-26х2-0,26	ДН-26	ВГДН-15
Производительность	тыс.м ³ /час	477/382	267/214	75
Напор	мм вод. ст.	461/295	447/285	356
Мощность электродвигателя	кВт	749/383	403/206	200
Число оборотов электродвигателя	об/мин	750/600	750/600	1500
Напряжение	В	6000	6000	400
Максимальный КПД	%	84	82	82

Состав тяго-дутьевых механизмов (ТДМ) и вспомогательного оборудования котла Е-420-13,8-560 КТ (ПК-100) ст. №8 приведен в таблице 1.10.

Таблица 1.10 - Характеристики вспомогательного оборудования ПК-100

№	Наименование	Тип	Кол -во	Основные характеристики
1	Дымосос	ДН-26х2-0,62(К)	2	Производительность - 467000 м3/ч Напор - 4334 Па Максимальный КПД - 85% Потребляемая мощн. - 1000/500 КВт. Частота вращения - 750/600 об/мин. Напряжение - 6000 В
2	Дутьевой вентилятор	ВДН-27ФК	2	Производительность - 282000 м3/ч Напор - 4800 Па Максимальный КПД - 84% Потребляемая мощность - 630/400 КВт Частота вращения - 750/600 об/мин Напряжение - 6000 В
3	Вентилятор горячего дутья	ВГД-17	4	Производительность - 114000 м3/ч Напор - 5080 Па Максимальный КПД - 85% Потребляемая мощность - 250 КВт Частота вращения - 1500 об/мин Напряжение - 6000 В
4	Мельница молотковая	ММТ 2000/2590/750К	4	Производительность - 16,3-23,3 т/ч Расход суш. агента - 37600- 45000 м3/ч Потребляемая мощность - 1000 КВт Частота вращения - 750 об/мин Напряжение - 6000 В
5	Питатель сырого угля	ПШВ-30-500х3900	4	Производительность по углю – 30 т/ч Частота вращения - 1470 - 9,6 об/мин Потребляемая мощность - 15 КВт Напряжение - 380 В
6	Вентилятор уплотнения мельниц	ТВ-80-1.6-01.УЗ	2	Производительность - 6000 м3/ч Напор - 1,63 кгс/см2 Температура воздуха на выходе - 85°С Частота вращения - 3000 об/мин Потребляемая мощность - 160 КВт Напряжение - 380 В

1.3 Расход электрической энергии на собственные нужды котельного цеха

Котельная установка. В перечень элементов расхода электроэнергии на собственные нужды (СН) входят электродвигатели: механизмов по размолу

угля (мельниц, мельниц-вентиляторов); механизмов по подаче топлива (мельничных вентиляторов, мазутных насосов); тягодутьевых установок (дымососов, вентиляторов, дымососов рециркуляции, мельничных вентиляторов, вентиляторов первичного воздуха); питательных и бустерных насосов, насосов рециркуляции газов, золо- и шлакоудаления; насосов установок по химической очистке и химическому обессоливаю воды (пропорционально добавке воды, восполняющей внутростанционные потери пара и конденсата), дренажных насосов, насосов технического и пожарного водоснабжения.

Разгрузка и хранение топлива. В перечень элементов расхода электроэнергии на СН входят электродвигатели механизмов разгрузочных устройств ТЭС и склады топлива (вагоноопрокидывателей, кранов, скреперов, размораживающих устройств, конвейеров).

Топливоподача и топливоприготовление. В перечень элементов расхода электроэнергии на СН входят электродвигатели: механизмов по подаче и дроблению топлива (лебедок, транспортеров, конвейеров, дробилок); мазутных насосов или агрегатов мазутонасосной.

В таблицах 1.11 и 1.12 представлены исходно-нормативные показатели потребления электроэнергии системами пылеприготовления и тягодутьевыми механизмами котельных агрегатов ст.№1-8.

Таблица 1.11 – Исходно-нормативное потребление электроэнергии на пылеприготовление котельных агрегатов ст.№1-7

№ п/п	Наименование величин	Обозна- чение	Значение показателей				
1	Паропроизводительность, т/ч	D_k	260	300	340	380	420
2	Теплопроизводительность котла, Гкал/ч	$Q_{бр}^k$	152,6	176	199,5	223	246,4
3	КПД котла «брутто», %	$\eta_{бр}^k$	87,02	87,5	87,52	87,11	86,29
4	Расход топлива при $Q_H^P=4000$ ккал/кг, тнт/ч	$B_{нат}$	43,83	50,29	56,98	63,99	71,4
5	Мощность потребляемая мельницами, кВт	$N_{мм}$	950	990	1084	1227	1343
6	Мощность потребляемая вентиляторами уплотняющего воздуха мельниц, кВт	$N_{мв}$	80	80	80	80	80

№ п/п	Наименование величин	Обозна- чение	Значение показателей				
			29	31	35	38	39
7	Расход электроэнергии на пневмотранспорт, кВт	$N_{пт}$	29	31	35	38	39
8	Расход электроэнергии на пылеприготовление, кВт	$N_{пп}$	1059	1101	1199	1345	1462
9	Удельный расход электроэнергии, на пылеприготовление, кВт/тнт	$\mathcal{E}_{пп}$	24,17	21,89	21,04	21,02	20,48

Таблица 1.12 – Исходно-нормативное потребление электроэнергии на тягу и дутье котельных агрегатов ст.№1-7[3]

№ п/п	Наименование величин	Обозна- чение	Значение показателей				
			260	300	340	380	420
1	Паропроизводительность, т/ч	D_k	260	300	340	380	420
2	Теплопроизводительность котла, Гкал/ч	$Q_{бр}^k$	152,6	176	199,5	223	246,4
3	Расход электроэнергии на привод вентиляторов горячего дутья, кВтч	$\mathcal{E}_{вгд}$	238,4	254,5	271	301,8	329,2
4	Расход электроэнергии на привод дымососов, кВтч	$\mathcal{E}_д$	872	883	904	1146	1146
5	Расход электроэнергии на привод дутьевых вентиляторов, кВтч	$\mathcal{E}_{дв}$	760,8	739,1	781,2	909,5	922,9
6	Удельный расход электроэнергии на привод дымососов и дутьевых вентиляторов, кВтч/Гкал	$\mathcal{E}_{т-д}$	10,7	9,21	8,45	9,22	8,4
7	Дополнительный расход электроэнергии на дутье, кВтч	$\mathcal{E}_д$	229,4	225,9	240,6	267,9	292,2
8	Суммарный расход электроэнергии на тягу и	$\mathcal{E}_{сум}$	1862,1	1848	1925,8	2323,4	2361,1

№ п/п	Наименование величин	Обозначение	Значение показателей				
	дутье, кВтч						
9	Суммарный удельный расход электроэнергии на тягу и дутье, кВтч/Гкал	$\text{Э}_{\text{тд}}$	12,21	10,5	9,65	10,42	9,58

1.4 Расход электрической энергии на собственные нужды турбинного цеха

В перечень элементов расхода электроэнергии на СН турбогенераторов ТЭС входят электродвигатели: циркуляционных насосов и вентиляторов градирен; конденсатных насосов водяных эжекторов турбин, дренажных насосов регенеративных подогревателей, насосов установок по очистке основного конденсата турбин; масляных насосов систем смазки и регулирования, перекачивающих и дренажных насосов, насосов подкачки воды в систему циркуляционного водоснабжения.

В таблице 1.13 представлены исходно-нормативные показатели потребления электроэнергии турбин №1-6.

Таблица 1.13 – Исходно-нормативные показатели потребления электроэнергии турбин №1-6 [3]

показатель	обозн		2014	2015	2016	2017	2018
Расход электрической энергии на собственные нужды $\text{Э}_{\text{тсн}}$	%	норма	2,7887	2,843 1	2,811 4	2,829 1	2,664 4
	%	факт	1,7177	2,003 9	1,946 5	2,255 5	1,897 4
	тыс.кВт*ч	норма	72594	72379	74003	75531	71477
	тыс.кВт*ч	факт	44714	51015	51237	60218	50903
в том числе на цирк. насосы	тыс.кВт*ч		19493	20431	17756	17088	19202
$\text{Э}_{\text{цн}}$	%		1,8886	2,119 5	1,696 9	1,552 3	1,887 7

1.5 Потребление сжатого воздуха ТЭЦ-2 АО «АлЭС»

Система выработки и подачи сжатого воздуха на объекты предприятия осуществляется ТЭЦ-2 самостоятельно. Сжатый воздух вырабатывается ТЭЦ-2 компрессорными установками и является продукцией, используемой для производства ремонтных работ.

Таблица 1.14 - Основные технические характеристики компрессорных установок ТЭЦ-2

№	Марка	Тип двигателя	Мощность, кВт	Напряжение, В	Давление, кгс/см ²	Производительность, м ³ /ч	Завод изготовитель
1	ВПЗ-20/8	Синхронный	132	380	8	20	Краснодарский компрессорный завод
2	ВПЗ-20/8	Синхронный	132	380	8	20	Краснодарский компрессорный завод
3	ВПЗ-20/8	Асинхронный	132	380	8	20	Краснодарский компрессорный завод

Протяженность трубопроводов сжатого воздуха составляет - 2,0 км.

Система воздуховоснабжения объектов обследования направлено на технологические и промышленные комплексы (главный корпус, химцеха, топливо-транспортный цех, электрический цех и др.). Потребление сжатого воздуха осуществляется на проведение ремонтных работ.

Установленная электрическая мощность ТЭЦ-2 на компрессорные установки составляет - 396 кВт.

Производительность сжатого воздуха ТЭЦ-2 компрессорными установками составляет - 60 м³/ч.

Число часов работы компрессорных установок составляет порядка 2000-4000 часов в год. Выработка на собственные нужды сжатого воздуха составляет порядка 75-90 тыс.м³.

В состав оборудования, потребляющего сжатый воздух, входят:

- котлоагрегаты;
- турбоагрегаты;
- насосное оборудование химцеха;
- двигатели механизмов ТТЦ;
- генераторы и электродвигатели ЭЦ;
- прочее.

Учет отпускаемого на ремонтные работы сжатого воздуха не производится, приборы учета отсутствуют [3].

1.6 Тепловая и электрическая нагрузка ТЭЦ-2

В таблицах 1.15 и 1.16 приведена тепловая и электрическая нагрузка ТЭЦ-2.

Таблица 1.15 – Тепловая нагрузка ТЭЦ-2 за 2014-2018гг., Гкал.

Месяц	2014	2015	2016	2017	2018
Январь	415 994	417 961	408 340	418 087	426 573
Февраль	374 165	370 323	415 837	370 640	429 689
Март	400 294	384 379	383 214	429 030	433 358
Апрель	249 327	222 456	198 115	236 026	234 316
Май	155 839	127 436	137 768	148 723	143 284
Июнь	134 047	123 215	115 389	116 926	128 178
Июль	127 113	128 519	121 648	133 782	141 633
Август	129 709	115 536	146 549	120 069	135 784
Сентябрь	140 343	133 328	137 888	126 566	142 210
Октябрь	320 546	300 758	305 891	342 618	326 161
Ноябрь	379 098	421 457	407 822	394 657	455 574
Декабрь	389 090	467 769	442 114	421 723	452 461
Год	3 215 565	3 213 137	3 220 575	3 258 847	3 449 221

Таблица 1.16 – Электрическая нагрузка ТЭЦ-2 за 2014-2018гг., кВтч.

Месяц	2014	2015	2016	2017	2018
Январь	248216	254199	249067	262400	281804
Февраль	213980	230150	236137	245375	248765
Март	213748	214214	221311	216244	225239
Апрель	163234	151986	159519	169324	170736
Май	169346	145262	143451	147742	164840
Июнь	147467	137783	115218	133803	131261
Июль	141054	141542	123525	137665	127087
Август	125491	133199	131292	129333	123513
Сентябрь	129825	129656	136382	157279	138789
Октябрь	179935	163988	196531	188421	190718
Ноябрь	215600	216033	256323	227663	254121
Декабрь	266787	247838	274694	259271	223172
Год	2214683	2165850	2243450	2274520	2280045

Глава 2 Методика расчета энергоэффективности внедрения ЧРП на вентиляторах первичного воздуха компании Сименс в Турции [4]

В этом примере рассматривается экономия энергии в первичных вентиляторах, которые подают первичный воздух от паровых котлов к различным агрегатам электростанций с мощностью более 100 МВт. В рамках работ были проведены измерения на вентиляторах, а записи рабочих данных были взяты с ТЭС. Сумма сбережений рассчитывается и детализируется. Эти вентиляторы были признаны рабочими условиями, которые варьировались в соответствии с требованиями процесса и устанавливались с помощью демпферов на всасывании вентилятора. В этом типе центробежного вентилятора не является предпочтительным способом регулировки расхода демпфером в соответствии с требованиями процесса с точки зрения энергоэффективности. Целью данной работы являлось достижение желаемой скорости потока, которая пропорциональна скорости двигателя, поскольку регулировка скорости потока достигается с помощью привода с регулируемой скоростью, который подключается к электродвигателю, что экономит значительные объемы энергопотребления.

2.1 Применение привода с регулируемой скоростью в вентиляторах первичного воздуха

Первичные вентиляторы направляют первичный воздух в котел для обеспечения сжигания топлива. Многие установки регулируют управление расходом вентиляторов с помощью неэффективных демпферов (т.е. демпферы вызывают неэффективность).

Хотя этот метод, кажется, имеет меньшие инвестиционные затраты, значительное количество энергии теряется в течение периода производства на заводе.

Таблица 2.1 - Измерения для вентиляторов первичного воздуха [4]

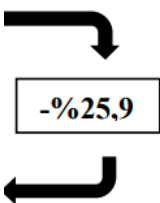
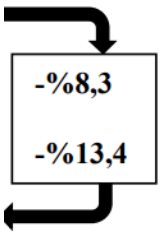
Результаты измерений и расчетов Вентиляторы первичного воздуха	ВПВ №1	ВПВ №2	Единица измерения
Диафрагма демпфера на входе, %			
Максимальная нагрузка	68	69	%
Средняя нагрузка	58	59	%
Минимальная нагрузка	46	47	%
Общий расход воздуха (впуск котла)			
Максимальная нагрузка	324919		м ³ /ч при н.у.
Средняя нагрузка	312247		м ³ /ч при н.у.
Минимальная нагрузка	240856		м ³ /ч при н.у.
Количество энергопотребления			

Годовое потребление энергии	10663488	10558944	кВтч/год
Среднечасовое потребление энергии	1346	1333	кВтч
Количество энергии, потребляемое вентиляторами после газа с демпфером на входе			
Максимальная нагрузка	1390	1378	кВтч
Средняя нагрузка	1346	1333	кВтч
Минимальная нагрузка	1274	1193	кВтч

Заслонки вентилятора подачи первичного воздуха на станции пропорционально регулируются системой автоматизации в зависимости от количества топлива, подаваемого в котел. Результаты измерений расхода и энергопотребления, проведенных в вентиляторах первичного воздуха А и В, подробно представлены в таблице выше.

Скорость изменения мощности в соответствии с законом средства пропорциональна кубу изменения скорости потока. Проверка вентиляторов в системе кажется неэффективным с точки зрения энергоэффективности заслонки с автоматическим управлением.

Таблица 2.2 - Расчет снижения потребления энергии в различных аперттурах демпфера [4]

Общий расход воздуха (впуск котла)				Изменение расхода воздуха
Максимальная нагрузка	324919	м ³ /ч при н.у.		
Средняя нагрузка	312247	м ³ /ч при н.у.		
Минимальная нагрузка	240856	м ³ /ч при н.у.		
Количество энергии, потребляемое вентиляторами после газа с демпфером на входе				Изменение в потреблении энергии
Максимальная нагрузка	1390	1378	кВтч	
Средняя нагрузка	1346	1333	кВтч	
Минимальная нагрузка	1274	1193	кВтч	

Приведенная выше таблица, подготовленная со ссылкой на данные завода, показывает общее снижение потребляемой мощности из-за уменьшения скорости потока.

Когда таблица была исследована, первичный воздух, поступающий в котел, был уменьшен на 25,9%, когда установка была уменьшена с максимальной производственной мощности до минимальной производственной мощности, в то время как общая мощность, потребляемая вентиляторами, составляла в среднем 11% для такого же снижения расхода. Если бы это уменьшение скорости потока было получено с помощью привода переменной скорости, примененного к двигателю вентилятора вместо механического демпфера, общая мощность, потребляемая вентиляторами, была бы намного меньше [4].

2.2 Технико-экономическое обоснование турецкого проекта

Известно, что энергоблок работает на среднегодовой мощности, и это можно увидеть в системе Scada. Определяется средняя пропускная способность системы автоматизации и энергопотребление за счет регулировки скорости вращения вентилятора с использованием привода с регулируемой скоростью вместо уменьшения с помощью демпфера для требуемого расхода воздуха при средней пропускной способности системы в вентиляторах первичного воздуха А и В, рассчитывается ниже.

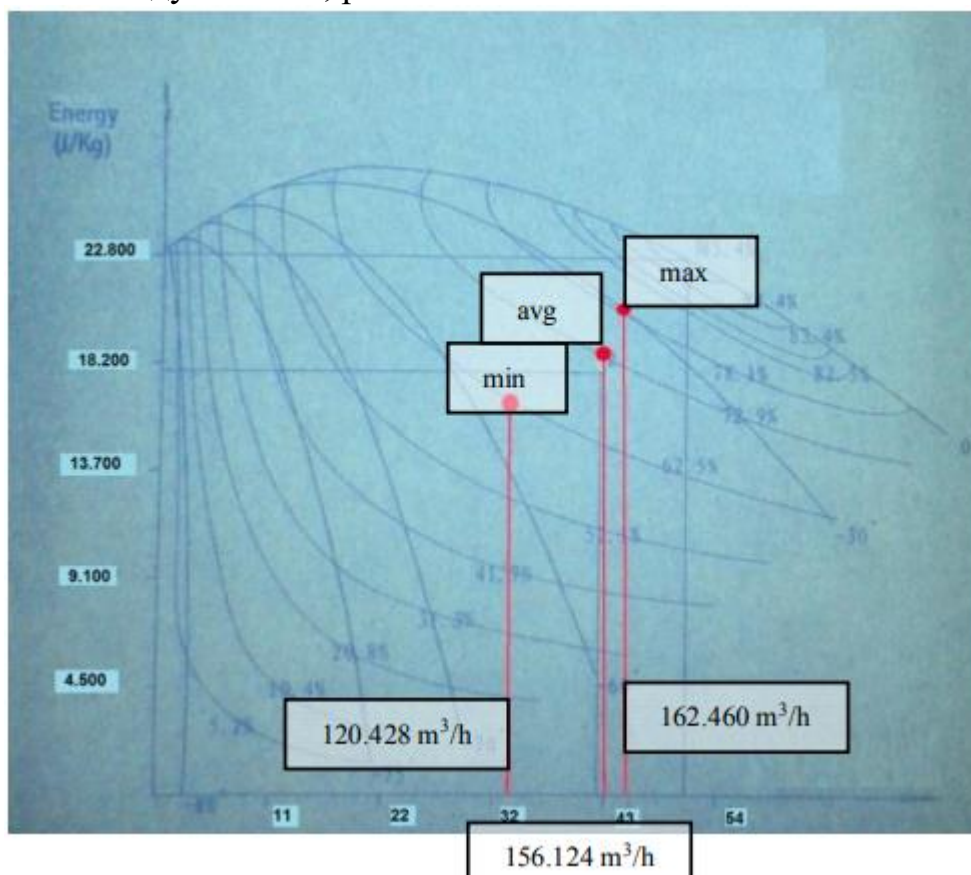


Рисунок 2.1 - Кривая производительности основного вентилятора

Когда кривые производительности вентиляторов первичного воздуха изучены, видно, что каждый вентилятор имеет производительность 181,870 Нм³/ч в текущих рабочих условиях. Тем не менее, несмотря на то, что мы

достигли максимальной мощности станции, требуется всего 324,919 НмЗ/ч. Это показывает, что вентилятор высокой производительности использует, в зависимости от потребностей.

Апертура демпфера вентилятора первичного воздуха составляет 70%, при этом используется максимальная мощность, и тот факт, что вентилятор при 1,800 кВт потребляет всего 1,390 кВт, показывает, что вентилятор больше, чем нужно. Это увеличивает экономию, которая произойдет после использования двигателя с переменной скоростью.

Таблица 2.4 - Расчет потребления энергии после привода с переменной скоростью

Расчет снижения энергопотребления после внедрения привода с переменной скоростью	ВПВ №1	ВПВ №2	Единица измерения
Общий расход воздуха (впуск котла)			
Максимальная мощность вентилятора (кривая производительности)	181870	181870	м ³ /ч при н.у.
Максимальная нагрузка	162460	162460	м ³ /ч при н.у.
Средняя нагрузка	156124	156124	м ³ /ч при н.у.
Минимальная нагрузка	120428	120428	м ³ /ч при н.у.
Значение частоты вращения вентилятора после использования драйвера			
Максимальная мощность вентилятора (кривая производительности)	50	50	Гц
Максимальная нагрузка	44,7	44,7	Гц
Средняя нагрузка	42,9	42,9	Гц
Минимальная нагрузка	33,1	33,1	Гц
Потребляемая мощность вентиляторов после привода с переменной скоростью			
Максимальная нагрузка	1286	1275	кВтч
Средняя нагрузка	1137	1089	кВтч
Минимальная нагрузка	522	489	кВтч
Потребление энергии (с приводом переменной скорости)			
Годовое потребление энергии	9004499	8624850	кВтч/год
Среднечасовое потребление энергии	1137	1089	кВтч
Общая сумма экономии электроэнергии	3587760		кВтч/год
Цена единицы энергии	0,228694		ТЛ/кВтч
Годовая сумма энергосбережений	820499		ТЛ/год

Если производительность вентиляторов первичного воздуха контролируется приводом с регулируемой скоростью, когда заслонка находится в полностью открытом положении, а не управление заслонкой,

объем экономии энергии, генерируемой за год, рассчитывается как 3587760 кВтч [4].

2.3 Проверка ТЭО после реализации

Измерения, выполненные до и после внедрения привода с регулируемой скоростью в вентиляторы первичного воздуха, приведены ниже. Измерения проводились, когда вентилятор давал одинаковую скорость потока.

Таблица 2.5 - Таблица результатов потребления энергии

Таблица сравнения осуществимости	ВПВ №1	ВПВ №2	Единица измерения
Состояние до реализации			
Потребление энергии (почасово)	1346	1333	кВтч
Скорость потока вентилятора	156124	156124	м ³ /ч при н.у.
Осуществимость после реализации (цель)			
Потребление энергии (почасово)	1137	1089	кВтч
После реализации (результаты)			
Потребление энергии (почасово)	1129	1095	кВтч
Скорость потока вентилятора	156124	156124	м ³ /ч при н.у.

Таблица 2.6 - Сравнение результатов и технико-экономических расчетов

Параметры	Расчет в соответствии с ТЭО		Результаты реализации	
Общее энергосбережение (почасово)	453	кВтч	455	кВтч
Время работы	7920	ч/год	7920	ч/год
Экономия энергии	3587760	кВтч/год	3603600	кВтч/год
Цена единицы энергии	0,228694	ТЛ/кВт	0,228694	ТЛ/кВт
Сумма экономии	820499	ТЛ/год	824122	ТЛ/год

Общее энергопотребление вентиляторов до применения составляло 2,679 кВт•ч, но 2,226 кВт•ч было нацелено на теоретическую осуществимость при той же скорости потока после применения. Общее энергопотребление, измеренное после применения, составило 2,224 кВт•ч. Экономия в 455 кВтч была достигнута почти так же, как было рассчитано в ТЭО [4].

Глава 3 Насосы

3.1 Определение характеристик насоса

Характеристики насосов есть зависимость между параметрами (напор, мощность) насоса от производительности Q при некоторой частоте вращения n для некоторого диаметра рабочего колеса D .

На рисунках в Приложении А представлены рабочие характеристики насосов.

Зависимость напора от производительности $H=f(Q)$ играет важную роль в расчетах энергопотребления. Её также можно встретить такое название, как $Q-H$ или напорно-расходная характеристика.

В пределах рекомендуемых подач и напоров характеристика $H=f(Q)$ описывается уравнением участка квадратичной параболы

$$H_n = H_\phi - S_\phi Q^2 \quad (3.1)$$

где H_ϕ — фиктивный напор при нулевой подаче, м;

S_ϕ — гидравлическое фиктивное сопротивление насоса, c^2/m^5 .

При необходимости *фиктивные* параметры определяются по экспериментальным характеристикам насоса. Для этого берутся координаты двух точек рабочей части характеристики $H=f(Q)$, точек 1 и 2. Этим точкам соответствуют напоры H_1 и H_2 , м, подачи Q_1 и Q_2 , m^3/c .

По полученным данным рассчитываются фиктивное гидравлическое сопротивление насоса и фиктивный напор при подаче, близкой к нулю:

$$S_\phi = (H_1 - H_2) / (Q_2^2 - Q_1^2) \quad (3.2)$$

$$H_\phi = H_1 + S_\phi Q_1^2 \quad (3.3)$$

Значения фиктивного напора зависят от конструктивных параметров насоса.

Отношение фиктивного напора к номинальному $H_\phi^* = H_\phi / H_{ном}$ позволяет получить представление о крутизне напорной характеристики насоса. Для насосов, которые работают с чистой водой, относительный фиктивный напор будет равен $H_\phi \approx 1,25$.

Зависимость между расходом жидкости через трубопровод и напором, который требуется для обеспечения этого расхода, называется характеристикой трубопровода E и описывается уравнением

$$H_c = H_n + SQ^2, \quad (3.4)$$

где H_c — напор в начале трубопровода;

S — гидравлическое сопротивление трубопровода;
 $H_{\text{п}}$ — противодействие, обусловленное разностью геодезических отметок в системе или противодействием в котле и т. д [5].

3.2 Энергопотребление насоса

Электроэнергия, потребляемая основными насосными агрегатами, расходуется на подъём жидкости и преодоление гидродинамического сопротивления в трубопроводах. Кроме того, часть ее расходуется в самих насосных агрегатах: на преодоление сил трения в сальниках и подшипниках насосных агрегатов, нагрев стали и меди в электродвигателе, вентиляцию и т. д.

Отношение значений полезно использованной в насосном агрегате электроэнергии к электроэнергии, полученной из электрической сети, характеризуется коэффициентом полезного действия (КПД) агрегата. Для современных насосных агрегатов в зависимости от их мощности, назначения и других факторов значение КПД варьируется в пределах от 0,3 до 0,9[5].

Мощность, потребляемая насосом, кВт, определяется по формуле:

$$N=9,81*(QH/\eta_n), \quad (3.5)$$

где Q — подача, м³/с;

H — напор, м;

η_n — КПД насоса.

Мощность, потребляемая насосным агрегатом, кВт,

$$P = N / (\eta_{\text{эд}}\eta_{\text{пр}}), \quad (3.6)$$

где $\eta_{\text{эд}}$ — КПД электродвигателя;

$\eta_{\text{пр}}$ — КПД преобразующего устройства (частотного преобразователя, трансмиссии и т. п.).

Количество электроэнергии, потребляемой агрегатом за время t , при работе с постоянной подачей и неизменным давлением, определяется по формуле

$$W = Pt, \quad (3.7)$$

где t — время работы, ч.

В реальных установках насосные агрегаты обычно работают с переменной подачей и, соответственно, с переменным давлением. Вследствие этого мощность, потребляемая агрегатом в течение некоторого времени, изменяется. Поэтому использование формулы (3.7) ограничивается теми случаями, когда насосная установка длительно работает в равномерном

режиме

Если зависимость $H=(Q)$ выразить уравнением характеристики насоса, аналогичным образом можно получить выражение для определения потребления электроэнергии насосным агрегатом при работе с превышением напора:

$$W_{\text{год}} = (N_6 T / \eta_{\text{эд}}) ((1+\lambda)/4) [(1+H_{\text{ф}}^*) + \lambda^2(1-H_{\text{ф}}^*)], \quad (3.8)$$

где $H_{\text{ф}}^* = H_{\text{ф}}/H_6$ — относительный фиктивный напор насоса при нулевой подаче[5].

3.3 Прогнозируемая экономия энергии

Экономия энергии для приводов, регулируемых при помощи преобразователей статорной цепи, к примеру, с регулируемой частотой, определяется выражением

$$W_{\text{рез}} = W_{\text{эк}} - N_6 T [1 + \zeta - \eta_{\text{пр}}], \quad (3.9)$$

где $\zeta = 0,02 \div 0,05$ — учитывающий дополнительные потери в приводе коэффициент; $\eta_{\text{пр}}$ — КПД преобразователя.

В свою очередь экономия энергии при снятии излишнего динамического давления (без учёта потерь в РЭП) определяется уравнением:

$$W_{\text{эк}} = N_6 T w_{\text{д}}^* \quad (3.10)$$

Подставив значение $W_{\text{эк}}$ из (3.10) в (3.9), получим выражение, определяющее результирующую экономию энергии (без учёта снижения загрузки электродвигателя):

$$W_{\text{рез}} = N_6 T [w_{\text{д}}^* - (1 + \zeta - \eta_{\text{пр}})], \quad (3.11)$$

Снижение потребляемой мощности на валу насоса влечёт за собой снижение загрузки электродвигателя. Следовательно, в электродвигателе снижаются потери, определяемые его КПД. Полагаем, что изменение загрузки электродвигателя несущественно изменяет его КПД. Тогда КПД электродвигателя остаётся в процессе ($\eta_{\text{эд}} \approx \text{const}$), равным номинальному значению. Подставив в уравнение (3.11) номинальное значение КПД электродвигателя ($\eta_{\text{эд}}$), получим уравнение для определения результирующей экономии энергии (с учётом снижения загрузки электродвигателя)

$$W_{\text{рез}} = (1/\eta_{\text{эд}}) (N_6 T) [w_{\text{д}}^* - (1 + \zeta - \eta_{\text{пр}})], \quad (3.12)$$

Расчёт предполагаемой экономии энергии при замене привода без регулирования регулируемым и создание на этой основе САУ режимом работы насосного агрегата осуществляется в порядке, приведенном ниже.

1. По данным эксплуатационных наблюдений за расчётный период (например, календарный год или отопительный сезон и т. д.) строится упорядоченная диаграмма подачи воды потребителю. С использованием этой диаграммы определяются значения наибольшей (Q_6) и наименьшей (Q_m) подачи за расчётный период. Если по условиям эксплуатации невозможно построить упорядоченную диаграмму подач (например, нерегулярно фиксируются значения подач), то вместо построения упорядоченной диаграммы выявляются день максимальной и день минимальной подачи воды. Для этих двух дней строятся суточные графики подачи воды. Наибольшая подача в день максимальной подачи, найденная по суточному графику подачи воды, принимается за Q_6 . Наименьшая подача в день минимальной подачи, найденная по графику подачи воды, принимается за Q_m .

По найденным значениям подач определяется относительная минимальная подача:

$$\lambda = Q_m / Q_6. \quad (3.13)$$

2. По данным эксплуатационных наблюдений за расчётный период выявляются следующие значения: давление (H_6) на выходе из насосной станции, соответствующее подаче Q_6 ; давление (H_m) на выходе из насосной станции, соответствующее подаче Q_m . По найденным значениям подач и давлений определяются параметры трубопроводной сети:

- гидравлическое сопротивление трубопроводной сети, c^2 / m^5 ,

$$S = (H_6 - H_m) / (Q_6^2 - Q_m^2) \quad (3.14)$$

- статическое противодействие, м,

$$H_{\Pi} = H_6 + SQ_6^2 \quad (3.15)$$

Зная H_{Π} и H_6 , определяют относительную высоту водоподъёма насосной установки

$$H_{\Pi}^* = H_{\Pi} / H_6 \quad (3.16)$$

По известным значениям λ и H_{Π}^* с использованием расчётных кривых (рис. 3.1) определяются относительные потери энергии при дросселировании w_d^* .

Значение w_d^* зависит от фиктивного напора H_{ϕ}^* , который характеризует крутизну характеристик насоса, относительного статического

напора H_n^* , который определяет крутизну характеристики λ трубопровода, и относительной минимальной водоподдачи.

Поскольку фиктивная высота подъёма воды одноступенчатых насосов примерно одинакова (для чистой воды $H_\phi^* \approx 1,25$), построены расчетные кривые для основных групп насосов, с помощью которых выполняются вычисления потерь энергии, вызванных превышением напора насоса.

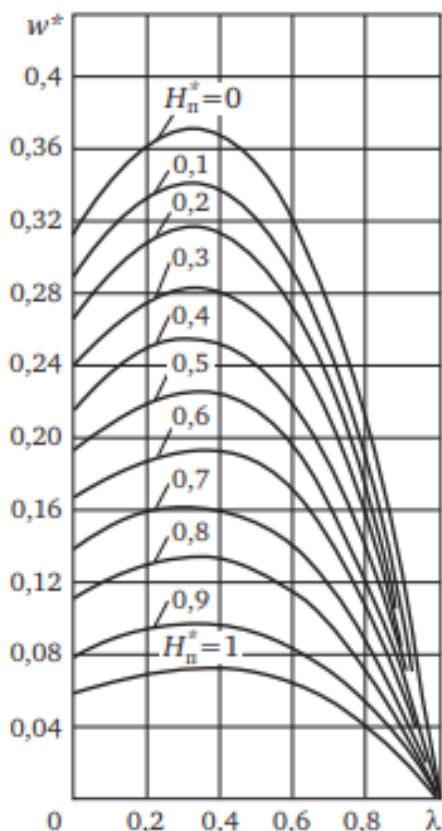


Рисунок 3.1- Зависимость относительных потерь энергии при дросселировании насосов от параметров λ и H_n^* ($H_\phi^* = 1,25$)

3. Определяется наибольшая потребляемая насосом мощность, кВт,

$$N_6 = 9,81 * (Q_6 H_6 / \eta_n), \quad (3.17)$$

где Q_6 — наибольшая подача, m^3/c ,

η_n — номинальное значение КПД насоса;

H_6 — давление, соответствующее подаче Q_6 , м вод.ст.

4. Определяется с использованием уравнения (3.6) прогнозируемое количество энергии, которое может быть сэкономлено за расчётный период времени (например, за год) при замене дросселирования регулированием частоты вращения насоса и поддержания заданного давления в контрольной (диктующей) точке водопроводной сети, кВт*ч,

$$W_{\text{рез}} = (1/\eta_{\text{эд}}) (N_6 T) [w_{\text{д}}^* - (1 + \zeta - \eta_{\text{пр}})],$$

где T — длительность расчётного периода времени, ч (обычно для насосных установок систем ВК $T = 8760$ ч, в том числе и для тех станций, работающих в циклическом режиме).

Для сезонно работающих насосных установок (отопительных, оросительных и т. п.) $T \approx 4000 \div 5000$ ч); $w_{\text{д}}^*$ — относительная экономия энергии при замене дросселирования изменением частоты вращения насоса; $\zeta = 0,02 \div 0,03$ — коэффициент, учитывающий дополнительные потери в приводе; $\eta_{\text{эд}}$ — номинальный КПД электродвигателя (приблизительно $\eta_{\text{эд}} \approx 0,88 \div 0,92$) [5].

Глава 4 Вентиляторы и компрессоры

4.1 Энергоэффективность в вентиляторах

Газ, необходимый для удовлетворения потребностей процесса, можно установить в вентиляторах тремя различными способами. Эти методы включают впускной клапан, выпускной клапан и управление скоростью вентилятора[4].

4.2 Выходная и входная демпферы (заслонки)

Уменьшение потока с помощью выпускных клапанов создает дополнительное трение и увеличивает потери давления. Демпфер увеличивает сопротивление системы и заставляет вентилятор работать при высоком давлении. С увеличением давления рабочая точка смещается влево от системной кривой, и скорость потока уменьшается. Рабочая точка вентилятора отходит от точки максимальной эффективности.

Впускные заслонки же являются более эффективными блоками управления, чем выпускные заслонки. Однако потери на трение и турбулентность будут возникать из-за сужения процесса поперечного сечения. Поэтому они являются неэффективными системами по сравнению с ЧРП с переменной скоростью[4].

4.3 Регулировка скорости вентилятора

Метод контроля скорости является наиболее эффективным методом контроля потока вентилятора. Когда такая же гидравлическая работа выполняется при регулировке расхода с помощью регулятора скорости, мы используем меньше энергии по сравнению с управлением демпфером. Если вентилятор спроектирован надлежащим образом для системы, кривая производительности и мощность системы смещаются к исходной точке при падении скорости вентилятора. Таким образом, эффективность вентилятора поддерживается на максимально возможном уровне при различных скоростях потока.

Проблема обеспечения переменной скорости потока с помощью приводов с переменной скоростью является одним из наиболее распространенных методов энергосбережения в современных системах, приводимых в движение двигателями [4].

4.4 Потенциал применения частотно-регулируемых приводов на вентиляторах и компрессорах

Потенциал применения приводов с переменной скоростью в вентиляторах должен быть изучен путем изучения схемы нагрузки и ее

изменения. Поскольку большинство вентиляторов, установленных на электростанциях, относятся к категории высокого напряжения, а установка приводов с регулируемой скоростью высокого напряжения очень дорогая, можно сократить следующие затраты.

Принять низко-натяжной привод переменной скорости с помощью повышающего и понижающего трансформатора. Это может значительно снизить общую стоимость инвестиций. Схематическая сеть системы приведена ниже (Рисунок 4.1)[6].

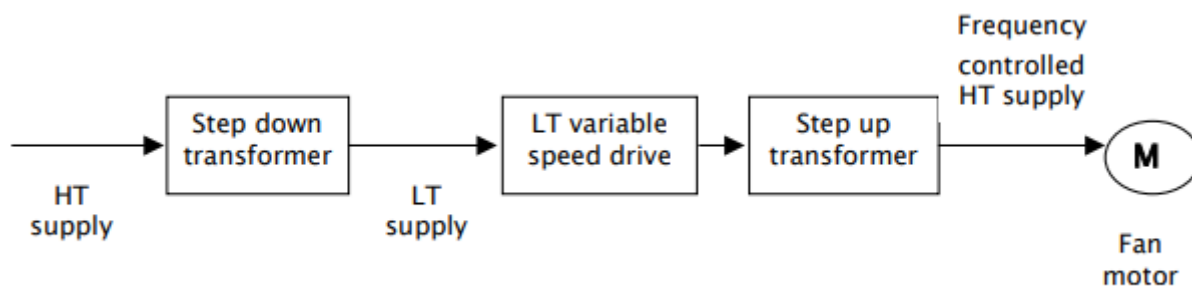


Рисунок 4.1 – Принципиальная схема установки ЧРП на двигатель вентилятора

В случае компрессоров, дооснащение приводами с регулируемой скоростью в больших компрессорах, скажем, более 100 кВт, полностью устранил условия работы без нагрузки.

4.5 Законы сходства

Связь между параметрами можно записать в виде:

$$Q_1/Q_2=N_1/N_2 \quad (4.5.1);$$

$$P_1/P_2=(N_1/N_2)^2 \quad (4.5.2);$$

$$W_1/W_2=(N_1/N_2)^3 \quad (4.5.3);$$

где Q – объемный расход, %; P – статическое давление, %; W – мощность, %; N – число оборотов в минуту, % [6].

Связь между переменными типа давления, объемного расхода, числа оборотов вала и потребления электроэнергии может быть выражена законами сходства. Эти законы действительны, как для радиальных, так и для осевых вентиляторов и насосов (см. рис. 4.2) [7].

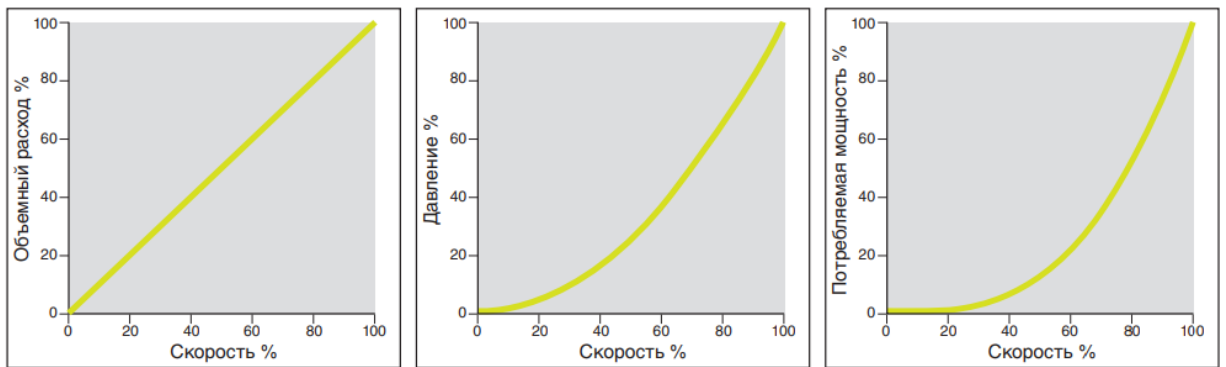


Рисунок 4.2 – Законы сходства

Из этих законов можно вывести, что объемный расход возрастает пропорционально скорости вращения, в то время как давление изменяется пропорционально квадрату скорости вращения. Для энергосбережения наиболее существенно то, что потребление электроэнергии пропорционально третьей степени скорости вращения.

Это означает, что даже минимальное уменьшение скорости вращения уже может вести к большой экономии потребления электроэнергии. Так, например, из рис. 4.2 можно видеть, что при 75% скорости вращения достигается 75% объемного расхода, что требует, однако, лишь 42% потребления энергии по сравнению с тем, которое потребовалось бы при полном объемном расходе. Если расход ограничен 50%, то потребление энергии тем самым уменьшается на 12,5%.

4.6 Расчет потребляемой мощности вентилятора и компрессора

Полную мощность вентилятора можно рассчитать по следующей формуле:

$$W_{\text{вент}} = (Q\Delta P)/102, \quad (4.1)$$

где Q – производительность вентилятора, м³/с;

ΔP – разница между сбросным и всасываемым давлением, мм. вод.ст.[б];

Рассчитайте идеальную мощность компрессора же можно по формуле, приведенной ниже:

$$W_{\text{ideal}} = ((nk)/(k-1))*((Q*P_s)/0,612)*[(P_d/P_s)^{k/((k-1)/(nk))}-1], \quad (4.2)$$

где n – количество ступеней;

k – показатель адиабаты (1,35 для воздуха)

P_s – давление всасывания в кг/см²г

P_d – давление нагнетания в кг/см²г

Q – фактический расход воздуха ,м³/мин.

4.7 Определение расхода дымососа

Для того, чтобы определить расход дымососа, переводим значение Гкал/год в Гкал/ч для одного котла ПК-100.

Таблица 4.1 – Перевод нагрузки в Гкал/ч

Месяц	Q _{ср} , Гкал/мес	Q _{ср} , Гкал/ч	Q _{ПК100} , Гкал/ч	Q _{ср} , %	КОЛ-ВО КОТЛОВ
Январь	417 391	572	82	96	7
Февраль	392 131	537	77	90	7
Март	406 055	556	93	93	6
Апрель	228 048	312	57	52	5,5
Май	142 610	195	49	33	4
Июнь	123 551	169	56	28	3
Июль	130 539	179	60	30	3
Август	129 529	177	59	30	3
Сентябрь	136 067	186	62	31	3
Октябрь	319 195	437	80	73	5,5
Ноябрь	411 722	564	81	95	7
Декабрь	434 631	595	85	100	7

Зная потребляемую энергию двумя дымососами (табл.2.5), по графику (Рисунок А б) определяем значение подачи для одного дымососа.

Таблица 4.2 – Определение значений подачи и времени в процентах

Месяц	Общая тепловая нагрузка Q _{ТЭ+ЭЭ}	Потребляе мая мощность ДН W, кВт	Потребляе мая мощность одного ДН W ₁ , кВт	Подача , м3/ч	Подач а, %	Время Т, ч	Время Т, %
Январь	242,139	1146	573	310000	66,38	730	8,33
Февраль	222,176	1137,515	568,76	305000	65,31	730	8,33
Март	227,786	1146	573	310000	66,38	730	8,33
Апрель	157,704	874,399	437,2	205000	43,90	730	8,33
Май	144,275	872	436	200000	42,83	730	8,33
Июнь	138,835	872	436	200000	42,83	730	8,33
Июль	142,688	872	436	200000	42,83	730	8,33
Август	138,754	872	436	200000	42,83	730	8,33
Сентябрь	147,820	872	436	200000	42,83	730	8,33

Октябрь	193,383	898,534	449,27	220000	47,11	730	8,33
Ноябрь	225,432	1146	573	310000	66,38	730	8,33
Декабрь	242,550	1146	573	310000	66,38	730	8,33
Год	2 224	11 854	5 927	2 970 000	-	8760	100

Полученные значения будут использованы в следующей главе.

4.8 Фильтр гашения пульсаций в компрессоре

Клапан экономии воздуха уменьшает расход энергии при работе с продувкой воздухом. Такая импульсная технология снижает потребление воздуха до 50%.

Устройство экономии воздуха - это клапан, который преобразует непрерывный воздушный удар в импульсный воздушный удар без необходимости какого-либо другого внешнего управления. Воздух продувается серией импульсов включения и выключения. Когда удар отключен, воздух не расходуется. Используя технологию переключающих клапанов, блок экономии воздуха может снизить потребление воздуха до 50%, что означает:

- значительное сокращение потребления воздуха,
- экономия на потребляемой мощности компрессора,
- сокращение выбросов CO₂ на предприятиях,
- большой вклад в энергосберегающие мероприятия,
- улучшенная эффективность.

Если учесть, что на продувку воздуха приходится до половины всего сжатого воздуха, используемого на промышленных предприятиях, в таком случае экономия затрат и энергии могут быть значительна. К примеру, применение устройства Air Saver на четырех форсунках с одной минутой ниже на четырехминутный цикл, работающий в три смены, пять дней в неделю, сэкономило операторам станции 3500 долларов в год.

Снижение расхода воздуха не обязательно означает снижение производительности удара. В блоке экономии воздуха используется технология переключающих клапанов, когда импульсный воздушный удар, создаваемый блоком, многократно срабатывает. В результате эффективность воздушного удара увеличивается, а потребление воздуха уменьшается [8].

Глава 5 Работа с расчетными приложениями

5.1 Обзор возможностей WEG Energy Saving Estimator

WEG Energy Saving Estimator – прикладная программа бразильской компании WEG [9]. Программа создана для упрощения деятельности энергоаудиторов, в частности, расчета внедрения ЧРП на вентиляторах и насосах. Для использования данной программы следует воспользоваться алгоритмом, указанным ниже.

Шаг 1. Информация о проекте и клиенте

Раздел информации о проекте и клиенте используется для указания информации о клиенте, для которого вы выполняете анализ. Информация, введенная на этом этапе, будет отображаться в итоговом отчете, а также сохраняется вместе со всеми системными данными в файле. Кнопка «Очистить» используется для удаления всей существующей информации, которая может присутствовать в более раннем проекте.

The screenshot shows the 'Energy Savings Estimator' application window. The title bar reads 'Energy Savings Estimator'. The interface is divided into five steps: Step 1. Customer Information (highlighted), Step 2. Utility Information, Step 3. Define System, Step 4. Energy Estimation, and Step 5. Final Report. The WEG logo is in the top right corner. On the left, there is a 'Step 1' tab and a 'Customer Information' section with a 'Project' icon. The form contains the following fields: Project, Contact, Title, Company, Address, City, State, Zip, Country, Telephone (with area code), Fax, and E-mail. An 'Edit contact information' button is located in the top right of the form area. A 'Clear' button is at the bottom right. A text box on the right side of the form reads: 'Please enter customer information on the left hand side of this screen. This information will be displayed together with the estimation results on the final report.' At the bottom of the window, there are buttons for 'Calculator', 'Help', 'Go Back', and 'Continue'.

Рисунок 5.1 – Окно информации о клиенте в WEG

Шаг 2. Информация

Этот шаг позволяет пользователю вводить специфические данные утилиты. Важно точно указать все тарифы, поскольку они будут использоваться для расчета вашей экономии энергии. Все цены указаны в долларах и центах.

Утилита. Название коммунальной компании, от которой ваш Заказчик получает электроэнергию

Стоимость за кВтч. Это ставка, которую коммунальная компания взимает с вас за электроэнергию за каждый киловатт-час.

Альтернативная ставка. Это ставка, которую ваша коммунальная компания взимает в непиковые часы. Установите флажок перед каждой записью потока на панели рабочего цикла, чтобы выбрать альтернативную скорость для указанного потока.

Восстановить. Нажмите на кнопку восстановления, чтобы восстановить все значения утилиты по умолчанию

The screenshot shows the 'Energy Savings Estimator' application window. The title bar reads 'Energy Savings Estimator'. The interface is divided into five steps: Step 1. Customer Information, Step 2. Utility Information (highlighted in yellow), Step 3. Define System, Step 4. Energy Estimation, and Step 5. Final Report. The WEG logo is in the top right corner. The main area contains two input fields: 'Utility: ' with a red square icon and the text 'Name of the utility.' below it, and 'Cost per kWh: \$ 0,100' with a red square icon and the text 'Rate the utility company charges for your electricity.' below it. A 'Restore' button with a circular arrow icon is located in the bottom right of the main area. At the bottom of the window, there are buttons for 'Calculator', 'Help', 'Go Back', and 'Continue'.

Рисунок 5.2 – Окно ввода данных тарифа на электроэнергию в WEG

Шаг 3. Определите систему

Шаг 3 дает вам возможность определить существующую систему. Доступны следующие поля:

Системные данные

- *Имя.* Имя или местоположение текущей системы
- *Тип.* Тип применения (Вентилятор или Насос)
- *Контроль потока:* текущий метод контроля потока, который используется

Данные двигателя:

Эффективность: КПД двигателя

Мощность: номинальная мощность двигателя

Данные привода с регулируемой скоростью:

Стоимость привода: стоимость привода при номинальной мощности двигателя

Стоимость установки: затраты, связанные с установкой новой системы на основе дисков

Рабочий цикл:

- *Альт:* выберите альтернативную тарифную ставку, в противном случае будет использоваться базовая тарифная ставка.

- *Расход и время:* укажите рабочий профиль устройства, указав процент времени, в течение которого он работает при каждой скорости потока. Общее время должно равняться 100%

- *Восстановить:* восстанавливает рабочий профиль по умолчанию

- *График:* показывает увеличенный график рабочего цикла

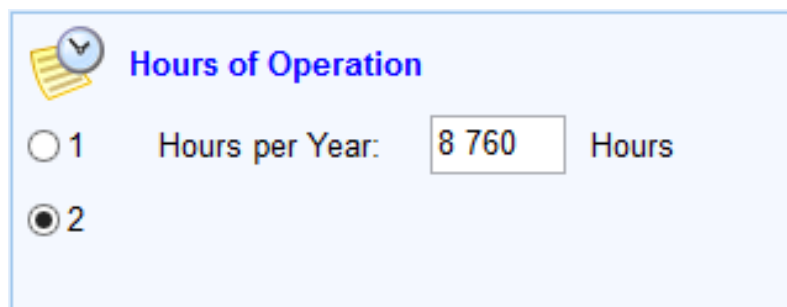
Часы работы. Пользователь может выбрать один из двух вариантов:

1) указание времени работы в часах в день, днях в неделю и неделях в году

Hours of Operation			
<input checked="" type="radio"/> 1	Hours per Day:	24	Hours
<input type="radio"/> 2	Days per Week:	7	Days
	Weeks per Year:	52	Weeks

Рисунок 5.3 – Окно указателя рабочих часов в WEG

2) Указание общего количества часов в год



Hours of Operation

1 Hours per Year: Hours

2

Рисунок 5.4 – Указатель рабочих часов в год в WEG

Часы в день: ввести количество часов в день, в течение которых система работает.

Дни в неделе: ввести количество дней в неделю, в течение которых система работает.

Недели в году: ввести количество недель в году, в течение которых система работает.

Часы в год: ввести количество часов в год, в течение которых система работает.

Общее количество часов будет рассчитано и использовано для расчета времени рабочего профиля.

Вознаграждение

Вознаграждение для коммунальных услуг: ввести вознаграждение, полученное за каждый л.с. или кВт мощности двигателя.

Разовое: выбрать этот вариант, если вознаграждение за коммунальные услуги принимается только один раз

Ежегодное: выбрать этот вариант, если вознаграждение за коммунальные услуги принимается каждый год

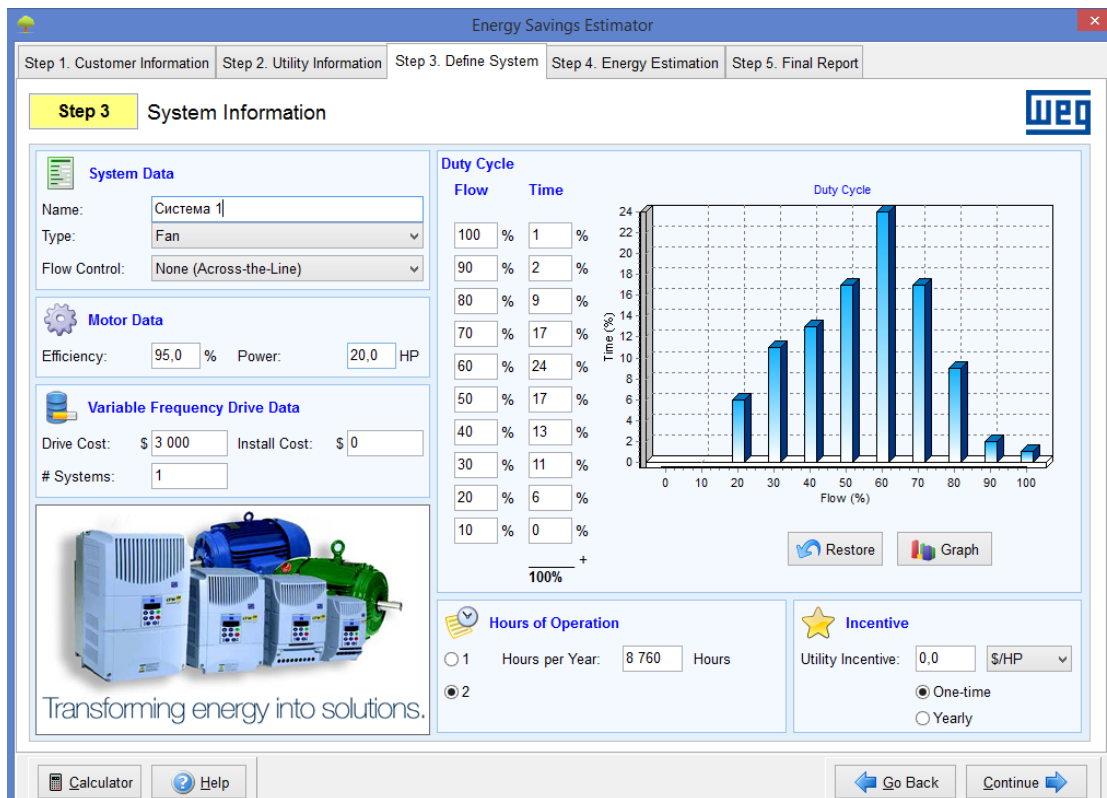


Рисунок 5.5 – Окно шага 3 в WEG

Шаг 4. Оценка энергии

Шаг 4 показывает обзор предполагаемой экономии энергии.

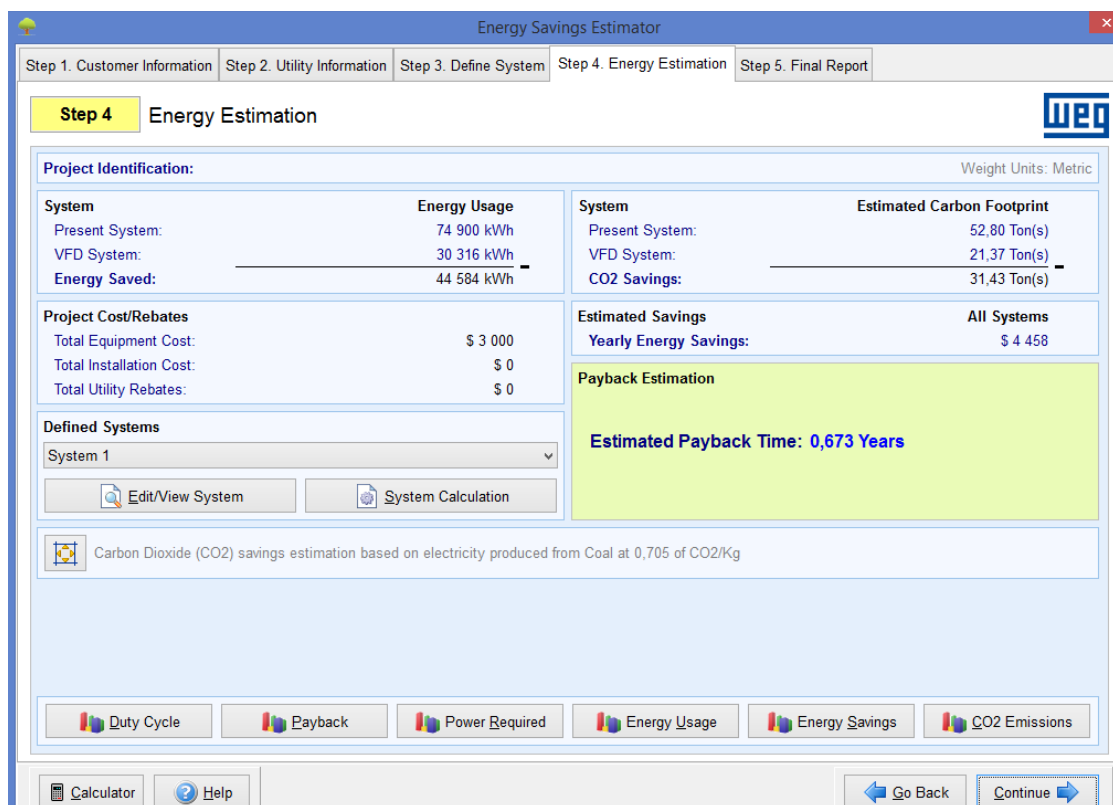


Рисунок 5.6 – Окно шага 4 в WEG

Система: Кнопка «Изменить / просмотреть систему» позволяет получить подробную информацию о системе, «Расчет системы» отображать подробную оценку энергосбережения системы.

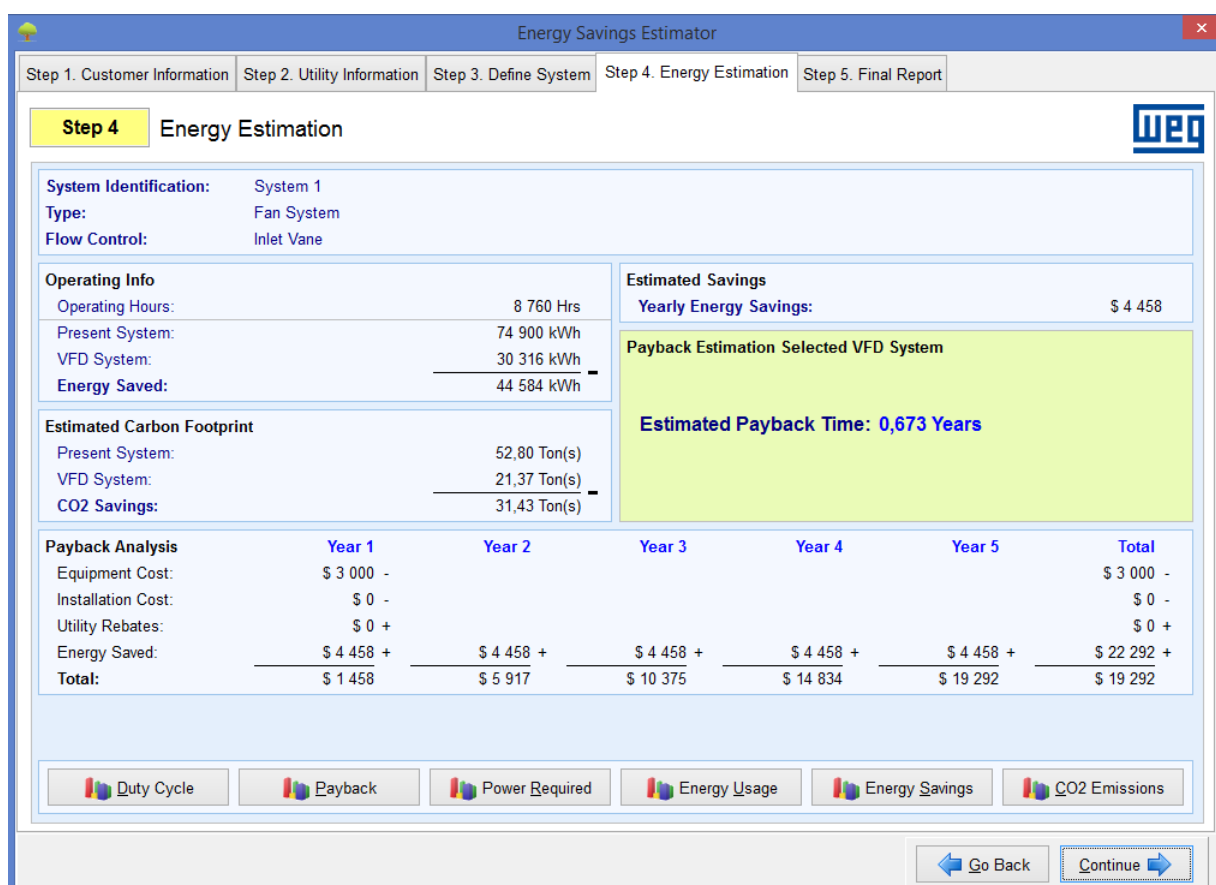


Рисунок 5.7 – Экономический расчет в WEG

Опции. Кнопки «Рабочий цикл», «Окупаемость», «Потребляемая мощность», «Годовое потребление энергии», «Годовая экономия» и «Выбросы CO₂» используются для того, чтобы отобразить графики.

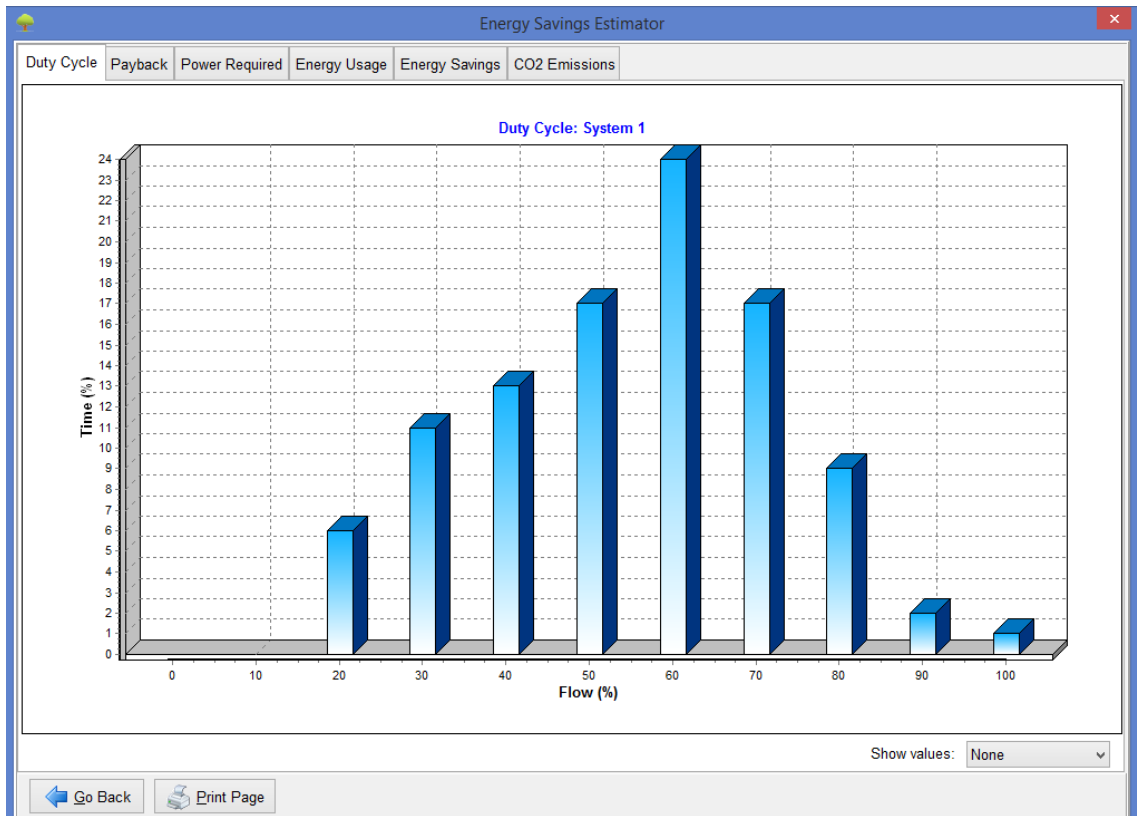


Рисунок 5.8 – Зависимость расхода от времени работы в WEG

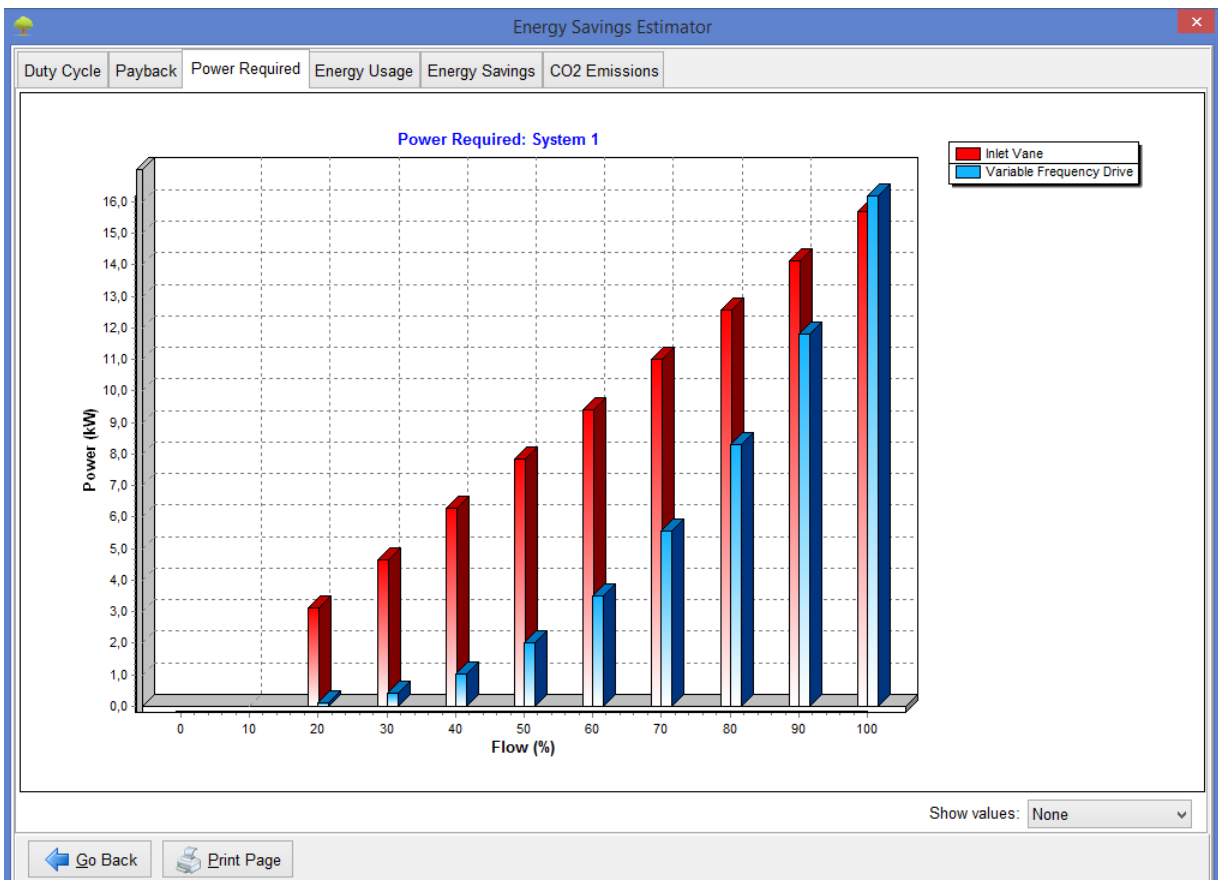


Рисунок 5.9 – Потребляемая мощность вентилятора в WEG

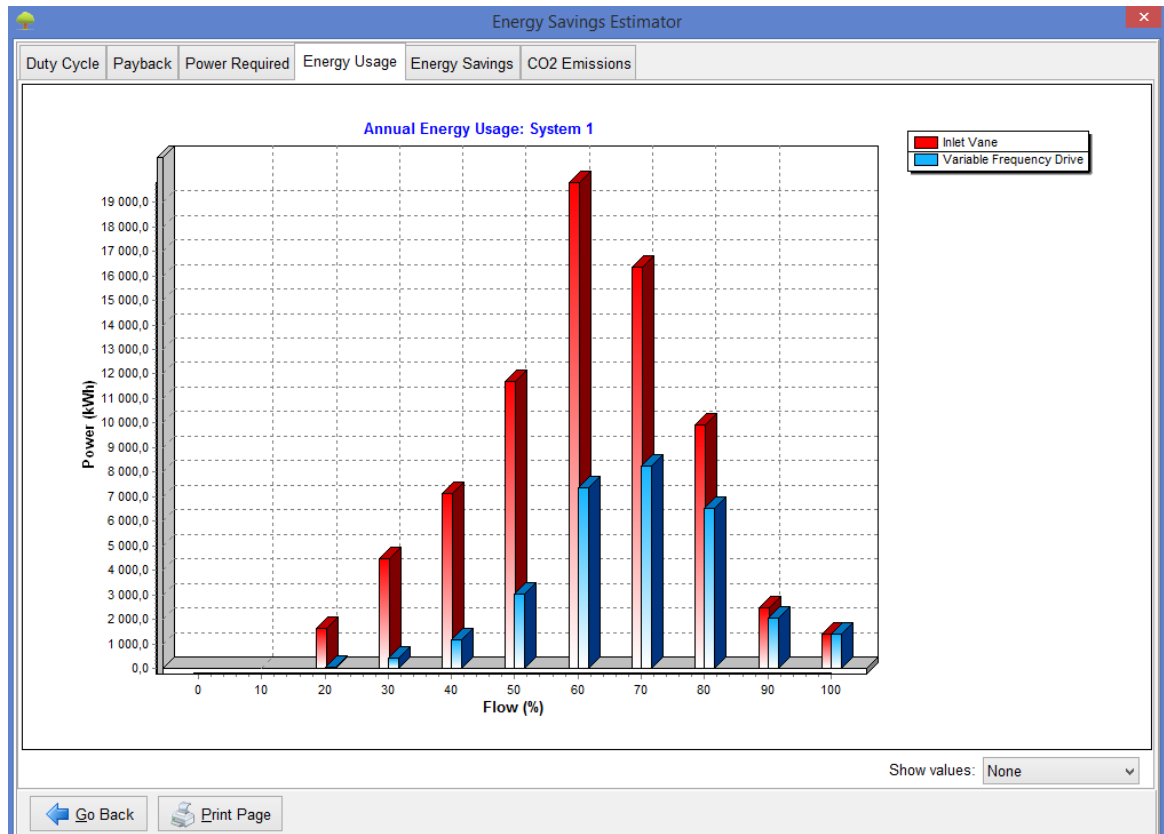


Рисунок 5.10 – Потребляемая мощность вентилятора в год в WEG

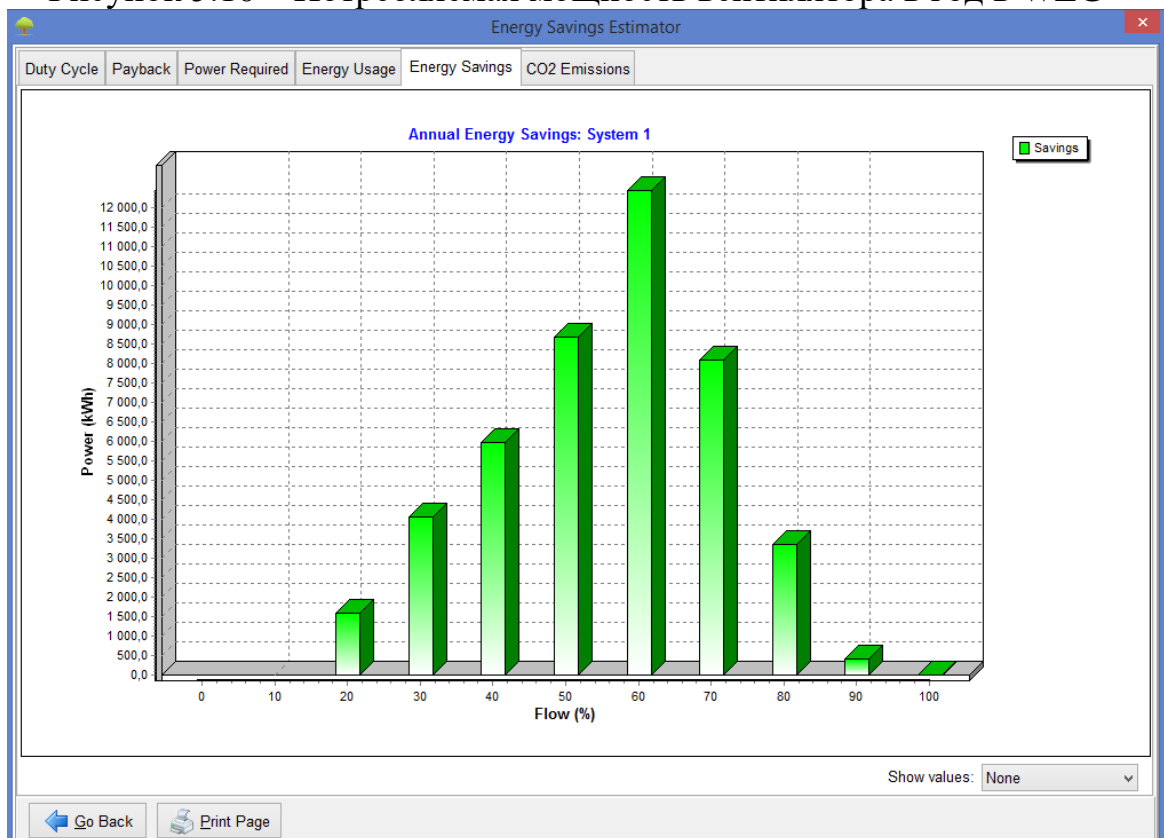


Рисунок 5.11 – Снижение потребляемая мощности вентилятора в WEG

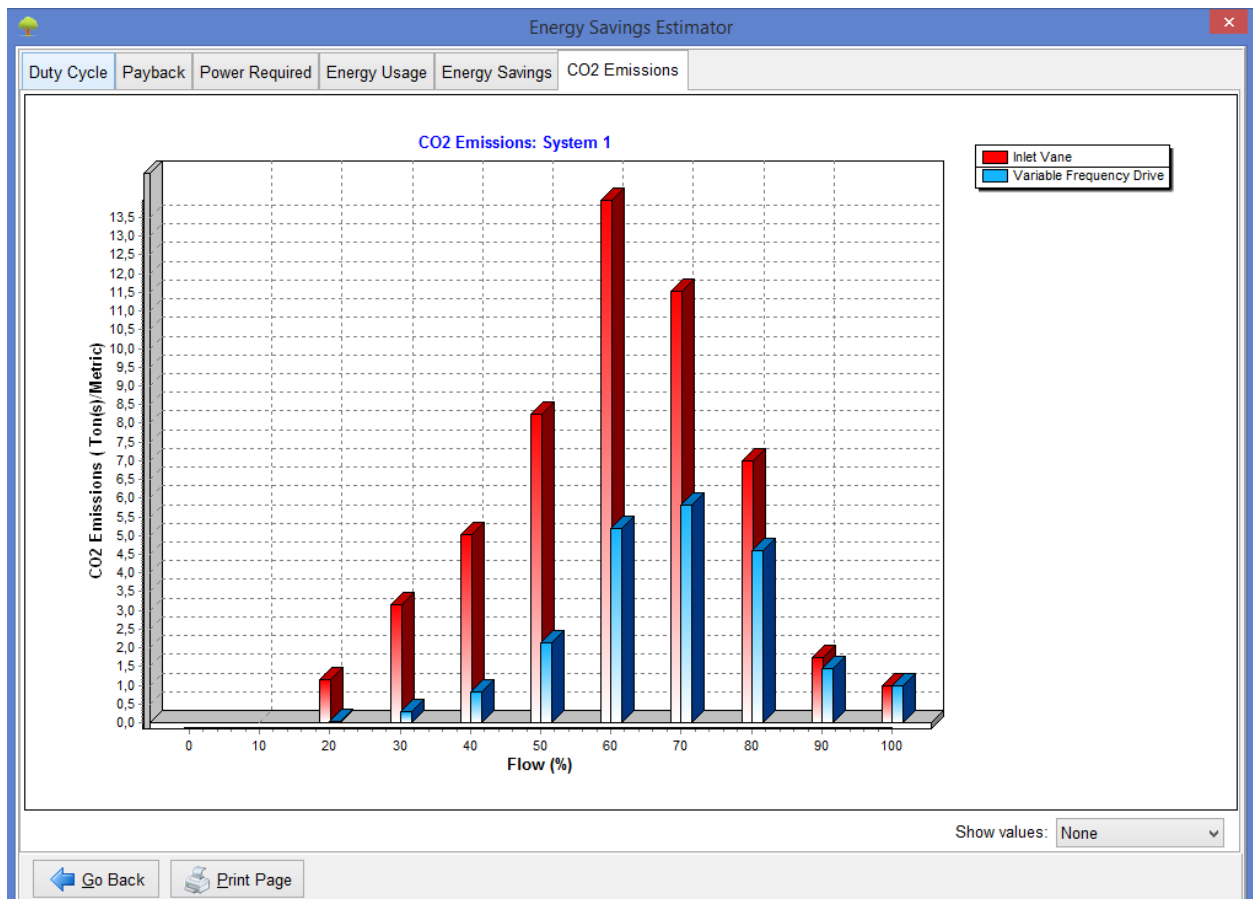


Рисунок 5.12 – Снижение выбросов вентилятором в примере в WEG

Шаг 5. Окончательный отчет

Шаг 5 является последним этапом программы и позволяет пользователю просматривать, распечатывать, отправлять по электронной почте или экспортировать окончательный отчет ESE.

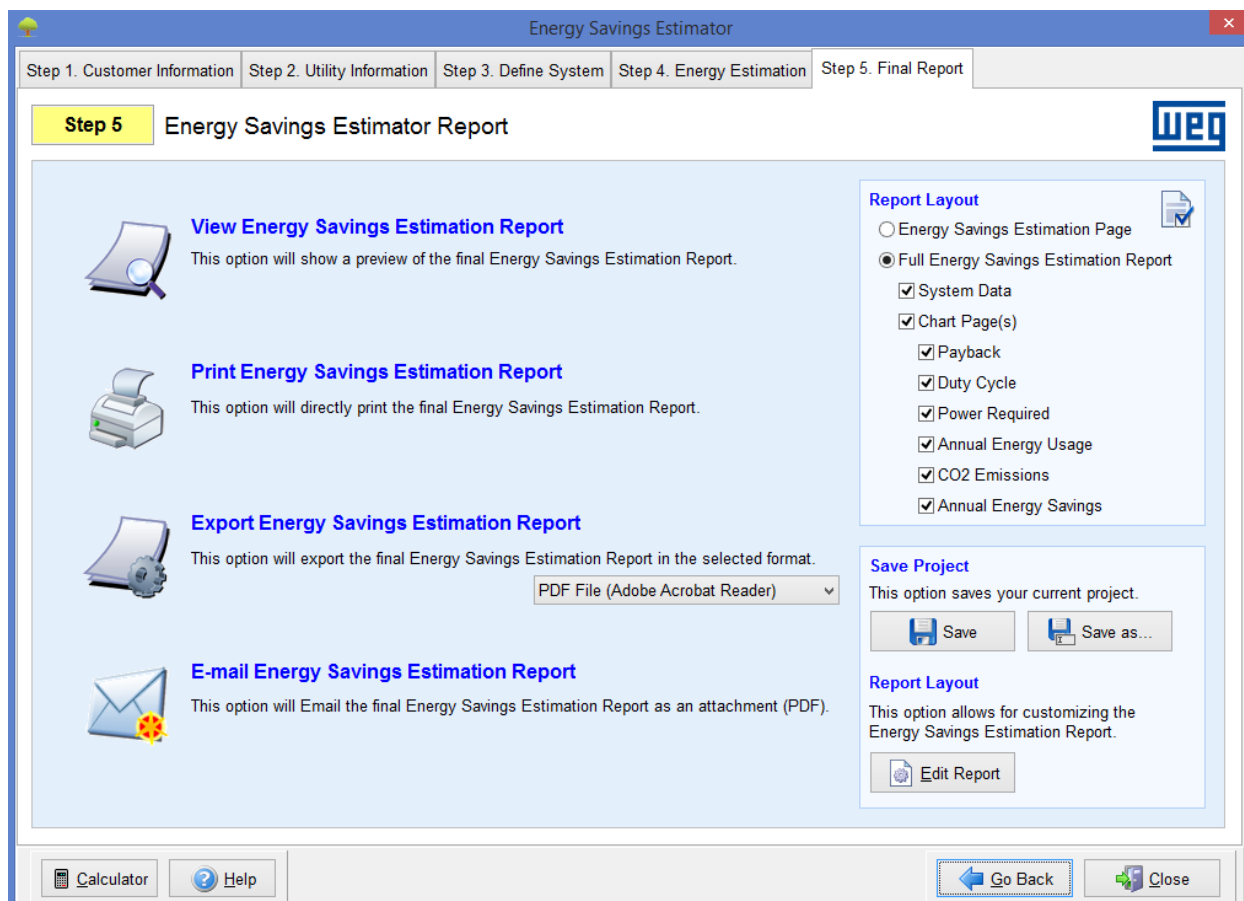


Рисунок 5.13 – Окно шага 5 в примере в WEG

Посмотреть отчет об оценке энергосбережения: Этот параметр позволяет пользователю просматривать окончательный отчет перед его печатью, электронной почтой или экспортом

Распечатать отчет об оценке энергосбережения: Эта опция позволяет пользователю распечатать окончательный отчет

Отчет об оценке энергосбережения по «экспортированию»: Эта опция позволяет пользователю экспортировать окончательный отчет, выбирая из нескольких популярных форматов файлов

Отчет по оценке энергосбережения по электронной почте:

Эта программа имеет возможность отправить итоговый отчет по электронной почте в виде файла PDF. Когда функция электронной почты активирована, появится окно электронной почты. Адрес электронной почты, введенный на шаге 1, будет заполнен вместе с темой «Отчет об энергосбережении». Пользователь может редактировать адрес электронной почты и тему получателя. Дополнительные комментарии могут быть добавлены. Заполнив эти поля, нажмите кнопку «Создать электронную почту», чтобы продолжить [9].

Настройка программы

Предпочтения: Настройка программы позволяет пользователю включать и выключать определенные параметры программы. Нажмите на опцию Program Setup, расположенную в меню File, чтобы получить доступ к свойствам.

Экран внедрения проекта: Показывает экран при каждом запуске нового проекта

Автоматический выбор мощности блока кВт / МВт: Если этот флажок установлен, программное обеспечение автоматически определяет единицы мощности в зависимости от расчета

Проверьте наличие обновлений: Возможность включить автоматическое обновление при запуске программы

Силовые установки: Выберите между кВт или HP, чтобы указать мощность двигателя

Единицы измерения / веса / давления: Выберите метрические (см, м, кг, тонна, Па) или английские (дюймы, футы, фунты, тонны, дюймы) единицы

Валюта: Выберите между несколькими предопределенными валютами или введите собственную валюту.

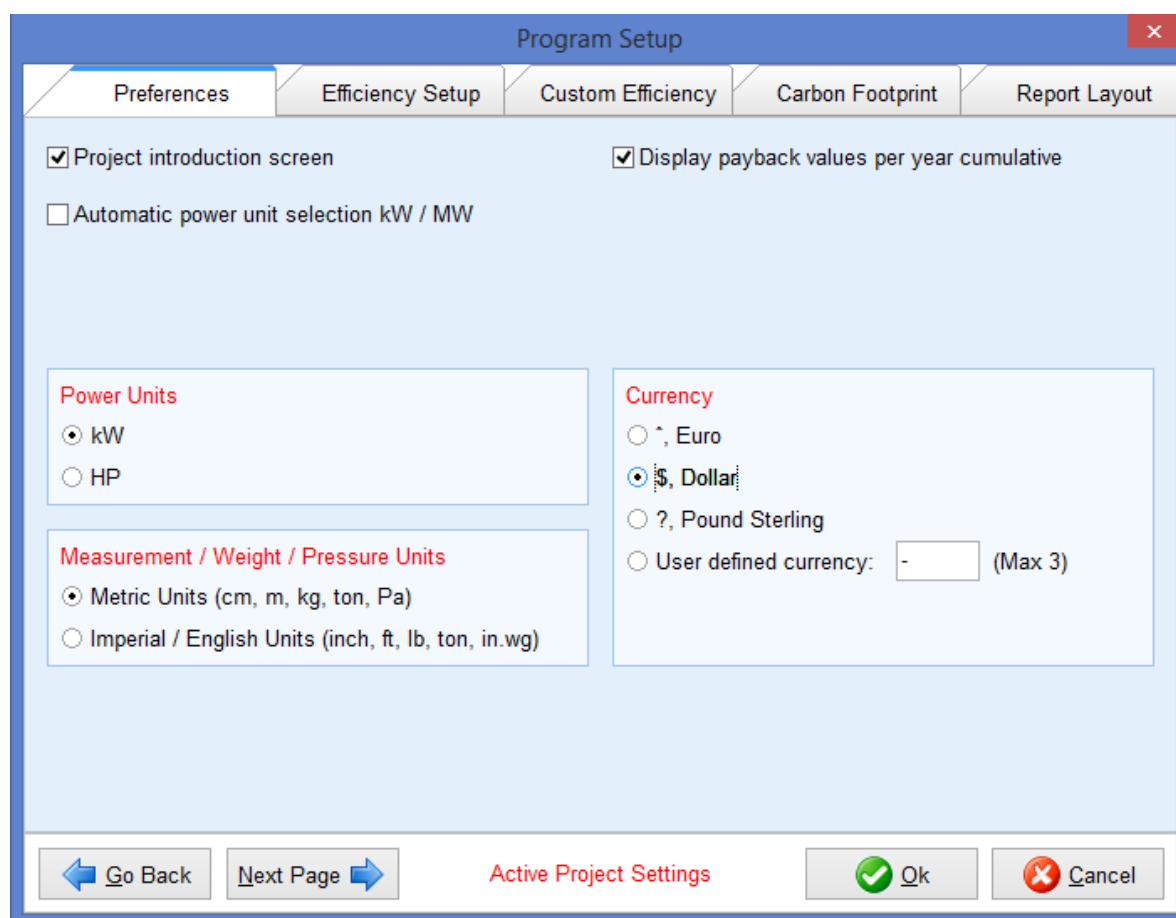


Рисунок 5.14 – Окно настройки единиц измерений в примере WEG

Настройки Эффективности:

ЧРП / Инвертор: Ввести КПД преобразователя частоты

Входная лопасть: Ввести эффективность лопатки при каждой скорости потока

Выходной демпфер: Ввести эффективность выпускного демпфера при каждой скорости потока

Дроссельный клапан: Ввести эффективность дроссельного клапана при каждой скорости потока

Сброс: Сброс значений эффективности до их значений по умолчанию

Program Setup

Preferences Efficiency Setup Custom Efficiency Carbon Footprint Report Layout

Efficiency Setup

Reset

VFD / Inverter	Flow	Inlet Vane	Outlet Damper	Throttling Valve
97,0 %	100%	1,0000	1,0000	1,0000
	90%	0,8100	0,7683	0,7683
	80%	0,6400	0,5725	0,5725
	70%	0,4900	0,4098	0,4098
	60%	0,3600	0,2789	0,2789
	50%	0,2500	0,1767	0,1767
	40%	0,1600	0,1012	0,1012
	30%	0,0910	0,0490	0,0490
	20%	0,0400	0,0179	0,0179
	10%	0,0100	0,0033	0,0033

Go Back Next Page Active Project Settings Ok Cancel

Рисунок 5.15 –Окно задания параметров в примере WEG

Пользовательская эффективность: Создайте до двух дополнительных систем сравнения, которые можно выбрать на шаге 3.

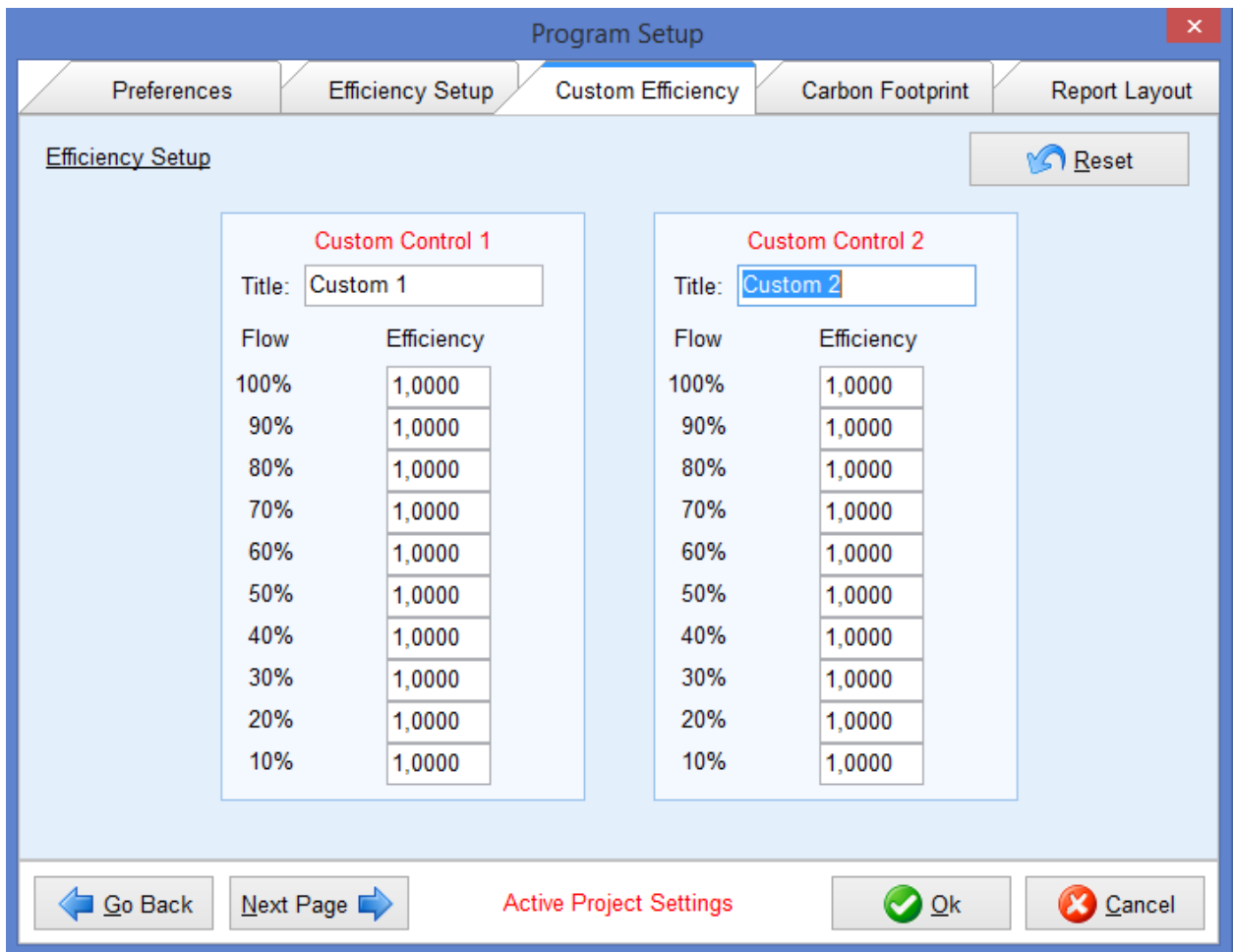


Рисунок 5.16 – Окно добавления собственных систем в примере WEG

Углеродный след:

Выбросы углерода: Выберите топливо, используемое для производства электроэнергии

Сброс: Сбросить значения выбросов углекислого газа до значений по умолчанию

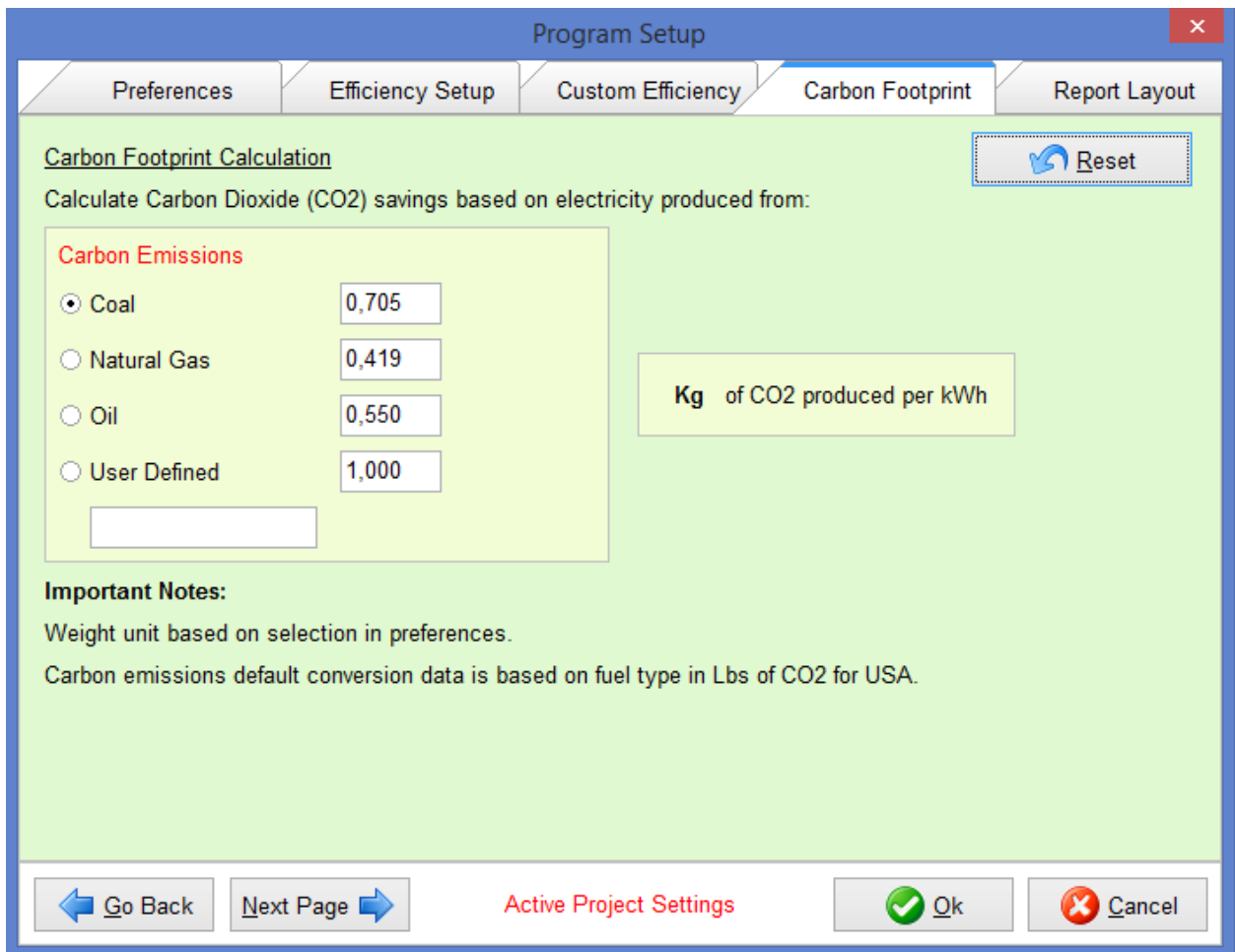


Рисунок 5.17 – Окно задания коэффициента выбросов в примере WEG[9].

Макет отчета:

Информация об адресе компании: Добавьте информацию о вашей компании в отчет ESE.

Подготовлено: Добавьте свое имя в отчет ESE

Пользовательское Наименование логотипа: Добавить собственный логотип в отчет ESE.

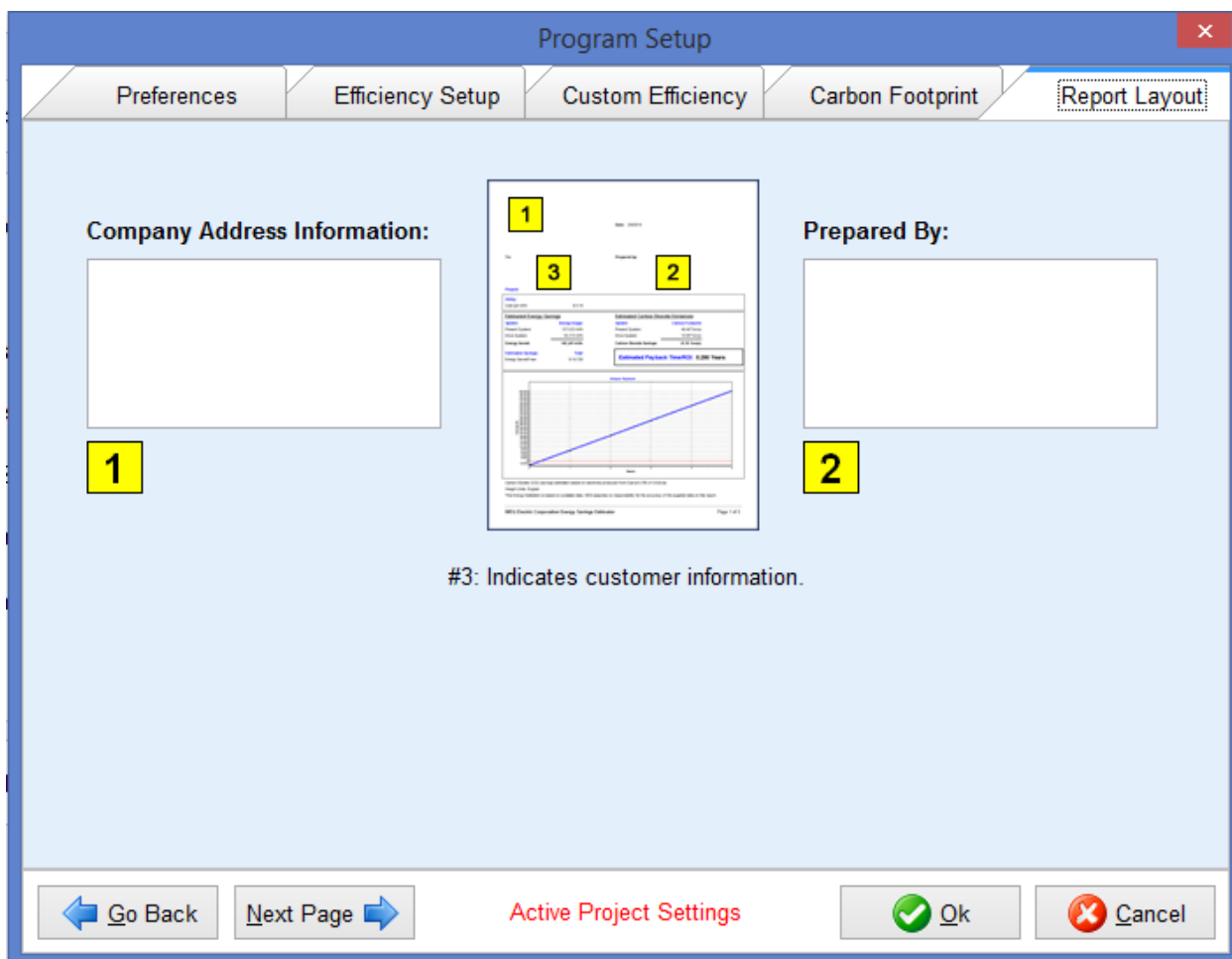


Рисунок 5.18 –Окно макета отчета в примере WEG [9].

5.2 EneSaveCalc

В 2018 году при выполнении дипломного проекта на тему «Повышение энергоэффективности нагнетателей АО АлЭС ТЭЦ-2» был создан код программного продукта, а также инструкция к использованию. В последствие тот был доработан, а именно:

1. Добавлены единицы измерений.
2. Появилась возможность работать без запуска MSVisualStudio благодаря доработке кода. Другими словами, открыть по щелчку на Рабочем столе.
3. Программный продукт переименован из «Расчет потребления и прогнозируемой экономии энергии насоса Д630-90» в «EneSaveCalc» [10].

5.3 Знакомство с ABB EnergySave Calculator

EnergySave Calculator – онлайн-программа компании ABB, которая позволяет в режиме реального времени рассчитать внедрение ЧРП на насосах,

вентиляторах, а также компрессорах. В реалиях ТЭЦ-2 и ограниченности исходных данных, она способствует решению проблемы потребления сжатого воздуха.

1. В начале расчета выбирается страна и отрасль, чтобы производитель смог подобрать более подходящий ПЧ (рис. 5.19).

The screenshot shows the ABB EnergySave Calculator interface. At the top, the ABB logo is in red, followed by the text "EnergySave Calculator". Below this, a breadcrumb trail reads "Application > Compressor". There are two tabs: "Basic" and "Advanced", with "Advanced" being the active tab. Under the "Advanced" tab, there are two expandable sections: "General information" and "Existing system". The "General information" section contains two dropdown menus: "Country" and "Industry", both currently showing "Select...". The "Existing system" section contains a "Working pressure" slider ranging from 0 bar to 30 bar, with a circular handle positioned at 7 bar. To the right of the slider is a text input field containing the number "7". Below the slider, there is a label "Enter the nominal pressure of the compressor".

Рисунок 5.19 – Основная информация и исходные данные в АВВ

2. Следом задаются паспортные данные компрессора (рис. 5.20).

Max. pressure

0 bar 30 bar

8

Enter the maximum pressure of the compressor

Inlet pressure

0 bar 2 bar

1.013

Enter the pressure of inlet air of the compressor

Temperature

0 °C 50 °C

20

Enter the temperature of inlet air

Size of pressure tank

0 m³ 10 m³

3

Enter the volume of the pressure tank

Supply voltage

400

Annual running time

0 hours 8760 hours

8760

i

Рисунок 5.20 – Исходные данные в АВВ (продолжение)

3. Затем задаются время работы компрессора во включенном и выключенном состоянии (рис. 5.21).

Motor power at working pressure i

0 kW 35000 kW

Nominal volume flow i

0 m³/min 50 m³/min

Consumption profile

v

Select how the consumption profile is input.

Duty ratio

50 %	50 %
Load	Unload

Unload time i

0 s 900 s

Unload power i

0% 100%

Рисунок 5.21 – Исходные данные в АВВ (продолжение) и задание времени работы

4. Заполняются ячейки с тарифом на электроэнергию и коэффициентом выбросов (рис. 5.22).

✓ **Economic data**

Energy price i
 \$/kWh
 Enter the price of energy per kilowatt-hour (kWh)

CO₂ emissions i
 kg/kWh

Investment cost i
 \$
 Enter the estimated additional cost of purchasing and installing a variable speed AC drive

Рисунок 5.22 – Экономические и экологические данные в АВВ

В итоге пользователь получает сравнение пульсаций давления (рис. 5.23) и потребляемой мощности (рис. 5.24). Сравниваются 2 варианта установки ПЧ и текущая система регулирования [11].

COMPRESSOR RUNNING PROFILE

Shows pressure and power as a function of time for old and new control method

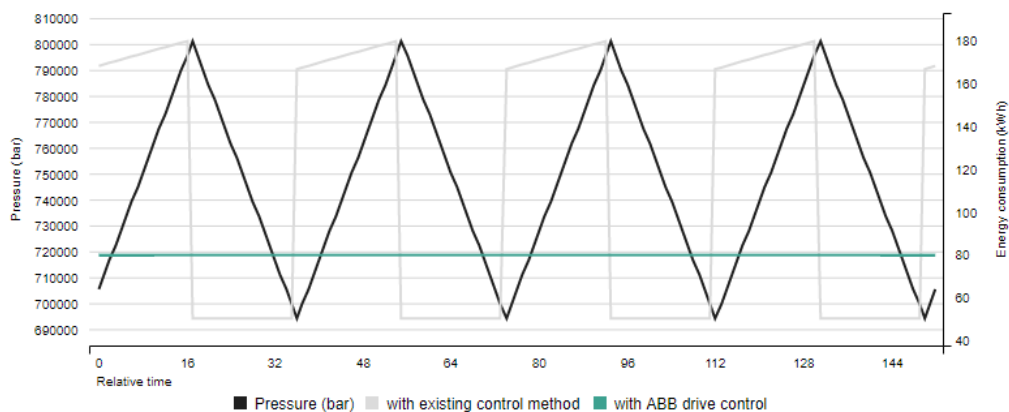


Рисунок 5.23 – График пульсаций давления в АВВ

TOTAL ENERGY CONSUMPTION

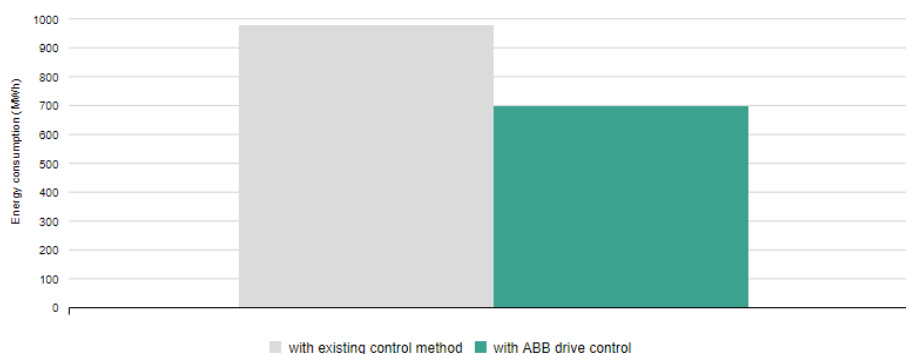


Рисунок 5.24– Диаграмма потребления энергии в АВВ

5. 4 Работа с Parker Energy Saving Calculator

Этот инструмент предназначен для принятия обоснованного решения при выборе фильтров сжатого воздуха. Позволяет определить реальный срок окупаемости фильтра сжатого воздуха.

Онлайн-программа будет предлагать сравнения только для фильтров, которые проходят независимую проверку в соответствии с ISO 12500-1:2007. При необходимости указываются отклонения от этого стандарта.

1. Шаг 1 – Выбор. Выберите, какие фильтры Parker и конкурента сравнивать (рис. 5.25).

Step	Vendor	Filter	Diff pressure
1	Parker	AOP015 (72.0m³/h)	0.125 bar
2	Donaldson	M0070 Plus (70.0m³/h)	0.14 bar
3	Beko	S050FDF (65.0m³/h)	0.15 bar

Рисунок 5.25– Выбор фильтров в Parker

2. Шаг 2 – Параметры. Указываются рабочие параметры компрессора

Compression / Power Consumption	200	kWh	i
or Free Air Delivery	30	m ³ /h	i
Annual Operating Hours	5000	h/a	i
Annual Power Consumption	1000000	kWh/a	i
Electricity Cost	0.1	\$/kWh	i

Back Next

Free air delivery metric conversion table

@ 20 °C, 1 bar(a)	@ 20 °C, 1 bar(a)	@ 0 °C, 1 bar(a)	@ 0 °C, 1 bar(a)	@ 60 °F, 1 bar(a)
m ³ /h	m ³ /min	Nm ³ /h	Nm ³ /min	SCFM
1	0.016666667	0.931775542	0.015529592	0.58054672

Рисунок 5.26 – Задание параметров компрессора для фильтров в Parker

3. Шаг 3 – Сравнение. Просмотр сравнительного использования энергии и потенциальной экономии



Рисунок 5.27 – Потребление энергии фильтрами в Parker

4. Шаг 4 – Сравнение окупаемости. Просмотр сравнительного периода окупаемости для фильтра и элементов


Vendor		
	Donaldson	Beko
Filter		
AOP015 (72.0m ³ /h)	M0070 Plus (70.0m ³ /h)	S050FDF (65.0m ³ /h)
Filter Cost		
\$ 60	\$ 40	\$ 55
Replacement Element Cost		
\$ 10	\$ 7	\$ 8
Replacement Elements Used (per year)		
QTY 1	QTY 1	QTY 1
Back	Compare	

Рисунок 5.27 – Стоимости фильтров в Parker

К сожалению, программа дает значения экономии энергии и снижения выбросов только в платной версии. По этой причине количество параметров, которые можно получить в Паркер ограничено.

5. 5 Роботы Crawl и Trial

В рамках стажировки в Национальном Технологическом Институте «Сендайский Колледж» (National Institute of Technology, Sendai College) был исследованы роботы Crawl (рис. 5.28), Trial (рис. 5.29) производства японской компании Omniment, обеспечивающие регулирование числа оборотов двигателей [13].

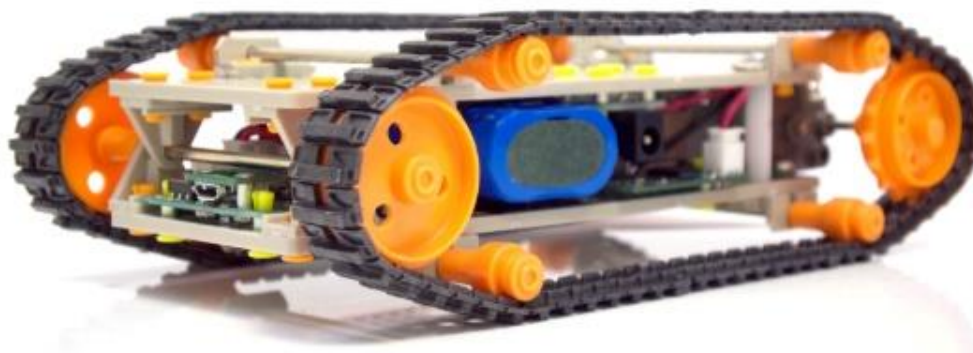


Рисунок 5.28 – Робот Crawl

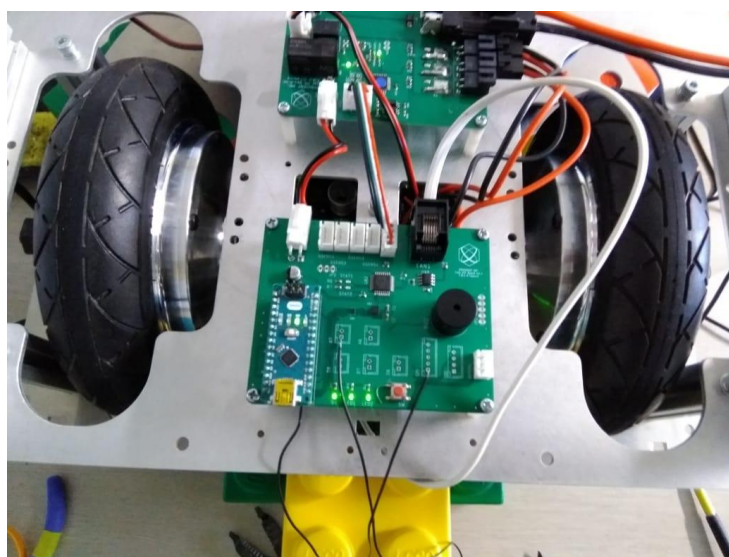


Рисунок 5.29 – Робот Trial

Crawl предназначен для понимания основ робототехники. Руководящий орган – Arduino Uno. Есть два маломощных бесщеточных мотора, крутящий момент которых передается на коробку передач. Робот может быть дополнен различными датчиками [13].

Trial - это робот, который оснащен двумя мотор-колесами, каждый мощностью 250 Вт, которые питаются от литий-ионного аккумулятора. Для каждого мотора есть драйвер, а также один для аккумулятора. Руководящий орган – Arduino Nano. Для управления используются код со своими библиотеками, кнопка питания и аварийная кнопка. Несмотря на тип двигателя, отличный от тех, которые установлены на насосах, принцип действия весьма схож. Преобразователь частоты уже встроен Trial, задается его библиотеками (рис. 5.30).

Данный робот был усовершенствован внедрением потенциометра, позволяющего получить плавное управление режимами пуска двигателя.

```

31 void loop() {
32   if (digitalRead(2) == 0) {
33     robot.writeMotorDir(0, 1);
34     robot.writeMotorDir(1, 1);
35     |   robot.writeMotorDir(0, 0);
36     robot.writeMotorDir(1, 0);
37     robot.writeMotorRun(2, true);
38     robot.writeSpeedRef(0, 100, 40);
39     robot.writeSpeedRef(1, 100, 40);
40     delay(600);
41     robot.writeSpeedRef(0, 200, 40);
42     robot.writeSpeedRef(1, 200, 40);
43     delay(600);
44     robot.writeSpeedRef(0, 300, 1000);
45     robot.writeSpeedRef(1, 300, 1000);
46     delay(600);
47     robot.writeSpeedRef(0, 400, 40);
48     robot.writeSpeedRef(1, 400, 80);
49     delay(3000);
50
51     robot.writeMotorRun(2, false);
52
53   }
54 }

```

```

23 void loop() {
24   // put your main code here, to run repeatedly:
25   if (digitalRead(2) == 0) {
26     robot.writeMotorRun(2, true);
27     robot.writeMotorDir(0, 1);
28     robot.writeMotorDir(1, 1);
29
30     robot.writeMotorTorqueRef(0, 30000);
31     robot.writeMotorTorqueRef(1, 30000);
32     while(1) {
33
34         int x = analogRead(A3);
35         if (x <= 100) {
36           robot.writeMotorRun(2, false);
37         }
38     } else {
39       robot.writeMotorRun(2, true);
40       delay(200);
41     }
42
43     robot.writeSpeedRef(0, x, 110);
44     robot.writeSpeedRef(1, x, 110);
45
46     delay(200);
47   }

```

Рисунок 5.30 – Программный код внедрения потенциометра

Учитывая то, что по законам сходства существует зависимость между скоростью оборотов двигателя и остальными параметрами вентилятора, существует возможность возмещения библиотек Crawl с маломощным поливным насосом. Это позволит создать мини-модель работающего циркуляционного насоса ТЭЦ-2.

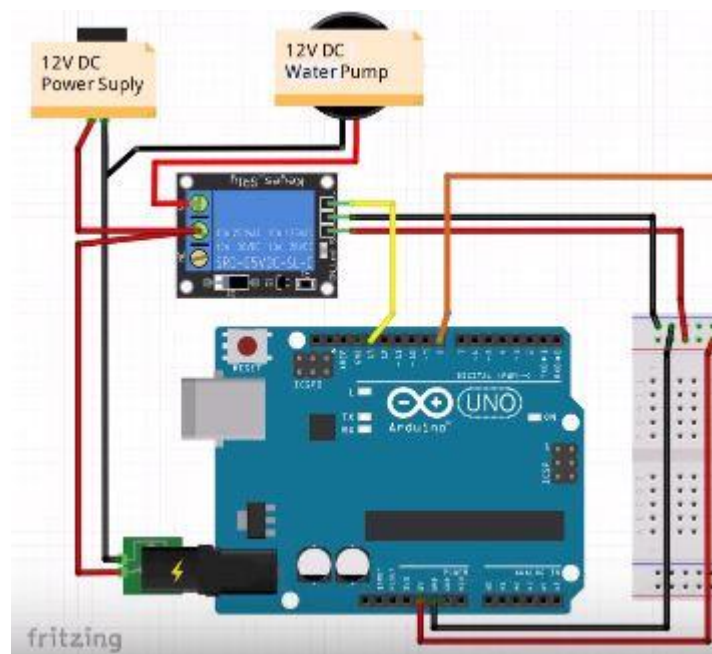


Рисунок 5.31 – Приблизительная схема соединения поливного насоса малой мощности с роботом Crawl.

Глава 6 Результаты расчетов программных приложений

6.1 Результаты насосов EneSaveCalc

ЭС Калькулятор, использующий формулы 3-5, позволил получить следующие значения (Приложение А).

Годовое потребление.

Таблица 6.1 – Результаты вычислений в EneSaveCalc: потребление энергии

Обозначение	Ед. изм.	700Д62	900Д80	Д6300	Кс 80 155	Кс 320 160
H1	м	70	82	30	156	175
Q1	м ³ /с	0,472	0,861	1,67	0,019	0,083
H2	м	66	72	26	154	165
Q2	м ³ /с	0,528	0,944	1,806	0,02	0,092
λ		0,89	0,912	0,925	0,95	0,902
Sф	с ² /м ⁵	71,428	26,7	8,461	51282	6349,2
Hф	м	85,901	101,79	53,597	174,51	218,73
Hф*	м	1,227	1,241	1,787	1,1186	1,25
T	ч	4000	4000	8760	8760	8760
η п		0,85	0,85	0,79	0,7	0,765
η м		0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Nб	кВт	426,56	893,37	672,79	41,724	206,45
Wгод	кВт	1836285	3843042	666119	417347	1955686

Экономия энергии в год.

Таблица 6.2 – Результаты вычислений в EneSaveCalc: экономия энергии

Обозначение	Ед. изм.	700Д62	900Д80	Д6300	Кс 80 55	Кс 320 60
Hб	м	71	84	35	167	190
Hм	м	65	75	23	150	162
Qб	м ³ /с	0,555	1	1,944	0,023	0,097
Qм	м ³ /с	0,444	0,806	1,22	0,012	0,05
λ		0,8	0,806	0,628	0,522	0,515
Hп	м	54,333	58,312	15,203	143,64	151,86
Hп*	м	0,765	0,694	0,434	0,86	0,799
Sп	с ² /м ⁵	54,108	25,687	5,238	44155	4052,6
w*		0,08	0,081	0,21	0,11	0,125
η п		0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
ζ		0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Nб	кВт	454,78	969,45	844,9	53,828	236,33
Wэк.год	кВт	60637	133570	1315794	31436	172526

6.2 Результаты применения WEG на дымососе ТЭЦ-2

Объектом применения программы стал дымосос ДН-26х2-0,62(К).

Из табл. 2.10 берутся исходные данные, а из табл. 3.4 данные расхода, которые вводятся в программу.

Следуя алгоритму расчета в 3.1, получаем следующие значения (Приложение В):

Время работы в год: 5500 ч

Нынешнее потребление: 1689279 кВт

С учетом внедрения ЧРП: 590844 кВт

Экономия энергии составит: 1098435 кВт (Приложение В).

6.3 Результаты применения АВВ на компрессоре ТЭЦ-2

Объектом применения программы стал компрессор ВПЗ-20/8.

Из табл. 3.1 берутся исходные данные, которые вводятся в программу.

Следуя алгоритму расчета в 3.1, получаем следующие значения (Приложение Г):

Время работы в год: 4000 ч

Нынешнее потребление: 546700 кВт

С учетом внедрения ЧРП: 314300 кВт

Экономия энергии составит: 232300 кВт (Приложение Г).

Глава 7 Экономические и экологические эффекты

7.1 Окупаемость частотно-регулируемого электропривода и снижение выбросов в насосах турбинного и котельного цехов

Прогнозируемая экономия энергии насосов станции за рабочий год [4]

$$\begin{aligned}\Delta W_{700Д62} &= 1836284 \text{ кВтч}; \\ \Delta W_{900Д80} &= 3873042 \text{ кВтч}; \\ \Delta W_{Кс320-160} &= 6661181 \text{ кВтч}; \\ \Delta W_{Кс80-155} &= 1955686 \text{ кВтч}; \\ \Delta W_{Д6300} &= 417347 \text{ кВтч};\end{aligned}$$

Если коэффициент выбросов K равен $0,5 \text{ кгСО}_2/\text{кВтч}$ [14], то получим снижение выбросов в окружающую среду

$$M = \Delta W K_{\text{выб}};$$

Прогнозируемая экономия энергии [4], %,

$$W_{\text{экон.год}} = (W_{\text{резул}} / W_{\text{год}}) * 100\%;$$

Стоимость сэкономленной электроэнергии [4], тенге,

$$\Delta C_w = S_w * \Delta W,$$

где ΔW – снижение потребления электроэнергии за рабочий год станции, кВт ч;

S_w – себестоимость электроэнергии станции, тенге/(кВт ч);

Полагаем, что частотно-регулируемым приводом оснащаются по одному насосу. Тем самым, дополнительные капитальные вложения могут составить сумму, тенге,

$$\Delta K = 1,30P;$$

Дополнительные амортизационные отчисления, обусловленные использованием частотно-регулируемого электропривода в насосах турбинного и котельного цехов [4], тенге,

$$\Delta A = A \Delta K,$$

где $A = 0,01 A\%$ – амортизационные отчисления от кап. вложений,

$A\% = 8,3\%$ – норма амортизационных отчислений для

электротехнического оборудования[4].

Простой ожидаемый срок окупаемости ПЧ, оснащенной частотно-регулируемым электроприводом, будет равен (если не учесть экономии воды)

$$ROI = \Delta K / (\Delta C_w - \Delta A);$$

Результаты выводятся в табл. 7.1

Таблица 7.1 – Окупаемость и выбросы CO₂

Величина	700Д62	900Д80	Д6300	Кс320-160	Кс80-155
W, кВтч	1836284	3873042	6661181	1955686	417347
ΔW, кВтч	60637	133570	1315764	172527	31436
ΔW, %	3,3	3,4	19,8	8,8	7,5
K _{выб}	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
M, кгCO ₂ /кВтч	30318,5	66785	657882	86263,5	15718
S, тг/кВтч	11	11	11	11	11
C, тг	667007	1469270	14473404	1897797	345796
P, тг	2015000	2015000	2821000	2015000	2015000
ΔK, тг	2619500	2619500	3667300	2619500	2619500
A	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
ΔA, тг	217418,5	217418,5	304385,9	217418,5	217418,5
ROI, лет	5,8	2,1	0,3	1,6	20,4

7.2 Окупаемости и снижение выбросов остальными программами

Вычисления в АВВ, ВЭГ дают нам следующие значения

Таблица 7.2 - Окупаемость в WEG. АВВ

Наименование	Обозн	Ед.изм.	WEG	АВВ
Снижение потребления энергии	ΔW	кВт	1098435	232300
Снижение потребления энергии	ΔW	%	65	42,5
Себестоимость электроэнергии	S	\$	0,025	0,03
Снижение выбросов	M	кгCO ₂ /кВтч	549220	116200
Стоимость сэкономленной электроэнергии	C	\$	27461	6970
Срок окупаемости	ROI	лет	0,153	0,5

В случае Parker, бесплатная версия программы может вычислить лишь следующие значения для внедрения фильтра F6KB (Приложение Д):

1. Потребление энергии фильтра W , кВтч/год: 5913,6;
2. Стоимость потраченной электроэнергии C' : \$118,17;
3. Срок окупаемости ROI, лет: 1,82.

Заключение

Подводя итоги выполнения магистерской диссертации, можно прийти к следующим выводам:

1. Сделан анализ систем, технических данных насосов, воздуходувок и компрессоров АО «АлЭС» ТЭЦ- 2.

2. Рассмотрен турецкий опыт по внедрению энергосберегающих технологий на вентиляторах первичного воздуха.

4. Изучены такие программные продукты энергосбережения, как WEG Energy Saving Estimator для вентиляторов, ABB EnergySave Calculator и Parker's Energy Saving Calculator для компрессоров. Составлены соответствующие алгоритмы выполнения расчетов.

3. Доработано созданное ранее приложение, которое получило название EneSaveCalc.

5. Применены приложения для расчетов потенциала энергосбережения. При использовании вышеназванных программных продуктов, был выявлен высокий потенциал энергосбережения у ряда нагнетателей ТЭЦ-2. Расчеты показывают, что в год потребление мощности снижается:

- насос Д6300 на $\Delta W_{Д6300} = 417347$ кВтч;
- насос 700Д62 на $\Delta W_{700Д62} = 1836284$ кВтч;
- насос 900Д80 на $\Delta W_{900Д80} = 3873042$ кВтч;
- дымосос ДН-26х2-0,62(К) на $\Delta W_{ДН-26} = 1098435$ кВтч
- компрессор ВПЗ-20/8 на $\Delta W_{ВПЗ-20/8} = 232300$ кВтч.

Для насосов Кс 80 155 и Кс 320 160 программа EneSaveCalc не подходит.

6. Определены экономические и экологические эффекты внедрения энергосберегающих технологий. В случае применения ЧРП на:

- насос Д6300 срок окупаемости равен 0,26 лет, а выбросы снижаются в год на 657882 кг за каждый кВтч;
- насос 700Д62 срок окупаемости равен 5,83 лет, а выбросы снижаются в год на 30319 кг за каждый кВтч;
- насос 900Д80 срок окупаемости равен 2,09 лет, а выбросы снижаются в год на 66785 кг за каждый кВтч;
- дымосос ДН-26х2-0,62(К) срок окупаемости равен 0,15 лет, а выбросы снижаются в год на 549220 кг за каждый кВтч;
- компрессор ВПЗ-20/8 срок окупаемости равен 0,5 лет, а выбросы снижаются в год на 116200 кг за каждый кВтч.

7. Предложено использование фильтра сохранения воздуха, которое гасит пульсации при работе компрессора.

8. Выявлена возможность совмещения библиотек робота Crawl с поливным насосом. Это позволит создать мини-модель работающего циркуляционного насоса ТЭЦ-2.

9. Результаты диссертации могут быть применены отечественными энергоаудиторами при проведении энергоаудита.

10. Алгоритмы к прикладным программам будут полезны при выполнении лабораторных работ по соответствующим дисциплинам.

Список использованной литературы

1. Сводный отчет Всемирного Банка. Реализация потенциала энергоэффективности в городах Казахстана. // Документы и отчеты Всемирного банка. Март 2018 г. URL: <http://documents.worldbank.org/curated/en/926231521613138677/pdf/Synthesis-report-unlocking-energy-efficiency-potentials-in-cities-in-Kazakhstan.pdf> (дата обращения 18.03.2020).
2. Калмыков Д.Е. Маликова А.Д. Загнанные в уголь. Обзор. Угледобыча и угольная энергогенерация в Казахстане. Состояние и перспективы. – Караганда: Центр по внедрению новых экологически безопасных технологий, 2017 URL: https://bankwatch.org/wp-content/uploads/2018/01/KZ-Coal_RU.pdf (дата обращения 27.04.2020)
3. Технические данные ТЭЦ-2
4. Increasing energy efficiency of fans in thermal power plants. Energy efficiency services for power plants // Сименс Турция. 2017. URL: <https://www.siemens.com.tr/i/Assets/enerji-verimliligi/docs/increasing-energy-efficiency-of-fans-in-thermal-energy-plants.pdf> (дата обращения 06.04.2020)
5. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках. - М.: Энергоатомиздат, 2006
6. Guidelines for energy auditing of pulverised coal/lignite fired thermal power plants. // Индо-германская энергетическая программа. Декабрь 2009. http://cea.nic.in/reports/others/thermal/tpece/energy_audit_manual_cande_2013.pdf (дата обращения 27.04.2020)
7. Энергетическая эффективность благодаря приводам с регулируемой скоростью вращения, оснащенным преобразователями частоты. // Ристимяки. Т. CentralLineHoneyWell GmbH. 2008 URL: <http://resideo-russia.ru/UserFiles/File/cl/CL-VFD-0808-rus.pdf> (дата обращения 26.05.2020)
8. Air Saver Unit Valve Reduces Energy Use in Air Blow Applications // The Hope Group. <https://www.thehopegroup.com/product-lines/pneumatics/air-saver-valve/>
9. Learn how you can save money by installing a Variable Frequency Drive // WEG Energy Saving Estimator. URL: <https://www.weg.net/institutional/AT/de/solutions/energy-efficiency/see-simulator> (дата обращения 02.06.2020)
10. Каирлин А. М. Повышение энергоэффективности нагнетателей АО «АлЭС» ТЭЦ-2: Дипломный проект бакалавра техники и технологии: 18.06.18. – Алматы, 2018
11. EnergySave Calculator. // ABB. <https://energysave.abb-drives.com/compressor> (дата обращения 02.06.2020)
12. Parker Energy Saving Calculator //Parker. URL: <https://parkerenergycalculator.com/#welcome-content> (дата обращения 02.06.2020)

13. Let's enjoy moving by freely moving the robot // Omniment Inc. URL: <http://omniment.co.jp/crawl/en> (дата обращения 07.07.2019)

14. Казахстан: повышение энергоэффективности в г. Астане и г. Алматы. Муниципальный план повышения энергоэффективности г. Алматы. // Документы и отчеты Всемирного банка. Октябрь 2017. URL: <http://documents.worldbank.org/curated/en/855641510934183633/pdf/121463-ESM-P130013-PUBLIC-KEEPAlmatyEEPlanNovengfinal.pdf> (дата обращения 17.05.2020)

Приложение А

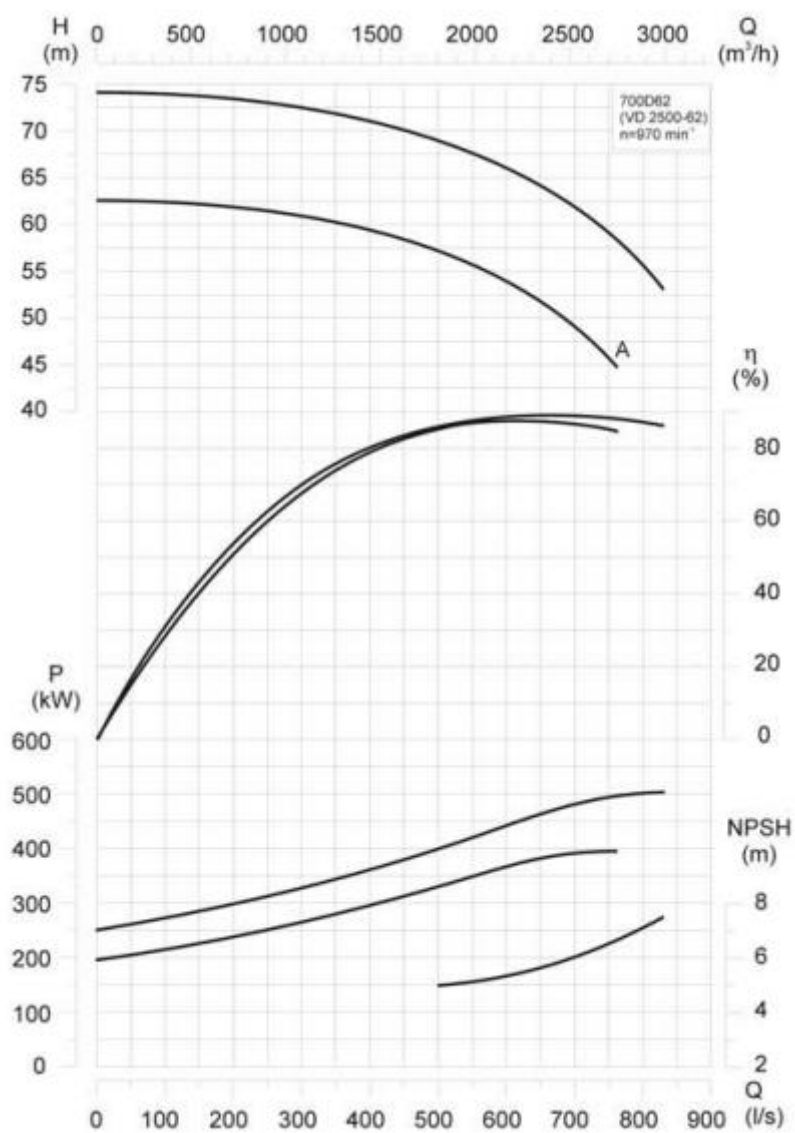


Рисунок А 1 – Характеристика насоса 700Д62

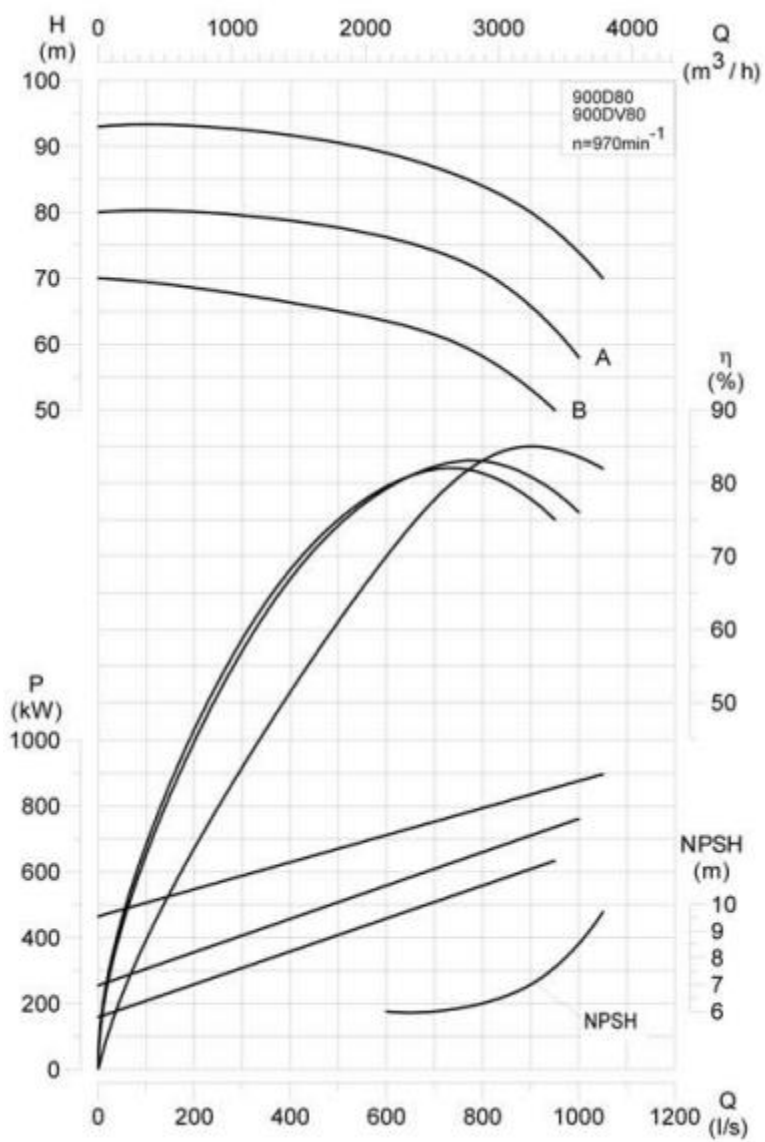


Рисунок А 2 – Характеристика насоса 900Д80

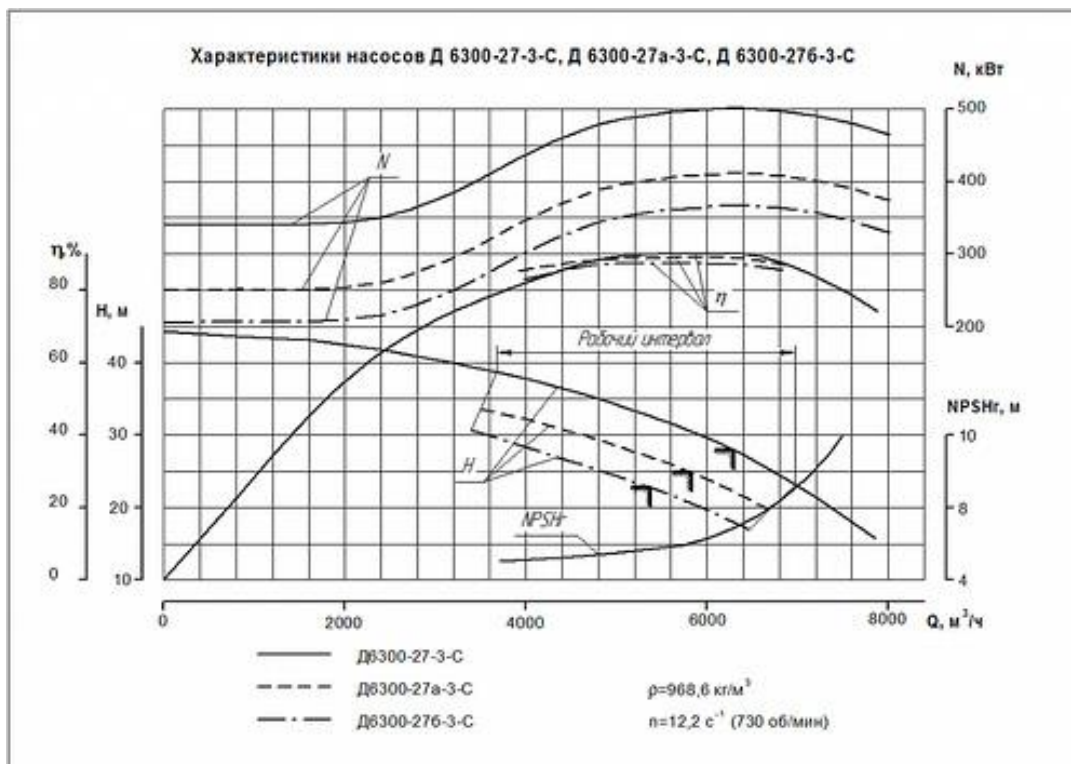


Рисунок А 3 – Характеристика насоса Д6300

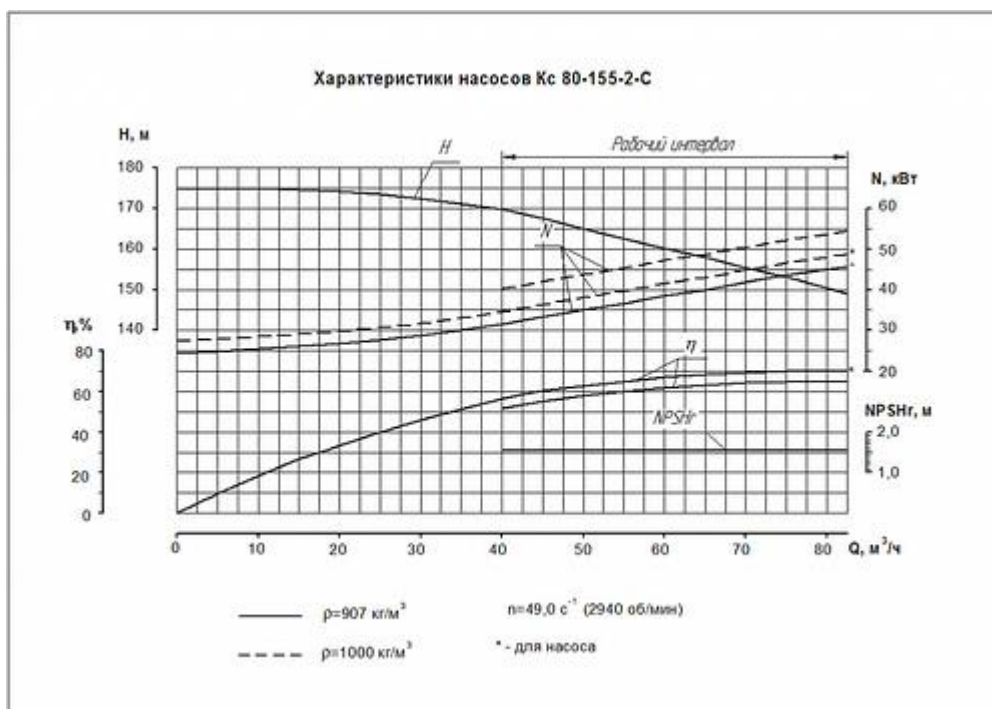


Рисунок А 4 – Характеристика насоса Кс 80-155

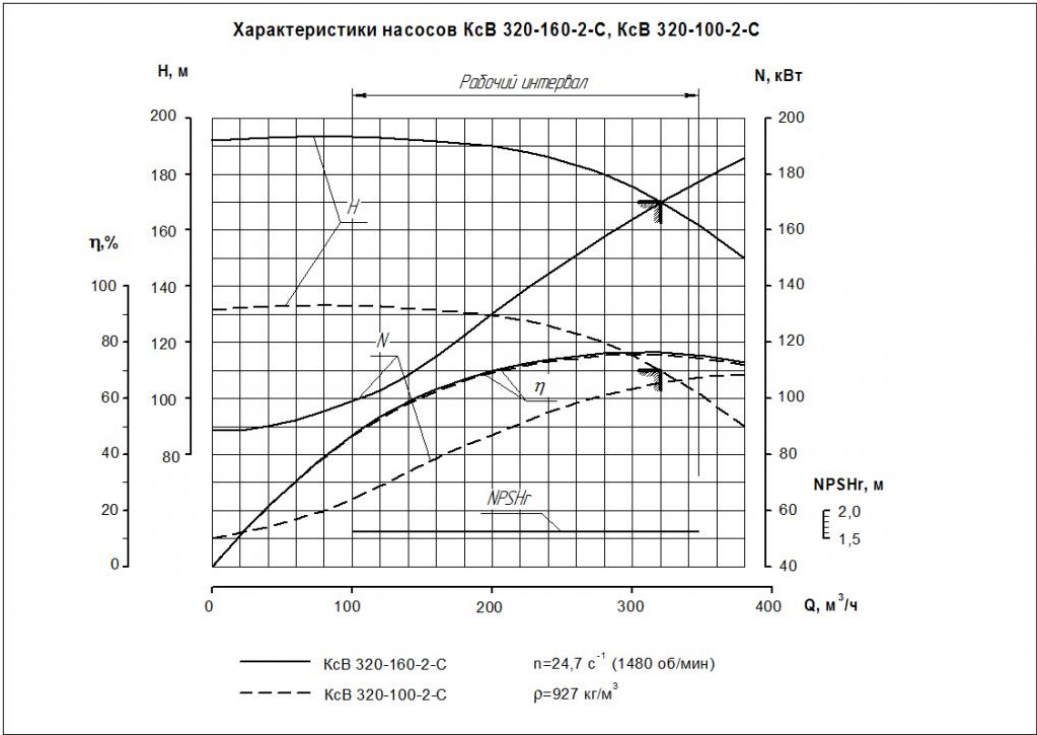


Рисунок А 5 – Характеристика насоса Кс 320-160

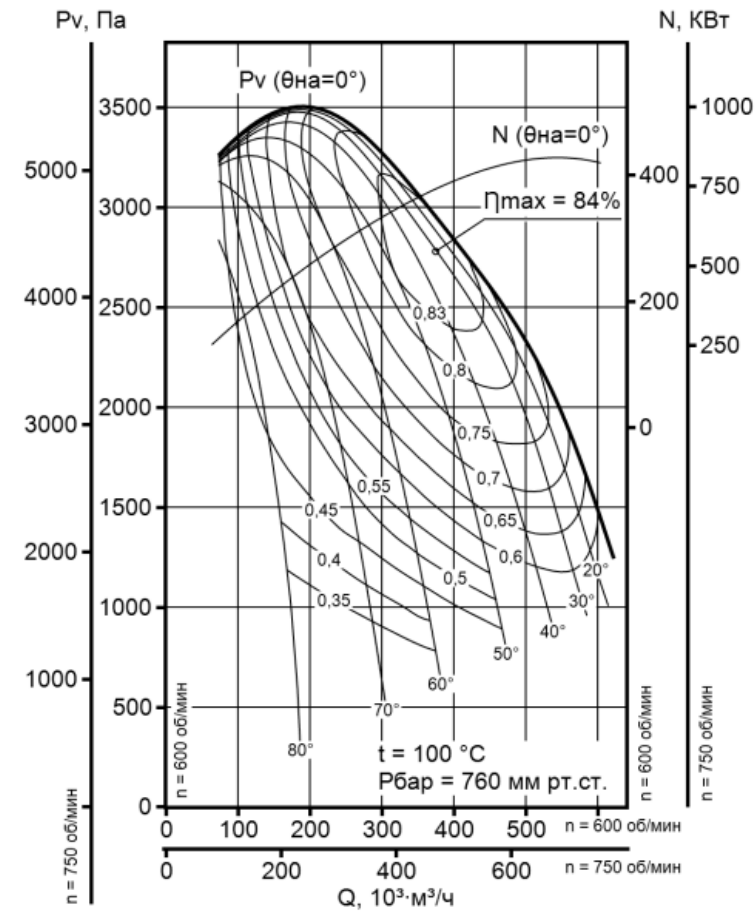


Рисунок А 6 – Характеристика дымососа ДН-26x2-0,62К

Приложение В

Расчет энергопотребления насоса

H1 , м	70	Нф , м	85,913	Расч
H2 , м	66	Нф* , м	1,2273	Расч
Q1 , м3/с	0,472	ηн	0,85	
Q2 , м3/с	0,528	T , ч	4000	
λ	0,8933	ηэд	0,9	Расч
Sф , с2/м5	71,428	Nб , кВт	426,56	Расч

Wгод , кВт 1836284,66483 Расч

Расчет результирующей экономии энергии насоса

Qб , м3/с	0,555	S , с2/м5	54,108	Расч
Qм , м3/с	0,444	Нп , м	54,333	Расч
Nб , м	71	Нп* , м	0,7652	Расч
Нм , м	65	ηпр	0,98	
λ	0,8	ζ	0,03	Расч
w*	0,08	Nб , кВт	454,78	Расч

Wрез , кВт 60637,3411764 Расч

Wэк.год , % 3,30 Расч

Рисунок В 1 – Результаты расчета снижения энергопотребления насоса 700Д62 на программе EneSaveCalc

Расчет энергопотребления насоса

H1 , м	82	Нф , м	101,79	Расч
H2 , м	78	Нф* , м	1,2413	Расч
Q1 , м3/с	0,861	ηн	0,85	
Q2 , м3/с	0,944	T , ч	4000	
λ	0,9120	ηэд	0,9	Расч
Sф , с2/м5	26,693	Nб , кВт	893,37	Расч

Wгод , кВт 3873041,80956 Расч

Расчет результирующей экономии энергии насоса

Qб , м3/с	1	S , с2/м5	25,687	Расч
Qм , м3/с	0,806	Нп , м	58,312	Расч
Nб , м	84	Нп* , м	0,6941	Расч
Нм , м	75	ηпр	0,98	
λ	0,806	ζ	0,03	Расч
w*	0,081	Nб , кВт	969,45	Расч

Wрез , кВт 133569,882352 Расч

Wэк.год , % 3,44 Расч

Рисунок В 2 – Результаты расчета снижения энергопотребления насоса 900Д80 на программе EneSaveCalc

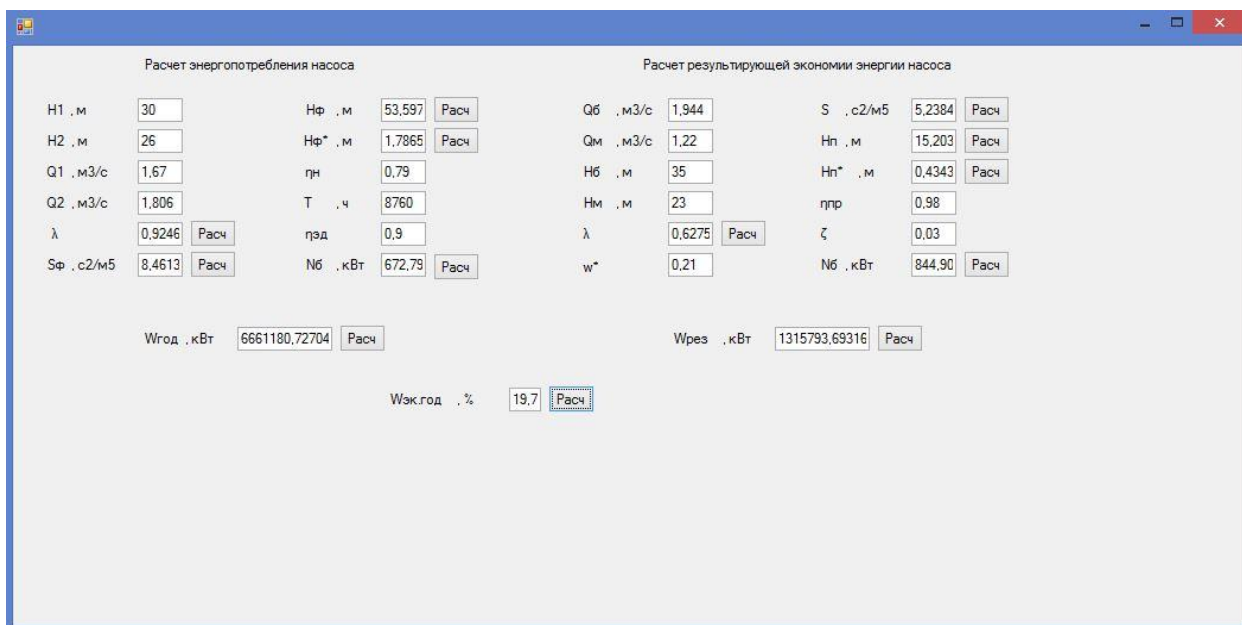


Рисунок В 3 – Результаты расчета снижения энергопотребления насоса Д6300 на программе EneSaveCalc

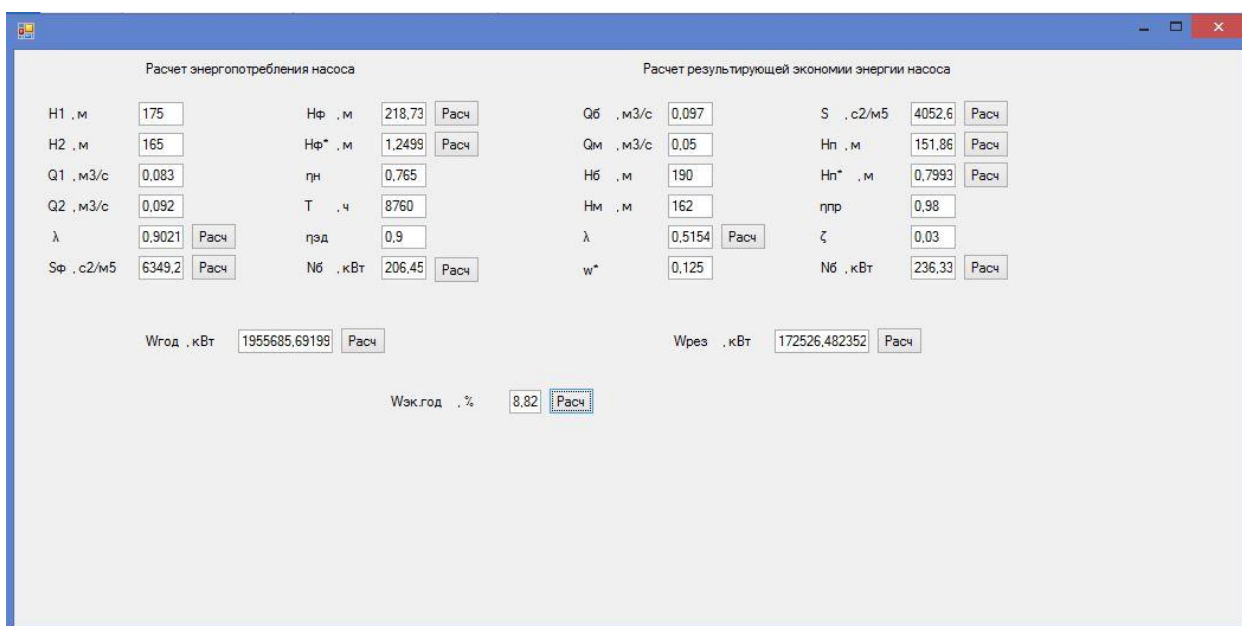


Рисунок В 4 – Результаты расчета снижения энергопотребления насоса КсВ 320-160 на программе EneSaveCalc

Расчет энергопотребления насоса				Расчет результирующей экономии энергии насоса			
H1, м	156	Hф, м	174,51 <input type="button" value="Расч"/>	Qб, м3/с	0,023	S, с2/м5	44155, <input type="button" value="Расч"/>
H2, м	154	Hф*, м	1,1186 <input type="button" value="Расч"/>	Qм, м3/с	0,012	Hп, м	143,64 <input type="button" value="Расч"/>
Q1, м3/с	0,019	пн	0,7	Hб, м	167	Hп*, м	0,8601 <input type="button" value="Расч"/>
Q2, м3/с	0,02	T, ч	8760	Hм, м	150	ппр	0,98
λ	0,95 <input type="button" value="Расч"/>	гэд	0,9	λ	0,5217 <input type="button" value="Расч"/>	ζ	0,03
Sф, с2/м5	51282, <input type="button" value="Расч"/>	Nб, кВт	43,724 <input type="button" value="Расч"/>	w*	0,11	Nб, кВт	53,828 <input type="button" value="Расч"/>
Wгод, кВт				Wрез, кВт			
417346,752921 <input type="button" value="Расч"/>				31436,0609142 <input type="button" value="Расч"/>			
Wэк.год, %				7,53 <input type="button" value="Расч"/>			

Рисунок В 5 – Результаты расчета снижения энергопотребления насоса Кс 80-155 на программе EneSaveCalc

Приложение В




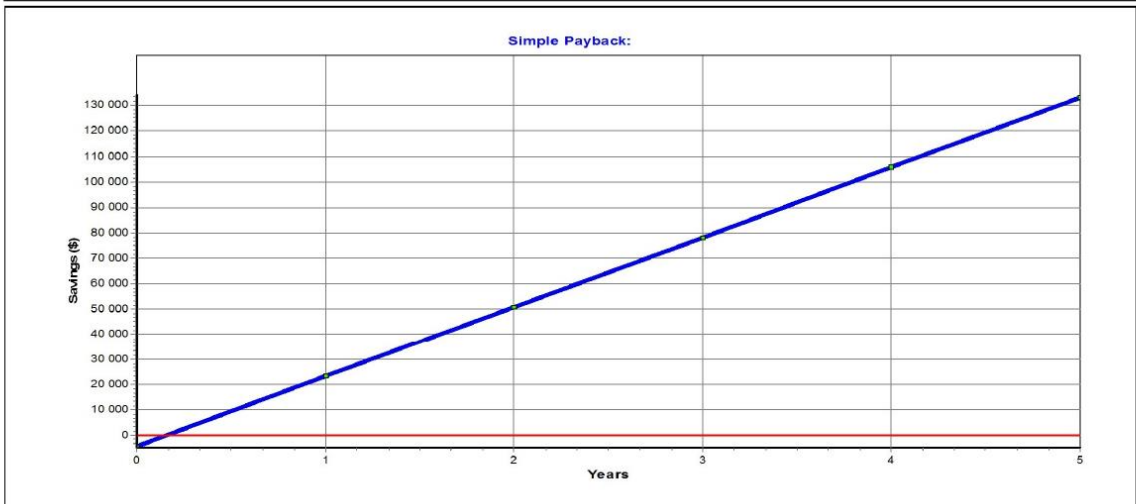
Date: 10.06.2020

To:

Prepared by:

Project:

Utility: ALES		Estimated Energy Savings		Estimated Carbon Dioxide Emissions		
Cost per kWh: \$ 0,025		System	Energy Usage	System	Carbon Footprint	
		Present System:	1 689 279 kWh	Present System:	844,64 Ton(s)	
		Drive System:	590 844 kWh	Drive System:	295,42 Ton(s)	
		Energy Saved:	1 098 435 kWh	Carbon Dioxide Savings:	549,22 Ton(s)	
Estimated Savings:		Total		Estimated Payback Time/ROI: 0,153 Years		
Energy Saved/Year:		\$ 27 461				



Carbon Dioxide (CO2) savings estimation based on electricity produced from Coal at 0,500 of CO2/Kg

Weight Units: Metric

This Energy Estimation is based on available data, WEG assumes no responsibility for the accuracy of the supplied data on this report.

Рисунок В 1 – Общие результаты в WEG

ID Fan

System Data

Fan System

System Identification: ID Fan
 Type: Fan System
 Flow Control: Inlet Vane

Utility		Motor Data		Duty Cycle Information		
Cost per kWh:	\$ 0,025	Power:	573 kW	Flow (%)	Time (%)	Time (Hours)
Alternate Rate:	\$ 0,100	Efficiency:	90 %	100 %	0 %	0
Utility Incentive:	\$ 0 per kW; One-time			90 %	0 %	0
				80 %	0 %	0
Drive Data				70 %	34 %	1 870
Drive Cost:	\$ 3 000			60 %	8 %	440
Install Cost:	\$ 1 200			50 %	8 %	440
# Systems:	1			40 %	8 %	440
Operation				30 %	42 %	2 310
Hours per Year of Operation:	5 500 Hours			20 %	0 %	0
				10 %	0 %	0
Total Hours:	5 500 Hrs					

Estimated Carbon Dioxide Emissions

System	Carbon Footprint Single	Carbon Footprint Total
Present System:	844,64 Ton(s)	844,64 Ton(s)
Drive System:	295,42 Ton(s)	295,42 Ton(s)
Savings:	549,22 Ton(s)	549,22 Ton(s)



Payback Analysis

	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5	Total
Equipment Cost:	\$ 3 000					\$ 3 000
Installation Cost:	\$ 1 200					\$ 1 200
Utility Rebate:	\$ 0					\$ 0
Energy Saved:	\$ 27 461	\$ 27 461	\$ 27 461	\$ 27 461	\$ 27 461	\$ 137 304
Total:	\$ 23 261	\$ 50 722	\$ 78 183	\$ 105 643	\$ 133 104	\$ 133 104

Estimated Energy Savings

Operating Info:	Single	Total	Estimated Savings:	Single	Total
Operating Hours:	5 500 Hrs	5 500 Hrs	Energy Saved/Year:	\$ 27 461	\$ 27 461
Present System:	1 689 279 kWh	1 689 279 kWh	Demand Savings/Year:	\$ 0	\$ 0
Drive System:	590 844 kWh	590 844 kWh	Yearly Savings:	\$ 27 461	\$ 27 461
Energy Saved:	1 098 435 kWh	1 098 435 kWh	Estimated Payback Time:	0,153 Years	

Carbon Dioxide (CO2) savings estimation based on electricity produced from Coal at 0,500 of CO2/Kg

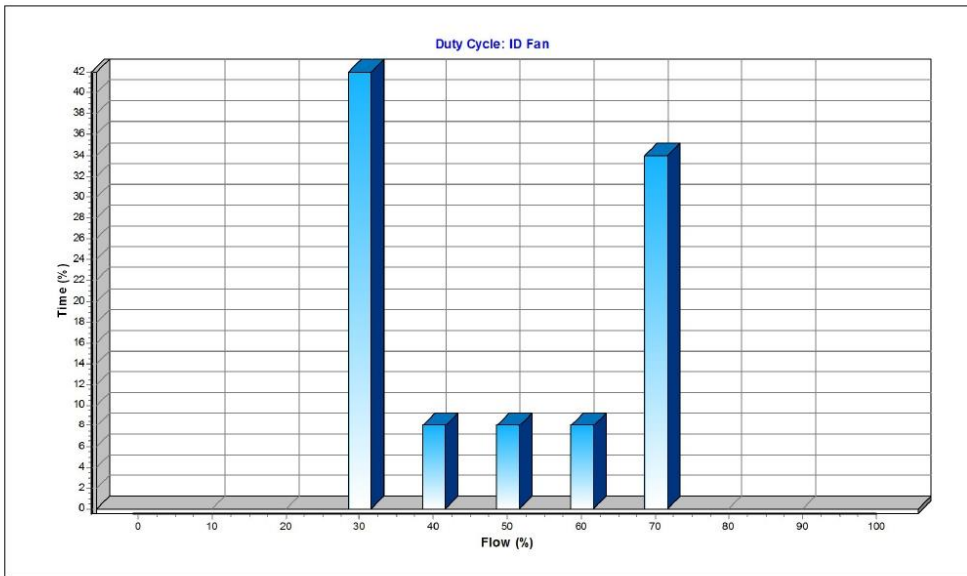
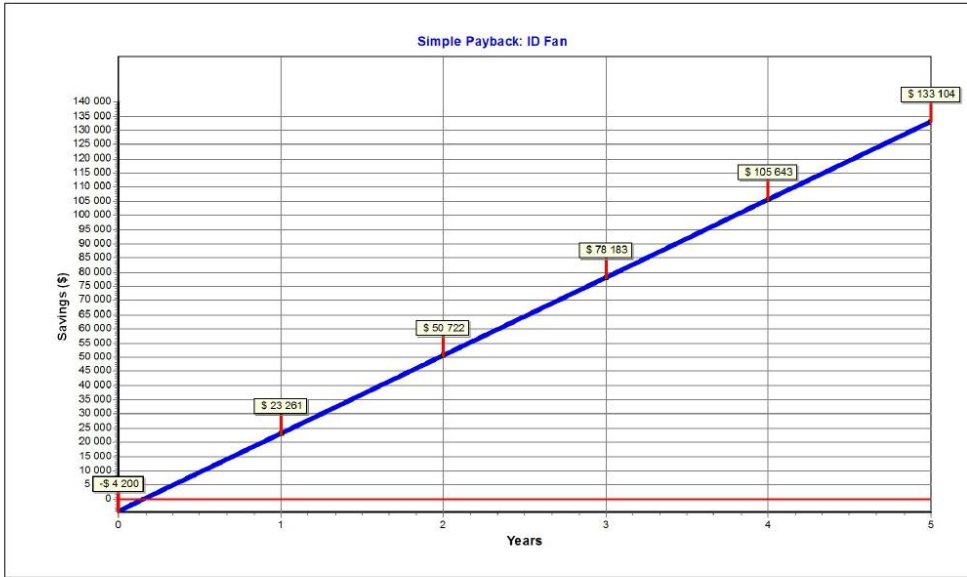
Weight Units: Metric

This Energy Estimation is based on available data, WEG assumes no responsibility for the accuracy of the supplied data on this report.

Рисунок В 2 – Параметры расчета в WEG

ID Fan

Chart(s)

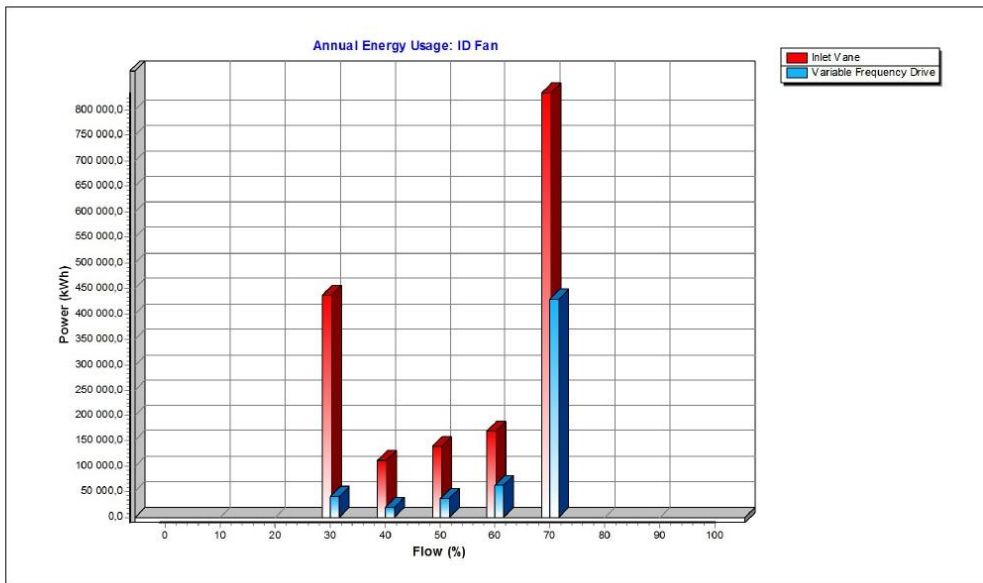
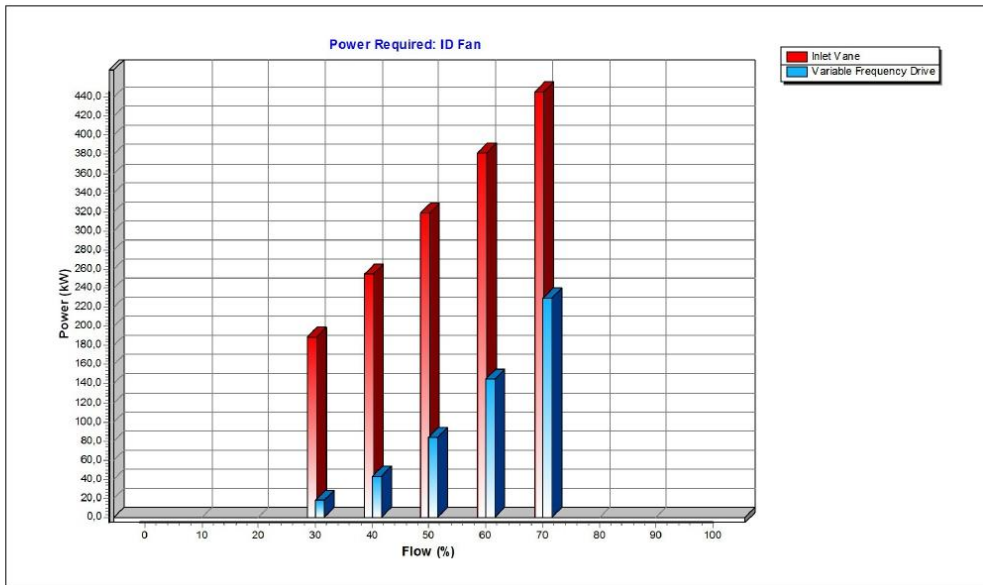


This Energy Estimation is based on available data, WEG assumes no responsibility for the accuracy of the supplied data on this report.

Рисунок В 3 – Графики окупаемости и расхода в WEG

ID Fan

Chart(s)

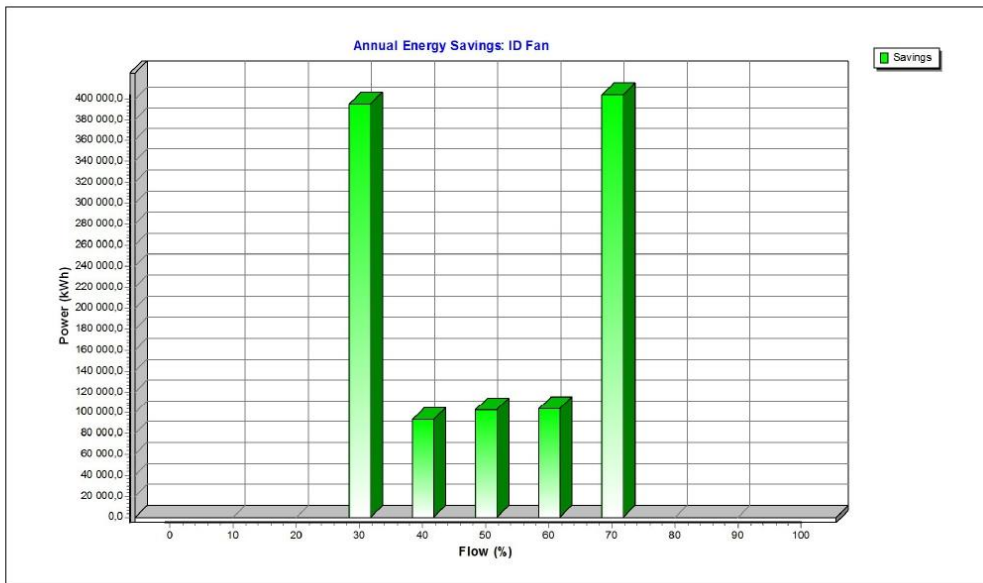
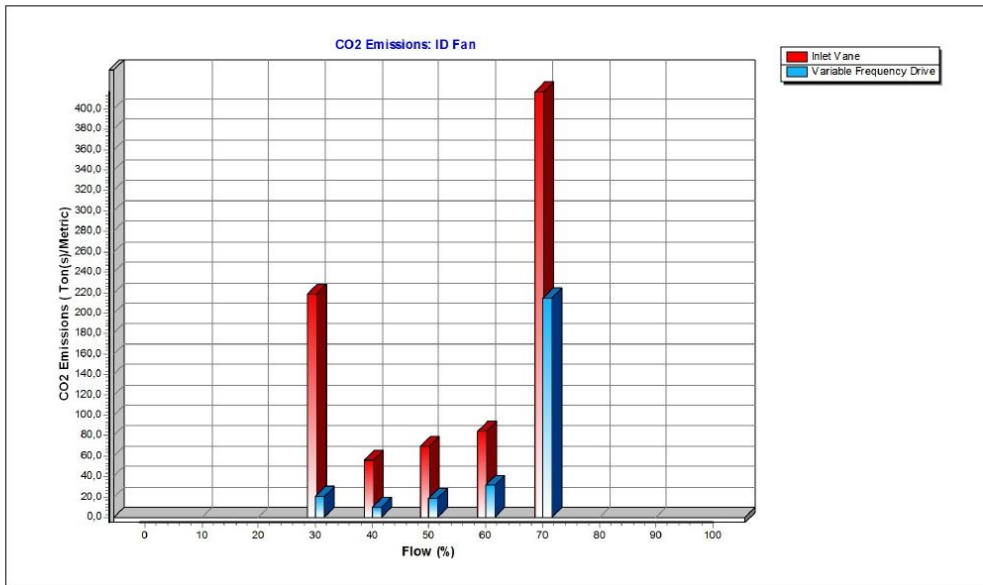


This Energy Estimation is based on available data, WEG assumes no responsibility for the accuracy of the supplied data on this report.

Рисунок В 4 – Сравнение потребления энергии в WEG

ID Fan

Chart(s)



This Energy Estimation is based on available data, WEG assumes no responsibility for the accuracy of the supplied data on this report.

Рисунок В 5 – Результаты экономии энергии в WEG

Приложение Г

ENERGY SAVE CALCULATOR



ENERGY SAVE CALCULATION

6/11/2020

The results were calculated using the ABB EnergySave Calculator. EnergySave Calculator is an interactive tool for comparing AC drive control against traditional flow control methods in applications such as fans and pumps. Over the years, the formulas behind the tool have been developed and enhanced together with pump and fan manufacturers in order to improve accuracy.

RESULTS

232.3 MWh

Annual energy savings

546.7 MWh

Annual energy consumption with existing control method

314.3 MWh

Annual energy consumption with ABB drive control

42.5 %

Annual energy savings percentage

6,970 \$

Annual electric energy savings

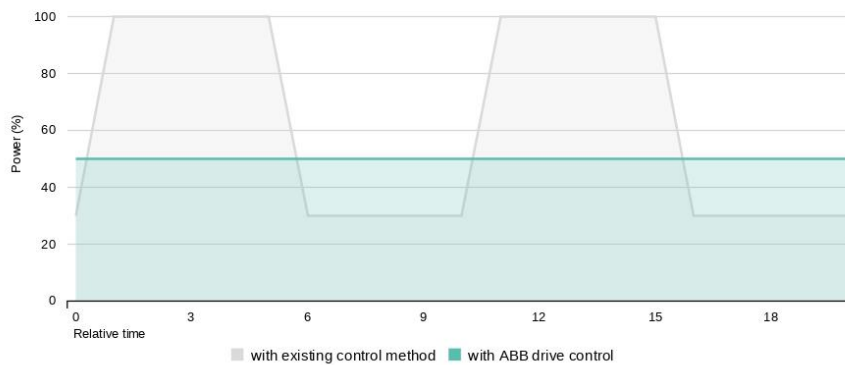
116.2 t/year

CO₂ emission reduction

184 days

Direct payback time

COMPRESSOR RUNNING PROFILE



INPUT SETTINGS

Рисунок Г 1 – Результаты расчетов в ABB

Working pressure	7 bar
Max. pressure	8 bar
Temperature	40 °C
Size of pressure tank	3 m ³
Annual running time	4,000 h
Motor power at working pressure	132 kW
Nominal volume flow	20 m ³ /min
Consumption profile	Duty cycle
Unload time	600 s
Unload power	30%
Energy price	\$0.03/kWh
CO ₂ emissions	0.5 kg/kWh
Investment cost	\$3,500.00

© Copyright 2019 ABB. All rights reserved.

Рисунок Г 2 – Параметры расчета в АВВ

Приложение Д

11.06.2020

Filter Comparison



Energy Saving Calculator

Welcome to the Compressed Air Filter Comparison Application, from Parker

This tool is designed to help you make an informed decision when selecting your compressed air filters. Simply follow the four stages to determine the real payback period for your compressed air filter.

This tool will only offer comparisons on filters that are independently validated according to ISO 12500-1:2007. If necessary, deviations from this standard are indicated.

Stage 1: Selection

Vendor		
	Kaeser ▼	FST ▼
Filter		
AOP010 (36.0m³/h) ▼	F6KB (36.0m³/h) ▼	FCA20ZN (30.0m³/h) ▼
Diff pressure		
0.125 bar	0.14 bar	0.125 bar

<https://parkerenergycalculator.com/#stage4-content>

1/4

Рисунок Д 1 – Исходные данные для фильтров в Parker

Stage 2: Parameters


Compression / Power Consumption	<input type="text" value="132"/>	kWh
or Free Air Delivery	<input type="text" value="20"/>	m ³ /h <input type="button" value="v"/>
Annual Operating Hours	<input type="text" value="4000"/>	h/a
Annual Power Consumption	<input type="text" value="528000"/>	kWh/a
Electricity Cost	<input type="text" value="0.02"/>	\$/kWh

Free air delivery metric conversion table

@ 20 °C, 1 bar(a)	@ 20 °C, 1 bar(a)	@ 0 °C, 1 bar(a)	@ 0 °C, 1 bar(a)	@ 60 °F, 1 bar(a)
m ³ /h	m ³ /min	Nm ³ /h	Nm ³ /min	SCFM
1	0.016666667	0.931775542	0.015529592	0.58054672


Stage 3: Energy Comparison

Review the comparative power consumption and energy cost savings by choosing Parker over the competitor filter.

Vendor		
	Kaeser	FST
Filter		
AOP010 (36.0m ³ /h)	F6KB (36.0m ³ /h)	FCA20ZN (30.0m ³ /h)
Filter Power Consumption (per year)		
Parker — 5280.00 kWh/a		
Kaeser — 5913.60 kWh/a		
FST — 5280.00 kWh/a		
Filter Energy Costs (per year)		
Parker — 105.60 \$/a		
Kaeser — 118.27 \$/a		
FST — 105.60 \$/a		

Stage 4: Payback Comparison

Simply enter the cost of individual filters and elements to compare the payback period for Parker filters against competitor products.

Vendor		
	Kaeser	FST
Filter		
AOP010 (36.0m ³ /h)	F6KB (36.0m ³ /h)	FCA20ZN (30.0m ³ /h)
Filter Cost		
\$ <input type="text" value="60"/>	\$ <input type="text" value="40"/>	\$ <input type="text" value="80"/>
Replacement Element Cost		
\$ <input type="text" value="4"/>	\$ <input type="text" value="2"/>	\$ <input type="text" value="5"/>
Replacement Elements Used (per year)		
QTY <input type="text" value="1"/>	QTY <input type="text" value="1"/>	QTY <input type="text" value="1"/>
By choosing Parker Filter		
Filter payback period ›	18.9 months	0.0 months
Element payback period ›	1.9 months	0.0 months

Notes:

Kaeser F6KB (36.0m³/h) Source: Brochure P-726ED.1/15, 11/7/2016

FST FCA20ZN (30.0m³/h) - All listed data of differential pressures relate to one size and grade of filter elements only. Source: Validation_certificate_IUTA_ISO12500-1_EFST_XN-20100712, Product_data_sheet_FST_FCA_filter_housing-20140306, Product_data_sheet_FST_EFST_ZN-XN-XXN_filter_element_20120718, 11/7/2016