

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Энергетический факультет

ИНЖЕНЕРНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ В ДИПЛОМНЫХ ПРОЕКТАХ

Учебно-методическое пособие
для обучающихся по специальности
6-05-0713-04 «Автоматизация технологических
процессов и производств» профилизации
«Автоматизированные электроприводы»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
по образованию в области автоматизации технологических процессов,
производств и управления*

Минск
БНТУ
2024

УДК 62-83-52:330.4 (075.8)

ББК 31.291я7

И62

С о с т а в и т е л и :

А. В. Манюкевич, А. В. Левковская.

Р е ц е н з е н т ы :

кафедра «Тепловые электрические станции» БНТУ

(зав. кафедрой, доктор техн. наук, профессор *Н. Б. Карницкий*);

кафедра «Информационные технологии автоматизированных систем»

БГУИР (зав. кафедрой, канд. физ.-мат. наук *А. А. Навроцкий*);

заместитель декана по научной работе экономического факультета БГУ,

канд. экон. наук *А. А. Коган*

И62 Инженерно-экономические расчеты в дипломных проектах : учебно-методическое пособие для обучающихся по специальности 6-05-0713-04 «Автоматизация технологических процессов и производств» профилизации «Автоматизированные электроприводы» / сост.: А. В. Манюкевич, А. В. Левковская. – Минск : БНТУ, 2024. – 29 с. ISBN 978-985-31-0002-0

Учебно-методическое пособие предназначено для подготовки экономического раздела дипломного проекта для специальности 6-05-0713-04 «Автоматизация технологических процессов и производств» профилизации «Автоматизированные электроприводы».

УДК 62-83-52:330.4 (075.8)

ББК 31.291я7

ISBN 978-985-31-0002-0

© Белорусский национальный
технический университет, 2024

ВВЕДЕНИЕ

Выполнение дипломного проекта является заключительным этапом подготовки инженера, в процессе которого студент демонстрирует приобретенные знания и практические навыки принятия эффективных инженерных решений поставленных определенных прикладных технических задач.

Технико-экономическое обоснование является одним из разделов дипломного проектирования, направленного на доказательство эффективности принимаемых инженерных решений, а также оценку экономической привлекательности разрабатываемого проекта.

Перечень вопросов, отражаемых в технико-экономическом обосновании, зависит от цели и содержания дипломного проекта, которые определяются заданием, утверждаемым выпускающей кафедрой. Учитывая многообразие и разнохарактерность дипломных проектов, методика и содержание технико-экономического обоснования устанавливаются для каждой работы индивидуально, по согласованию с консультантом по экономике. Для получения индивидуального задания студент-дипломник должен осуществить следующее:

- в сроки, установленные графиком выполнения ВКР, представить консультанту свое задание, утвержденное научным руководителем или руководителем образовательной программы, по которой он обучается, изложить цели и основное содержание работы;

- в процессе подготовки технических разделов выполнить все необходимые расчеты, связанные с экономическим обоснованием принимаемых инженерных решений, и согласовать их с консультантом по экономике;

- подготовить раздел «Технико-экономическое обоснование проекта» с учетом данных методических указаний и рекомендаций консультанта по экономике.

Объем раздела экономического обоснования дипломного проекта зависит от содержания рассматриваемого проекта и в среднем может составлять 12–16 страниц. Материал экономического обоснования должен сопровождаться ссылками на источники используемой информации, а выполняемые экономические расчеты – необходимыми пояснениями и комментариями. Основные результаты экономического обоснования выносятся на демонстрационные материалы, используемые при защите дипломного проекта.

1. МЕТОДИКА ИНЖЕНЕРНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ МОДЕРНИЗАЦИИ СТАНОЧНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

1.1. Расчет объема капиталовложений на модернизацию электропривода

Для проведения инженерно-экономических расчетов по определению экономической эффективности принятых технических решений необходимо выбрать два варианта оборудования, которые подходят по технологическим требованиям к управлению исполнительными механизмами.

Не следует выбирать в качестве альтернативного варианта системы электропривода с устаревшей конструкцией или явно не применяемые в данной технологической схеме.

Информацию о ценах электроприводов и электрических машин можно получить в бухгалтерии базового предприятия, где проходит практика, либо можно провести маркетинговое исследование рынка. Всю полученную информацию необходимо снабжать ссылками на печатные или интернет-источники.

Сведения об оборудовании удобнее всего свести в таблицы. Внешний вид таблиц может быть аналогичным приведенным ниже табл. 1.1 и табл. 1.2.

Таблица 1.1

Технические данные электрооборудования

Параметры	Базовый вариант	Проектируемый вариант
Тип двигателя		
Мощность, кВт		
КПД, %		
Частота вращения, об/мин		
Тип преобразователя		
Мощность преобразователя, кВт		
КПД преобразователя, %		

Таблица 1.2

Стоимость оборудования

Параметры	Базовый вариант	Проектируемый вариант
Двигатель		
Преобразователь		
Итого		

Таким образом, сметная стоимость электропривода определяется по формуле:

$$K_{ЭП} = K_{дв} + K_{пр},$$

где $K_{дв}$ – стоимость электродвигателя;

$K_{пр}$ – стоимость преобразователя.

Если в процессе модернизации требуется замена коробки скоростей или редуктора, то цена этих устройств также учитывается в сметной стоимости:

$$K_{ЭП} = K_{дв} + K_{пр} + K_p.$$

Далее необходимо рассчитать такие параметры, как стоимость пускорегулирующей аппаратуры, стоимость монтажных работ, транспортно-заготовительные расходы. Эти величины при отсутствии точной информации на предприятии можно учесть с помощью коэффициентов.

Стоимость пускорегулирующей аппаратуры можно принять как 5 % от сметной стоимости электропривода:

$$K_{пра} = 0,05K_{ЭП}.$$

Стоимость монтажных работ вычисляется отдельно для электропривода и рабочего механизма. Для электропривода эту величину можно принять равной 6 % от стоимости электропривода, для рабо-

чего механизма – 5 % стоимости электропривода. Таким образом, стоимость монтажных работ:

$$K_{\text{мр}} = (0,06 + 0,05)K_{\text{ЭП}}.$$

Транспортно-заготовительные работы составляют 2 % от суммы стоимости электропривода и стоимости монтажных работ для базового варианта:

$$K_{\text{тзр}} = 0,02(K_{\text{ЭП}} + K_{\text{мр}}).$$

Для наглядности выполненный расчет капитальных вложений для обоих вариантов нужно свести в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Суммарные капиталовложения, руб.

Источник затрат	Базовый вариант	Проектируемый вариант
Электродвигатель		
Преобразователь		
Пускорегулирующая аппаратура		
Механическая передача		
Монтажные работы		
Транспортно-заготовительные работы		
Плановые накопления монтажной организации		
Суммарные капитальные вложения		

1.2. Расчет издержек по эксплуатации электроприводов

1.2.1. Затраты на потребление электроэнергии

Затраты на электроэнергию определяются количеством энергии, потребляемой за год, номинальной мощностью двигателей, а также тарифной ставкой на электроэнергию. Для расчета энергии, потребляемой за год, нужно знать суммарное время работы электропривода за год, которое определяется коэффициентом использования:

$$K_{\text{исп}} = \frac{ПВ t_{\text{раб.см}}}{t_{\text{см}}},$$

где ПВ – продолжительность включения установки, о.е.;

$t_{\text{раб.см}}$ – продолжительность работы установки за смену, $t_{\text{раб.см}} = 8$ ч;

$t_{\text{см}}$ – число рабочих часов за смену, $t_{\text{см}} = 8$ ч.

Следует отметить, что величину ПВ необходимо принять по результатам расчета, проведенного в дипломном проекте в разделе выбора и проверки электродвигателя.

Число рабочих часов установки за год определяется по следующей формуле:

$$T_y = T_{\text{раб.см}} n_{\text{см}} t_{\text{см}} K_{\text{исп}},$$

где $T_{\text{раб.см}}$ – число рабочих дней в году, $T_{\text{раб.см}} = 365$;

$n_{\text{см}}$ – число смен в сутки, $n_{\text{см}} = 1, 2$ или 3 .

Энергия, потребляемая за год, определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_2 = \frac{P_{\text{ндв}} T_y}{\eta_{\text{н}}},$$

где $P_{\text{ндв}}$, $\eta_{\text{н}}$ – номинальные параметры двигателя.

Расчеты проводятся по двум вариантам.

Стоимость потребленной электрической энергии рассчитывается исходя из тарифов, утвержденных «Декларацией об уровне тарифов на электрическую энергию, отпускаемую республиканскими уни-

тарными предприятиями электроэнергетики ГПО «Белэнерго» для юридических лиц и индивидуальных предпринимателей». Размер тарифа и метод начисления зависит от категории предприятия и установленной электрической мощности.

Установленная мощность – это суммарная номинальная электрическая мощность однотипных электрических машин. Термин применяется для оценки генерируемой или потребляемой мощности электрических систем как отдельных организаций и предприятий, так и отраслей и географических регионов в целом.

В энергетике установленной мощностью электроустановки также называется наибольшая активная электрическая мощность, с которой электроустановка может длительно работать без перегрузки в соответствии с технической документацией на оборудование.

Точную информацию о тарифе, применяемом на предприятии, можно получить в отделе главного энергетика либо бухгалтерии.

Таким образом, затраты на электроэнергию можно посчитать по одной из двух формул:

1. Промышленные и приравненные к ним потребители с присоединенной мощностью до 750 кВА и приравненные к ним:

$$C_{\text{э}} = \text{Э}_{\text{г}} \cdot C,$$

где $\text{Э}_{\text{г}}$ – электрическая энергия, потребленная за год;

C – тариф на потребленную электрическую энергию, руб/кВт·ч.

2. Промышленные и приравненные к ним потребители с присоединенной мощностью свыше 750 кВА:

$$C_{\text{э}} = \text{Э}_{\text{г}} \cdot C_{\text{доп}} + P_{\text{уст}} \cdot C_{\text{осн}} \cdot 12,$$

где $\text{Э}_{\text{г}}$ – электрическая энергия потребленная за год;

$C_{\text{доп}}$ – дополнительный тариф;

$P_{\text{уст}}$ – установленная мощность электрических потребителей;

$C_{\text{осн}}$ – ежемесячная основная плата за установленную мощность.

Поскольку затраты на потребленную энергию рассматриваются за 1 год, то последний элемент формулы умножается на 12, т. е. количество месяцев в году.

1.2.2. Затраты на амортизацию

Амортизация – это постепенный перенос стоимости основных средств производства на себестоимость выпускаемой продукции по мере их материального износа или морального устаревания.

Суть амортизации состоит в том, что организация благодаря амортизационным отчислениям постепенно возмещает стоимость оборудования.

Процент отчислений на амортизацию зависит от типа износа. Если объект подвергается моральному и физическому износу, то коэффициент будет максимальным. Уровень износа напрямую зависит от интенсивности использования основных средств.

Для упрощения расчета примем, что амортизационные отчисления составляют 9,5 % от сметной стоимости электропривода. Таким образом:

$$C_a = 0,095K_{\text{ЭП}}.$$

1.2.3. Затраты на ремонтно-эксплуатационное обслуживание

Издержки на эксплуатацию оборудования включают в себя множество составляющих. Оборудование электроприводов обоих вариантов является ремонтируемым, оно проходит планово-предупредительные ремонты, периодичность и объем проведения которых регламентируется сметой планово-предупредительных ремонтов. Кроме того, оборудование нуждается в регулярном техническом обслуживании, требующем также определенных затрат. Таким образом, затраты на ремонтно-эксплуатационное обслуживание оборудования можно определить как сумму затрат на заработную плату ремонтных рабочих, стоимости материалов для ремонта и обслуживания, общецеховых и общезаводских расходов.

Заработная плата ремонтных рабочих определяется количеством времени, необходимым для проведения ремонтно-эксплуатационного обслуживания электрической части оборудования, которая в свою очередь зависит от норм трудоемкости ремонта и технического обслуживания оборудования. Всю систему электропривода можно разделить на 4 основные части: двигатель, преобра-

зователь, трансформатор и пускорегулирующая аппаратура. Для каждой из этих частей отдельно находится трудоемкость ремонта и технического обслуживания. Затем эти величины суммируются. Для расчета трудоемкости требуется определить плановую продолжительность ремонтного цикла и межремонтного периода, число ремонтов в год и т. д.

Для электрической машины структура и продолжительность ремонтного цикла, а также продолжительность межремонтного периода зависят от условий окружающей среды, сменности работы машин, конструктивного исполнения, стационарности установки, степени загрузки машины, а также соблюдения правил технической эксплуатации и инструкций заводов-изготовителей.

В табл. 1.4 приведены нормы продолжительности ремонтного цикла и межремонтного периода для электрических машин, работающих в две смены, с коэффициентом использования 1 при различных условиях окружающей среды.

Таблица 1.4

Структура и продолжительность ремонтного цикла, межремонтного и межосмотрового периодов

Условия работы электрических машин	Продолжительность			Количество текущих ремонтов в ремонтном цикле
	ремонтного цикла, лет	межремонтного периода, мес.	межосмотрового периода, мес.	
1	2	3	4	5
Сухие цеха и помещения (цеха холодной обработки металлов, сборочные цеха и им подобные)	12	12	3	11
Горячие, химические, гальванические цеха и им подобные цеха и участки	5	6	2	9

1	2	3	4	5
Деревообрабатывающие цеха, по обработке чугуна, сухой шлифовки и им подобные	6	8	2	8
Электрические машины с длительными циклами непрерывной работы и с высокой степенью загрузки (приводы насосов, компрессоров, дымососов, вентиляторов, кондиционеров и др.)	9	9	2	11

Увеличение (уменьшение) продолжительности ремонтного цикла и межремонтного периода учитывается следующими поправочными коэффициентами:

1. Поправочный коэффициент к сменности работы (табл. 1.5).

Таблица 1.5

Поправочный коэффициент к сменности

Сменность работы	1	1,25	1,5	1,75	2	2,5	3
Поправочный коэффициент	2	1,6	1,35	1,19	1	0,8	0,6

2. Для коллекторных машин постоянного и переменного тока поправочный коэффициент – 0,75.

3. Для передвижных установок вводится поправочный коэффициент 0,6.

4. Коэффициент использования определяется путем деления фактической загрузки машины на номинальную мощность.

Плановая продолжительность ремонтного цикла (ремонтный цикл – наработка электрического оборудования, выраженная в годах календарного времени между двумя капитальными плановыми ремонтами):

$$T_{\text{пл.дв}} = T_{\text{табл.дв}} \beta_c \beta_k \beta_n \beta_{\text{и}},$$

где $T_{\text{табл.дв}}$ – продолжительность ремонтного цикла для электродвигателя;

β_c – коэффициент, учитывающий сменность работы;

β_k – коэффициент для коллекторных машин постоянного и переменного тока;

β_n – коэффициент, учитывающий режим работы передвижных установок;

$\beta_{\text{и}}$ – коэффициент использования.

Продолжительность ремонтного цикла для трансформаторов, преобразователей и пускорегулирующей аппаратуры принимается равной продолжительности ремонта электрических машин, поскольку очевидно, что нет возможности производить остановку оборудования и выполнение ремонта для отдельных составляющих станка по индивидуальным графикам.

Плановая продолжительность межремонтного периода (межремонтный период – наработка энергетического оборудования, выраженная в месяцах календарного времени между двумя плановыми ремонтами):

$$t_{\text{пл.дв}} = t_{\text{табл.дв}} \beta_c \beta_k \beta_n \beta_{\text{и}},$$

где $t_{\text{табл.дв}}$ – величина межремонтного периода для электрической машины.

Зная продолжительность ремонтного цикла в годах, можно определить количество ремонтов на 1 год:

$$M_{\text{к.р.1дв}} = 1 / T_{\text{пл.дв}}.$$

Аналогично определяем количество текущих ремонтов за 1 год.

По заданному количеству ремонтов в год, а также по заданной норме трудоемкости [1] определяется годовая трудоемкость ремонтов. Годовая трудоемкость капитальных ремонтов рассчитывается по формулам:

$$T_{к.р} = M_{к.р} N_{к.р},$$

где $N_{к.р}$ – норма трудоемкости капитального ремонта соответствующего оборудования.

Годовая трудоемкость текущих ремонтов для соответствующих типов оборудования определяется аналогично трудоемкости капитальных ремонтов:

$$T_{т.р} = M_{т.р} N_{т.р},$$

где $N_{т.р}$ – норма трудоемкости текущего ремонта соответствующего оборудования.

Для пускорегулирующей аппаратуры годовая трудоемкость капитального (текущего) ремонта принимается равной 25 % от трудоемкости капитального (текущего) ремонта электропривода, которая в свою очередь складывается из трудоемкости ремонта двигателя, трансформатора и преобразователя:

$$T_{к.р.п.р} = 0,25(T_{к.р.дв} + T_{к.р.тр} + T_{к.р.пр}).$$

Трудоемкость технического обслуживания оборудования принимается равной 10 % от нормы трудоемкости текущего ремонта оборудования без учета поправочных коэффициентов. Таким образом, годовую трудоемкость обслуживания оборудования можно определить по формуле:

$$T_{т.о} = 0,1 \cdot 12 \cdot N_{т.р},$$

где $N_{т.р}$ – норма трудоемкости текущего ремонта соответствующего оборудования.

Для удобства сравнения выполненный расчет трудоемкости ремонта и технического обслуживания для обоих вариантов необходимо свести в таблицу (табл. 1.6).

По известной суммарной трудоемкости эксплуатации оборудования, учитывая тарифную ставку ремонтного рабочего, а также соответствующие налоги, можно определить затраты на заработную плату ремонтных рабочих:

$$C_{зп} = C_{тар} C_{нал} T_{сум},$$

где $C_{тар}$ – часовая тарифная ставка рабочего-ремонтника, принятая на базовом предприятии. $C_{тар}$ можно определить путем деления месячного тарифного оклада на 172 часа работы в месяц;

$C_{нал}$ – налоговые начисления на фонд заработной платы. Будем учитывать отчисления в фонд социальной защиты населения (35 %);

$T_{сум}$ – суммарная трудоемкость ремонта и технического обслуживания.

Таблица 1.6

Результаты расчетов трудоемкости ремонта и технического обслуживания оборудования рассматриваемых вариантов

Тип оборудования	Базовый вариант	Проектируемый вариант
1	2	3
Годовая трудоемкость капитальных ремонтов, чел.-часы		
Электродвигатель		
Трансформатор		
Преобразователь		
Пускорегулирующая аппаратура		
Годовая трудоемкость текущих ремонтов, чел.-часы		
Электродвигатель		
Трансформатор		
Преобразователь		
Пускорегулирующая аппаратура		

Окончание табл. 1.6

1	2	3
Годовая трудоемкость технического обслуживания, чел.-часы		
Электродвигатель		
Преобразователь		
Пускорегулирующая аппаратура		
Суммарная трудоемкость эксплуатации оборудования, чел.-часы		
Базовый вариант		Проектируемый вариант

Стоимость материалов для ремонта и обслуживания оборудования принимается равной 100 % от основной заработной платы ремонтных рабочих без учета затрат на выплату налогов:

$$C_{\text{мат}} = C_{\text{тар}} T_{\text{сум}}$$

Общеховые расходы принимаются равными 100 % от основной заработной платы без учета налогов, т. е. в данном случае они равны стоимости материалов для ремонта и обслуживания оборудования:

$$C_{\text{ц}} = C_{\text{мат}}$$

Общезаводские расходы принимаются равными 50 % от основной заработной платы без учета налогов, т. е. в данном случае составляют половину общеховых расходов:

$$C_3 = 0,5C_{\text{ц}}$$

Определим годовые эксплуатационные издержки для сравниваемых вариантов, просуммировав все рассчитанные ранее величины:

$$C_9 = C_a + C_9 + C_{\text{зп}} + C_{\text{мат}} + C_{\text{ц}} + C_3$$

1.3. Расчет приведенных затрат и экономического эффекта по вариантам

Приведенные затраты – экономическая категория, отражающая в стоимостном выражении величину полных затрат (текущих и единовременных) на производство продукции. Численно приведенные затраты равны сумме полных эксплуатационных издержек и части капитальных вложений, соответствующей их нормативу.

Основной плюс этого показателя – в его простоте. При проведении расчетов мы имеем полное представление о затратах, которые связаны с использованием определенного технического средства. В этой связи коэффициент эффективности капитальных вложений был удобен в использовании как при ежегодном планировании использования техники, так и при оценке сравнительной эффективности приобретаемых технических средств [3, с. 130].

В обычной записи приведенные затраты ($Пз$) имеют следующий вид:

$$Пз = C_i + E_n K_i,$$

где: C_i – текущие издержки по вариантам;

E_n – нормативный коэффициент эффективности;

K_i – капитальные вложения по вариантам.

Ключевая роль в формуле принадлежит части приведенных затрат, равной произведению капитальных вложений на нормативный коэффициент эффективности. Назначение нормативного коэффициента, по сути, то же, что и у процентной ставки в показателе чистого дисконтированного дохода: он играет роль некоего фильтра при отборе вложений. Для расчета можно принять, что E_n равен ставке рефинансирования Национального банка Республики Беларусь.

После расчета приведенных затрат по вариантам можно определить годовой сравнительный экономический эффект от внедрения нового электропривода:

$$Э_{Г} = Пз_1 - Пз_2.$$

Результаты расчета необходимо свести в итоговую таблицу (табл. 1.7).

Таблица 1.7

Технико-экономические показатели сравниваемых систем

Наименование показателя	Обозначение	Базовый вариант	Проектируемый вариант
1	2	3	4
Тип двигателя			
Мощность, кВт			
КПД, %			
Капиталовложения, руб.			
Амортизационные отчисления, руб.			
Плата за потребляемую электроэнергию, руб.			
Заработная плата ремонтных рабочих, руб.			
Стоимость материалов для ремонта ЭП, руб.			
Цеховые расходы, руб.			
Общезаводские расходы, руб.			
Приведенные затраты, руб.			
Годовой экономический эффект			

2. ОСОБЕННОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ С ВЕНТИЛЯТОРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ

2.1. Расчет дополнительного экономического эффекта при частотном регулировании электропривода насосов и вентиляторов

Механическая характеристика электропривода представляет из себя зависимость угловой скорости двигателя от момента сопротивления, приведенного к валу двигателя, то есть $w = f(M)$.

Уравнение механической характеристики электропривода:

$$M_c = M_0 + (M_{сн} - M_0) \left(\frac{w}{W_H} \right)^q,$$

где M_0 – момент холостого хода механизма;

M_c – момент сопротивления при скорости w ;

$M_{сн}$ – номинальный момент сопротивления при номинальной частоте вращения;

q – показатель степени, который определяет тип характеристики.

Существует большое множество производственных механизмов, и каждый из них имеет свою механическую характеристику. Можно выделить четыре основные группы (рис. 2.1):

1 – момент сопротивления не зависит от скорости. Такую механическую характеристику имеют различные подъемные механизмы (лебедки, краны), механизмы подачи металлорежущих станков, насосы при постоянном давлении, конвейеры и т. д.

2 – момент сопротивления увеличивается по линейному закону с увеличением скорости. Такая зависимость присутствует в генераторе постоянного тока с независимым возбуждением, если сопротивление нагрузки постоянно.

3 – момент сопротивления изменяется обратно пропорционально скорости. Данная механическая характеристика присуща металлорежущим станкам, мельницам, бетономешалкам.

4 – момент сопротивления увеличивается по нелинейному закону с увеличением скорости. Эта механическая характеристика часто называется «вентиляторной», потому что характерна различным турбокомпрессорам, центробежным насосам, вентиляторам.

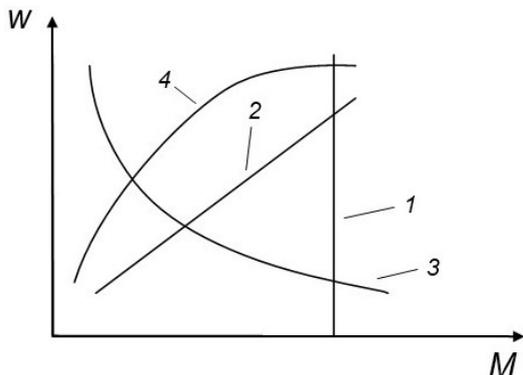


Рис. 2.1. Механические характеристики электроприводов:
 1 – $q = 0, M = \text{const}$; 2 – $q = 1$; 3 – $q = -1$; 4 – $q = 2$

Электроприводы турбомеханизмов потребляют 25 % всей вырабатываемой электроэнергии и в большинстве случаев остаются нерегулируемыми, что не позволяет получить режим рационального энергопотребления и расхода воздуха, пара, воды, газа и т. д. при изменении технологических потребностей в широких пределах. Оборудование выбирается на максимальную производительность, в действительности же его среднесуточная загруженность может составлять менее 50 % от номинальной мощности.

Поэтому, если регулировать производительность механизма за счет снижения частоты вращения асинхронного двигателя, то можно получить существенное снижение потребления электрической энергии и, соответственно, экономический эффект от этого.

Количество потребляемой электроэнергии в системе ПЧ–АД определяется по формуле:

$$W_{\text{ПЧ-АД}} = P_{\text{Т/М}}(Q)t + \Delta P_{\text{АД}}t + \Delta P_{\text{ПЧ}}t,$$

где $P_{\text{Т/М}}(Q)$ – потребляемая мощность турбомеханизма, определяемая как:

$$P_{Т/Мi} = \frac{H_i Q_i}{\eta_{Т/М} \cdot 3600} + \Delta P_{кц} = \frac{H_i Q_i}{\eta_{Т/М} \cdot 3600} + P_{Т/Мн} a,$$

Q_i – производительность насоса в i -й момент времени, м³/ч;

a – коэффициент, учитывающий момент дополнительных потерь, например $a = 0,05$ – для дымососа;

$\Delta P_{АД}$ – потери АД, исходя из частичной загруженности двигателя, определяемые как:

$$\Delta P_{АД} = \frac{P_{АДном} (1 - \eta_{АДраб})}{\eta_{АДраб}},$$

$\eta_{АДраб}$ – КПД двигателя при частичной загруженности;

$\Delta P_{Пч}$ – потери в преобразователе частоты:

$$\Delta P_{Пч} = \frac{P_{АДном} (1 - \eta_{Пч})}{\eta_{Пч}},$$

где $\eta_{Пч}$ – КПД преобразователя частоты, равный 0,95.

КПД двигателя при частичной загрузке будем находить из графика зависимости КПД от коэффициента загрузки. В наших учебных целях будем использовать график загрузки для двигателя 4А250S4.

Таблица 2.1

Зависимость КПД от коэффициента загрузки
для двигателя 4А160S4УЗ [4]

$\eta_{АД}, \%$	25	50	75	100	125
$K_3, \%$	88,5	92	93	93	92,5

Коэффициент загрузки определяется по формуле:

$$K_3 = \frac{M_{Т/М(p)}}{M_n}.$$

При сборе материалов по дипломному проекту необходимо четко представлять диаграмму суточной производительности турбомеханизма и рассчитать для каждого из участков потребляемую мощность по формуле:

$$P_{Т/М1} = \frac{H_1 Q_1}{\eta_{Т/М} \cdot 3600} + P_{Т/Мн} a.$$

Затем определим коэффициент загрузки:

$$K_3 = \frac{M_{Q=Q_1}}{M_{НОМ}}.$$

Исходя из полученного коэффициента загрузки, определяем КПД двигателя по рис. 2.2.

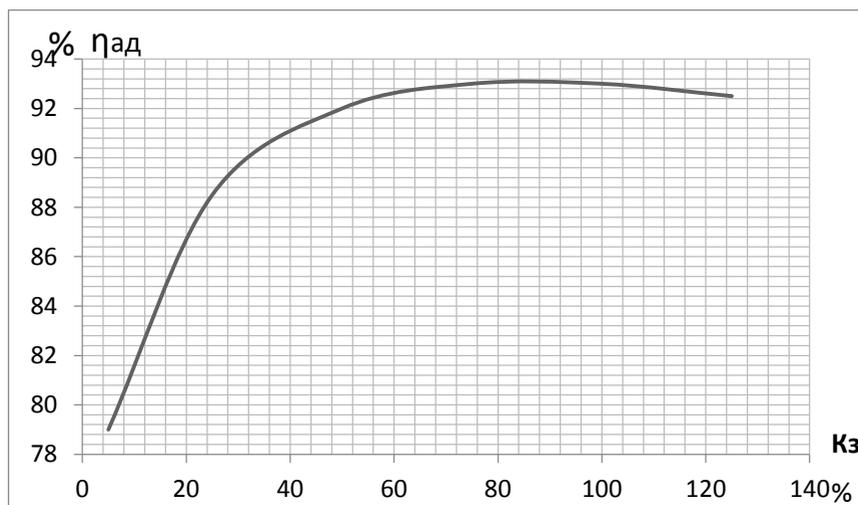


Рис. 2.2. График зависимости КПД от коэффициента загрузки двигателя 4A250S4

Просуммировав мощность, потребляемую двигателем, потери в двигателе и потери в электроприводе можно получить полную потребляемую мощность на данном участке производительности турбомеханизма.

Подобные расчеты необходимо провести для всех участков суточной диаграммы производительности механизма.

Количество потребляемой электроэнергии за год работы при регулировании с помощью преобразователя частоты можно определить по формуле:

$$W_{\text{ПЧ-АД}} = \sum_{i=1}^n P_i t_i$$

где P_i – это мощность на i -м участке работы;

t_i – это продолжительность i -го участка диаграммы.

Теперь рассчитаем потребляемую мощность при регулировании производительности турбомеханизма с помощью заслонки или задвижки. В этом случае скорость, а следовательно и потребляемая мощность, будет постоянной:

$$P_{\text{Т/М}} = \frac{H_{\text{НОМ}} Q_{\text{НОМ}}}{\eta_{\text{Т/М}} \cdot 3600} + P_{\text{Т/Мн}} a.$$

При заданной производительности Q определим момент двигателя и коэффициент загрузки:

$$K_3 = \frac{M_3}{M_{\text{НОМ}}}.$$

Из рис. 2.2 определяем $\eta_{\text{АД}}$.

Потери двигателя:

$$\Delta P_{\text{АД}} = \frac{P_{\text{НОМ}} (1 - \eta_{\text{АД}})}{\eta_{\text{НОМ}}} = 5819 \text{ Вт.}$$

Тогда потребляемая мощность будет равна:

$$P_3 = P_{\text{НОМ}} + \Delta P_{\text{АД}}.$$

Количество потребляемой электроэнергии за год работы насосной станции при регулировании производительности с помощью задвижки:

$$W_3 = P_3 t.$$

Проанализировав данные, полученные из вышеприведенного расчета, можно заметить экономию электроэнергии за год работы при использовании ПЧ:

$$\Delta W = W_3 - W_{\text{ПЧ-АД}},$$

что в процентном соотношении равняется:

$$\Delta W_{\%} = \frac{\Delta W}{W_3} 100 \%.$$

Стоимость электроэнергии рассчитывается по следующей формуле:

$$C_{\text{ЭЭ}} = \Pi_{\text{кВт}\cdot\text{ч}} W,$$

где $\Pi_{\text{кВт}\cdot\text{ч}}$ – цена кВт·ч электроэнергии.

Годовая экономия при использовании преобразователя частоты:

$$\Delta C_{\text{ЭЭ}} = \Pi_{\text{кВт}\cdot\text{ч}} \Delta W.$$

Рассчитав годовую экономию электрической энергии от внедрения частотно-управляемого электропривода, можно рассчитать капитальные затраты и годовые эксплуатационные издержки так, как было показано в предыдущем разделе. Но оценку экономической эффективности от внедряемого варианта электропривода проведем несколько иным способом.

2.2. Расчет экономической эффективности при помощи метода дисконтирования капитала

При управлении инвестиционной деятельностью большое значение имеет применение объективных методов оценки экономической эффективности. Для принятия правильных решений необходимо применение объективного экономического критерия. В работе дается характеристика такого критерия в виде максимума чистой дисконтированной стоимости, а также таких вспомогательных показателей экономической эффективности, как внутренняя норма доходности, период окупаемости, индекс доходности.

Метод чистой дисконтированной стоимости (NPV) является одним из основных. Его суть сводится к определению чистой дисконтированной стоимости, которую можно определить следующим образом: приведенная стоимость денежных притоков за вычетом приведенной стоимости денежных оттоков. Данный метод предусматривает дисконтирование денежных потоков с целью определения эффективности инвестиций:

$$\max \sum_{t=1}^T (D_t - C_t - K_t)(1 + E)^{-t} - K_0 + L(1 + E)^{-T},$$

где D_t – денежные поступления в t -м году;

C_t – годовые эксплуатационные расходы в t -м году;

K_t – капиталовложения в t -м году;

K_0 – первоначальные капиталовложения;

L – ликвидная стоимость объекта по истечении срока службы T ;

E – ставка дисконтирования.

Использование данного критерия предполагает, что после осуществления первоначальных капиталовложений объект начинает эксплуатироваться. Ставка дисконтирования есть результат выбора. В определенной степени она выражает условия осуществления инвестиционной деятельности при реализации данного объекта. Она устанавливается либо равной фактической величине ставки процента по долгосрочным займам на рынке финансового капитала, либо

равной ставке процента, выплачиваемой заемщиком. Этот коэффициент должен отражать возможные поступления на капитал, инвестируемый в любом другом месте.

NPV характеризует общий результат инвестиционной деятельности, ее конечный эффект. Если значение данного критерия положительно, то это означает, что за рассматриваемый период T , равный сроку службы объекта, получаемый доход превышает все эксплуатационные и инвестиционные затраты с учетом дисконтирования доходов и затрат. В этом случае рассматриваемый вариант экономически выгоден, так как обеспечивает возврат вложений инвестиций и получение прибыли. Если рассматриваются несколько вариантов, то наиболее экономичным является тот из них, который имеет максимальное значение критерия. Если критерий приобретает отрицательное значение, то вариант экономически невыгоден.

В нашем случае за ставку дисконтирования примем действующую ставку рефинансирования, и формулу нахождения критерия чистой дисконтированной стоимости представим в следующем виде:

$$NPV = D(1 + E)^{-t} - K_o.$$

Определим значение критерия чистой дисконтированной стоимости. Для удобства и наглядности представим расчеты в виде табл. 2.2.

Таблица 2.2

Расчет NPV

Годы T	Поток, руб.	Расчет		
		$\frac{1}{(1 + E)^t}$	$Cm.2 \times Cm.3$	PV
0				
1				$Cmp.0 + Cmp.1$
2				...
3				
4				
5				
6				

Годы T	Поток, руб.	Расчет		
		$\frac{1}{(1+E)^t}$	$Cm.2 \times Cm.3$	PV
7				
8				
9				
10				
NPV				

В столбец «Поток» мы вносим значения капиталовложений с минусом и с 1-го года положительную разность стоимости экономики электроэнергии и годовых эксплуатационных издержек.

По результатам расчетов можно построить график изменения PV по годам.

Для расчета внутренней нормы рентабельности (IRR) используется та же методика, что и для расчета NPV. Различие в том, что здесь решается обратная задача, то есть подбирается такой коэффициент дисконтирования, при котором $NPV = 0$. Этот коэффициент, при котором чистая дисконтированная стоимость инвестиционного проекта равна нулю, и называется внутренней нормой рентабельности проекта.

Данный показатель определяется из уравнения:

$$\sum (D_t - C_t - K_t)(1+E)^{-t} - K_0 + L(1+E)^{-T} = 0.$$

Искомой является величина E . По своему экономическому смыслу коэффициент E характеризует коэффициент эффективности капиталовложений, рассчитанный для условий дисконтированных затрат и доходов. Если рассчитанная величина E оказывается выше некоторой величины процентной ставки, принятой за нормативную, то вариант считается экономически выгодным.

Можно сделать следующие выводы:

– если при принятой величине процентной ставки величина NPV оказалась равной нулю, то это означает, что коэффициент внутрен-

ней нормы рентабельности равен принятой для расчета величине процентной ставки;

– если же сумма окажется выше нуля, то коэффициент внутренней нормы рентабельности будет выше принятой величины процентной ставки;

– если сумма окажется меньше нуля, то он будет меньше величины процентной ставки.

Чем выше показатель IRR по сравнению со стоимостью капитала, тем экономически привлекательнее выглядит проект.

В нашем случае формула примет вид:

$$D(1 + E)^{-t} - K_o = 0.$$

Внутреннюю норму рентабельности можно найти из выражения:

$$IRR = E_1 + \frac{\mathcal{E}_{\text{пол}}(E_2 - E_1)}{\mathcal{E}_{\text{пол}} - \mathcal{E}_{\text{отр}}},$$

где E_1 – наивысший процент дисконтирования, при котором дисконтируемая чистая прибыль является положительной величиной;

E_2 – наибольший низший процент дисконтирования, при котором чистая дисконтированная прибыль является отрицательной величиной;

$\mathcal{E}_{\text{пол}}$, $\mathcal{E}_{\text{отр}}$ – соответственно суммы положительного и отрицательного эффекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Система технического обслуживания и планово-предупредительного ремонта энергетического оборудования и сетей промышленной энергетики : справочное пособие для инженеров / сост. Л. С. Овчинников. – 3-е изд., испр. и доп. – Минск : Дизайн ПРО, 2010. – 687 с.
2. Демаков, И. В. Совершенствование показателя приведенных затрат для экономической оценки инвестиционного проекта [Электронный ресурс] / И. В. Демаков, М. В. Новиков, И. А. Павлова // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – Режим доступа: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=15852>.
3. Райзберг, Б. А. Современный экономический словарь / Б. А. Райзберг, Л. Ш. Лозовский, Е. Б. Стародубцева. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : ИНФРА-М, 2007. – 495 с.
4. Справочник по электрическим машинам : в 2 т. / под общ. ред. И. П. Копылова и Б. К. Клокова. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – Т. 1. – 456 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Методика инженерно-экономических расчетов модернизации станочного электропривода.....	4
1.1. Расчет объема капиталовложений на модернизацию электропривода.....	4
1.2. Расчет издержек по эксплуатации электроприводов.....	7
1.2.1. Затраты на потребление электроэнергии.....	7
1.2.2. Затраты на амортизацию.....	9
1.2.3. Затраты на ремонтно-эксплуатационное обслуживание.....	9
1.3. Расчет приведенных затрат и экономического эффекта по вариантам.....	16
2. Особенности инженерно-экономических расчетов электроприводов с вентиляторной характеристикой.....	18
2.1. Расчет дополнительного экономического эффекта при частотном регулировании электропривода насосов и вентиляторов.....	18
2.2. Расчет экономической эффективности при помощи метода дисконтирования капитала.....	24
Список литературы.....	28

Учебное издание

ИНЖЕНЕРНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ В ДИПЛОМНЫХ ПРОЕКТАХ

Учебно-методическое пособие
для обучающихся по специальности 6-05-0713-04
«Автоматизация технологических процессов и производств»
профилизации «Автоматизированные электроприводы»

С о с т а в и т е л и :

МАНЮКЕВИЧ Александр Владимирович
ЛЕВКОВСКАЯ Алена Викторовна

Редактор *Н. Ю. Казакова*
Компьютерная верстка *А. В. Степанкиной*

Подписано в печать 31.07.2024. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 1,74. Уч.-изд. л. 0,85. Тираж 100. Заказ 976.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.