

ТОМ 10

Секція 11 – Електротехнічні комплекси та системи

Порозова А.М. студент гр. ЕМ-13-1д

Научный руководитель: Волянский Р.С., к.т.н., докторант кафедры
электротехники и электромеханики

(Днепродзержинский государственный технический университет, г.Днепродзержинск,
Украина)

УТОЧНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОБРАТНОГО МАЯТНИКА

Введение. Задача управления неустойчивыми техническими объектами является одной из самых актуальных задач современной теории управления. Результаты решения этой задачи находят применение в различных отраслях народного хозяйства, включая промышленность, транспорт, авиацию, робототехнику и др. При этом, несмотря на большое количество неустойчивых процессов и объектов, их поведение, свойства и характеристики удобно изучать на простых физических моделях, одной из которых является обратный маятник. Этот маятник представляет собой стержень массой m_1 и длиной l с грузом m , закрепленный шарнирно ниже центра тяжести на тележке массой M (рис.1). Для компенсации угла отклонения θ маятника от вертикали к тележке прикладывается усилие F .

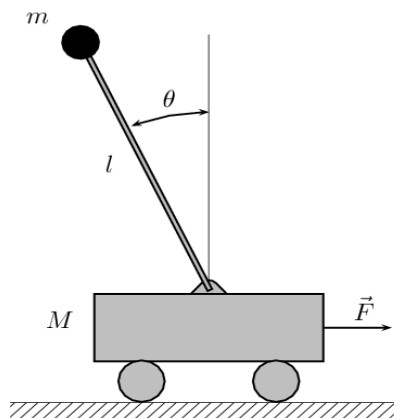


Рисунок 1 – Обратный маятник

Недостатками известных математических моделей обратного маятника являются пренебрежение массой стержня, трением в шарнире и не учет динамики приводного устройства, формирующего усилие F . Указанные допущения приводят к снижению запаса устойчивости замкнутой системы управления обратным маятником и при определенных условиях могут привести к потере устойчивости. Поэтому работы, посвященные уточнению математических моделей обратного маятника, являются актуальными.

Постановка задач исследования. Целью настоящей работы является уточнение математической модели динамической системы «обратный маятник – приводной двигатель».

Результаты исследования. Уравнения движения обратного маятника получим при помощи уравнений Лагранжа

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \frac{dq_i}{dt}} - \frac{\partial L}{\partial q_i} = F, i = 1, \dots, n, \quad (1)$$

где q_i - обобщенная координата механической системы, n - порядок динамической системы, L - лагранжиан системы, F - внешние усилия.

Для рассматриваемого объекта лагранжиан можно записать следующим образом

$$L = \frac{J_{dv} \omega_{dv}^2}{2} + \frac{Mv^2}{2} + \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{mv_2^2}{2} - (ml + m_1 l_1)g \cos \theta, \quad (2)$$

где J_{dv} - момент инерции приводного двигателя, m_1 - масса стержня, g - ускорение свободного падения, l_1 - расстояние от шарнира до центра тяжести стержня, ω_{dv} - скорость приводного двигателя, v, v_1, v_2 - скорость движения тележки, центра тяжести стержня и груза соответственно

$$v = \frac{\omega_{dv}}{i_{mex}} R_k, \quad v_2 = \sqrt{v^2 - 2vl\omega \cos \theta + l^2\omega^2}, \quad (3)$$

$$v_1 = \sqrt{v^2 - 2vl_1\omega \cos \theta + l_1^2\omega^2} = \sqrt{v^2 - vl\omega \cos \theta + l^2\omega^2 / 4},$$

здесь i_{mex} - передаточное число редуктора, соединяющего приводной двигатель и колесо, R_k - радиус колеса, ω - угловая скорость движения груза и стержня.

Подставив значения скоростей (3) в лагранжиан (2), получим

$$L = \frac{J_{dv}\omega_{dv}^2}{2} + \frac{MR_k^2\omega_{dv}^2}{2i_{mex}^2} + m_1 \frac{\omega_{dv}^2}{2i_{mex}^2} R_k^2 - m_1 \frac{\omega_{dv}}{2i_{mex}} R_k l \omega \cos \theta +$$

$$\frac{l^2\omega^2 m_1}{8} + m \frac{\omega_{dv}^2}{2i_{mex}^2} R_k^2 - m \frac{\omega_{dv}}{i_{mex}} R_k l \omega \cos \theta + 0.5ml^2\omega^2 -$$

$$-(m + 0.5m_1)gl \cos \theta. \quad (4)$$

Продифференцировав лагранжиан (4) по скорости приводного двигателя ω_{dv} , скорости ω и угловому положению θ маятника, уравнения Лагранжа (1) примут вид

$$\frac{d\omega_{dv}}{dt} \left(R_k^2 (M + m_1 + m) + J_{dv} \right) + \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 \frac{R_k i_{mex} l}{2} \sin \theta (m_1 + 2m) -$$

$$- \frac{d^2\theta}{dt^2} \frac{R_k i_{mex} l}{2} \cos \theta (m_1 + 2m) = \frac{M_{dv} i_{mex}}{R_k} - f_{tk} (|\omega_{dv}|) \text{sign}(\omega_{dv}); \quad (5)$$

$$\frac{d\omega_{dv}}{dt} R_k \cos \theta (m_1 + 2m) + i_{mex} g \sin \theta (m_1 + 2m) -$$

$$- \frac{d^2\theta}{dt^2} i_{mex} l (0.5m_1 + 2m) = -f_{ts} (|\omega_{dv}|) \text{sign}(\omega_{dv}),$$

где M_{dv} - электромагнитный момент приводного двигателя, $f_{tk}(\dots), f_{ts}(\dots)$ - силы трения колес о поверхность и в шарнире соответственно.

Выводы. Разработанная модель устанавливает однозначную дифференциальную зависимость между электромагнитным моментом приводного двигателя, скоростью тележки и угловым положением маятника. Входом модели является электромагнитный момент двигателя, поэтому такой подход позволяет использовать различные математические модели электрических двигателей. В отличие от известных моделей, полученные уравнения учитывают момент инерции приводного двигателя, массу стержня маятника и трение в механической передаче и путем учета этих факторов при синтезе регуляторов позволят повысить запас устойчивости замкнутой системы.

Росенко Ю.С. аспірант

Науковий керівник: Садовой О.В. д.т.н., проф., проректор з наукової роботи ДДТУ

*(Дніпродзержинський державний технічний університет,
м. Дніпродзержинськ, Україна)*

СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СТРУКТУРНО – НЕСТІЙКИМ ДИНАМІЧНИМ ОБ’ЄКТОМ

Вступ. На теперішній час теорія керування стійкими динамічними об’єктами досягла свого розквіту. Розроблено велику кількість різноманітних методів аналізу та синтезу систем керування як лінійними так і нелінійними об’єктами. Однак ці методи знаходять своє застосування лише для стійких об’єктів керування. Натомість ряд об’єктів, який використовуються у народному господарстві є нестійкими. Такі об’єкти мають високі динамічні показники процесів керування і тому їх використання дозволяє зменшити час технологічного процесу. Проте використання відомих методів синтезу алгоритмів керування призводить до втрати замкненою структурою стійкості. Тому задача синтезу стійкої замкненої системи керування нестійким об’єктом є актуальною.

Постановка завдань дослідження. Метою роботи є синтез регулятора швидкості для електропривода з від’ємним в’язким тертям.

Матеріали дослідження. Одним із прикладів структурно – нестійкого об’єкту є електропривод з від’ємним в’язким тертям. Математична модель цього електропривода описується системою рівнянь другого порядку:

$$p\omega = \frac{h}{J}\omega + \frac{R_{\text{я}}}{k\Phi T_{\text{м}}}I; pI = -\frac{k\Phi}{R_{\text{я}}T_{\text{я}}}\omega - \frac{1}{T_{\text{я}}}I + \frac{1}{R_{\text{я}}T_{\text{я}}}U_{\text{у}}. \quad (1)$$

Використання для об’єкта (1) перетворення зворотними зв’язками дозволяє визначити керуючий вплив

$$U = \frac{1}{L_{\text{Г}}T_2}(-L_{\text{F}}T_2 + V), \quad (2)$$

який компенсує внутрішні зворотні зв’язки та сталі часу об’єкта і дозволяє записати рівняння його динаміки у формі Бруновського

$$pz_1 = z_2; \quad pz_2 = V, \quad (3)$$

де нові змінні стану визначаються функціями перетворення

$$z_1 = T_1; \quad z_2 = T_2,$$

які визначаються співвідношеннями

$$T_1 = \omega;$$

$$T_2 = L_F T_1 = \left(\frac{\partial T_1}{\partial \omega} \quad \frac{\partial T_1}{\partial I} \right) \cdot \left(\frac{h}{J} \omega + \frac{R_{я}}{k\Phi T_m} I \quad -\frac{k\Phi}{R_{я} T_{я}} \omega - \frac{1}{T_{я}} I \right)^T = \frac{h}{J} \omega + \frac{R_{я}}{k\Phi T_m} I.$$

Оператори $L_G T_2$ та $L_F T_2$ в алгоритмі керування є похідними Лі функції перетворення T_2

$$L_G T_2 = \frac{1}{k\Phi T_{я} T_m}; \tag{4}$$

$$L_F T_2 = \frac{1}{J^2 k\Phi T_m T_{я}} \left(-h^2 T_{я} \omega k\Phi T_m - h T_{я} R_{я} J I + J^2 k\Phi \omega + J^2 R_{я} I \right). \tag{5}$$

Підставивши залежності (4) та (5) в перетворення керування (2) та вважаючи, що для керування об'єктом (3) використовується регулятор з алгоритмом

$$V = z_1^* - z_1 - 2z_2,$$

отримаємо:

$$U = \frac{(k\Phi^2 J - h^2 R_{я} T_{я})}{k\Phi J} \omega + \frac{-h R_{я} T_{я} k\Phi + k\Phi J R_{я}}{k\Phi J} I + \frac{R_{я} T_{я} J^2}{k\Phi J} (\omega^* - \omega - 2p\omega). \tag{6}$$

Перехідні процеси за швидкістю та струмом двигуна при пуску синтезованої системи керування показані на рисунку:

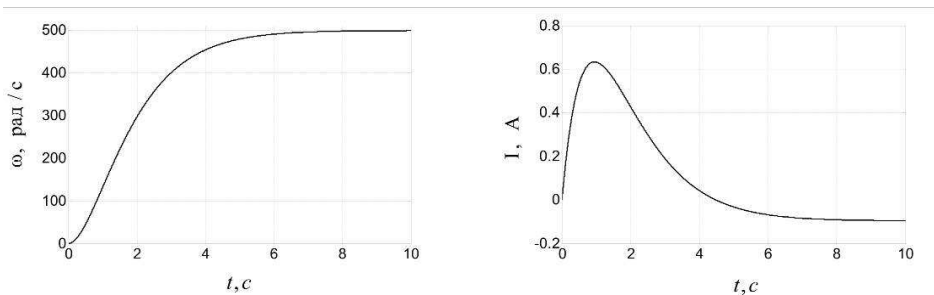


Рис. 1 - перехідні процеси

Висновок. Застосування сучасних методів диференціальної геометрії дозволяє компенсувати будь – які параметри та зв'язки в об'єкті, приводячи його рівняння руху до форми Бруновського. Використання відомих методів теорії автоматичного керування забезпечує бажаний запас стійкості замкненої системи та високу точність відпрацювання бажаних траєкторій руху перетвореного об'єкта.

СОЗДАНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ИСТОЧНИКА ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

Современное общество с каждым днем испытывает все большую потребность в неисчерпаемых энергетических источниках. Для Украины на сегодняшний день эта проблема является актуальной.

Основной целью является выбор возобновляемых источников для комплексного использования в системе энергоснабжения для коммунально-бытовых потребителей.

В зависимости от геологии местности, климатических и других условий можно выделить требования к энергоснабжению коммунально-бытовых потребителей которые питаются от альтернативных источников энергии:

- обеспечение потребителей электроэнергией;
- обеспечение потребителей тепловой энергией;
- наличие площадей для установки энергоснабжающего оборудования;
- бесшумность энергетической установки;
- пожаро- и взрывоопасность энергоснабжающего оборудования;
- надежность и длительный срок службы.

В таблице 1 представлены основные виды альтернативных источников снабжения тепловой и электрической энергией [1, 2].

Таблица 1

Основные виды альтернативных источников энергоснабжения

Виды альтернативной энергетики	Установки для получения альтернативной энергии:	
	Тепловая энергия	Электрическая энергия
Солнечная энергетика	Солнечные коллекторы	Солнечные батареи
Ветроэнергетика	-	Ветрогенераторы
Геотермальная энергетика	Тепловой насос	Геотермальные электростанции
Биогазовая энергетика	Сжигание биотоплива для получения тепла	Использование биотоплива на электростанциях
Волновая энергетика	-	Волновая электростанция
Приливная энергетика	-	Приливная электростанция
Градиент-температурная энергетика	-	ОТЭС

Среди предложенных в таблице 1 основных видов альтернативных источников энергоснабжения для коммунально-бытовых потребителей в соответствии с требованиями, указанными выше, наиболее целесообразно использовать следующие:

-для обеспечения тепловой энергией – солнечные коллекторы, тепловые насосы, котлы работающие на биотопливе;

-для обеспечения электрической энергией – солнечные батареи.

Для эффективной и надежной работы комплексного источника предлагается схема, представленная на рис. 1. Для покрытия пиковых нагрузок и обеспечения надежной работы системы электроснабжения предлагается использовать централизованную сеть. Аккумуляторы тепловой и электрической энергии позволят вырабатывать и использовать энергию от альтернативных источников в периоды, когда это наиболее выгодно потребителю (например, вырабатывать электроэнергию в периоды максимума освещенности, и потреблять в периоды вечернего пика нагрузок энергосистемы). Для покрытия пиковых нагрузок по тепловой энергии предлагается использовать котлы,

работающие на биотопливе, систему централизованного теплоснабжения или их сочетание в зависимости от условий конкретного потребителя.



Рисунок 1- Принципиальная схема комплексного использования источников альтернативной энергии.

Вид передаваемой энергии: ————— электрическая,
 тепловая.

Применение комплексного источника энергоснабжения позволяет более эффективно использовать возобновляемые источники и снизить потребление энергии от централизованных сетей, а в некоторых случаях и вовсе отказаться от него.

В дальнейшем для реализации данного варианта использования комплексного энергоснабжения коммунально-бытовых потребителей необходимо произвести расчет потребляемой электрической и тепловой энергии объектом, определить оптимальное соотношение мощности элементов системы энергоснабжения. Важным вопросом при реализации является также выбор и согласование параметров работы элементов систем, которые обеспечат наибольшую энергетическую эффективность [3].

В работе предложено схему комплексного источника энергоснабжения для коммунально-бытовых объектов с учетом требований к нему и определено дальнейшее направление работы для реализации такой системы.

Перечень ссылок

1. Сибикин Ю.Д. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие.— 2-е изд., — М.: КНОРУС, 2012. — 240 с.
2. Русан В. И., Короткевич М. А. Комплексное использование возобновляемых источников энергии: Монография. Мн.: Институт энергетики АПК НАН Беларуси, 2004.— 48 с.
3. Хацкевич Ю.В., Кошеленко С.В. Дослідження впливу тривалості теплових навантажень на вибір оладнання для бівалентних систем теплопостачання. Zbiór raportów naukowych. "Perspektywy rozwoju badan naukowych w 21 wieku".(27.02.2013 - 28.02.2013) - Szczecin: Wydawca: Sp. z o.o. "Diamond trading tour", 2013. - 56 str. - с.23 - 28.

ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗКЛАД ВОДИ НА ВОДЕНЬ ТА КИСЕНЬ

Статья [1] на тему «ячейка Мэйера» стала началом моих исследований в возможности разложения воды на водород и кислород, для их дальнейшего использования в качестве топливного газа. Например, вместо бензина в двигателях внутреннего сгорания, или топливного газа, используемого для обогрева домов и помещений.

Основной целью является создание высоко эффективной электрической установки которая разлагает воду на водород и кислород при малом потреблении электрической энергии за счет явления резонанса.

Обычный электролиз воды требует тока, измеряемого в амперах, ячейка Мэйер производит тот же эффект при миллиамперах. Более того, обыкновенная водопроводная вода требует добавления электролита, например, серной кислоты, для увеличения проводимости, ячейка Мэйер действует при огромной производительности с чистой водой.

Клетка Мэйера имеет много общего с электролитической ячейкой, за исключением того, что она работает при высоком потенциале и низком токе лучше, чем другие методы.

Электроды – (отсылаем заинтересовавшихся к Мэйеру [2]) - сделаны из параллельных пластин нержавеющей стали, образующие либо плоскую, либо концентрическую конструкцию. Выход газа зависит обратно пропорционально расстоянию между ними; предлагаемое патентом расстояние 1,5 мм дает хороший результат.

Значительные отличия заключаются в питании ячейки. Мэйер использует внешнюю индуктивность, которая образует колебательный контур с емкостью ячейки, - чистая вода, по-видимому, обладает диэлектрической проницаемостью около 81 ф/м, - чтобы создать параллельную резонансную схему.

Она возбуждается мощным импульсным генератором, который вместе с емкостью ячейки и выпрямительным диодом составляет схему накачки. Высокая частота импульсов производит ступенчато поднимающийся потенциал на электродах ячейки до тех пор, пока не достигается точка, где молекула воды распадается и возникает кратковременный импульс тока.

Схема измерения тока питания выявляет этот скачок и запирает источник импульсов на несколько циклов, позволяя воде восстановиться.

Изобретение представляет собой метод получения смеси водорода и кислорода и других растворенных в воде газов.

Процесс заключается в следующем:

- конденсатор, в котором вода заключена в качестве диэлектрической жидкости между обкладками, включенный в последовательную резонансную схему с дросселем;
- к конденсатору прикладывается пульсирующее однополярное напряжение, в котором полярность никак не связана с внешним заземлением, благодаря чему молекулы воды в конденсаторе подвержены заряду той же полярности и молекулы растягиваются под действием электрических полярных сил;
- подбирают частоту импульсов, поступающих на конденсатор, соответствующую собственной частоте резонанса молекулы;
- продолжительное действие импульсов в режиме резонанса приводит к тому, что уровень колебательной энергии молекул возрастает с каждым импульсом;

- комбинация пульсирующего и постоянного электрического поля приводит к тому, что в некоторый момент сила электрической связи в молекуле ослабляется настолько, что сила внешнего электрического поля превосходит энергию связи, и атомы кислорода и водорода освобождаются как самостоятельные газы;
- сбор готовой к употреблению смеси кислорода, водорода и других растворенных в воде газов в качестве топлива.

Начавшийся выход газа управляется уменьшением эксплуатационных параметров. Поскольку резонансная частота фиксирована, производительностью можно управлять с помощью изменения импульсного напряжения, формы или количества импульсов.

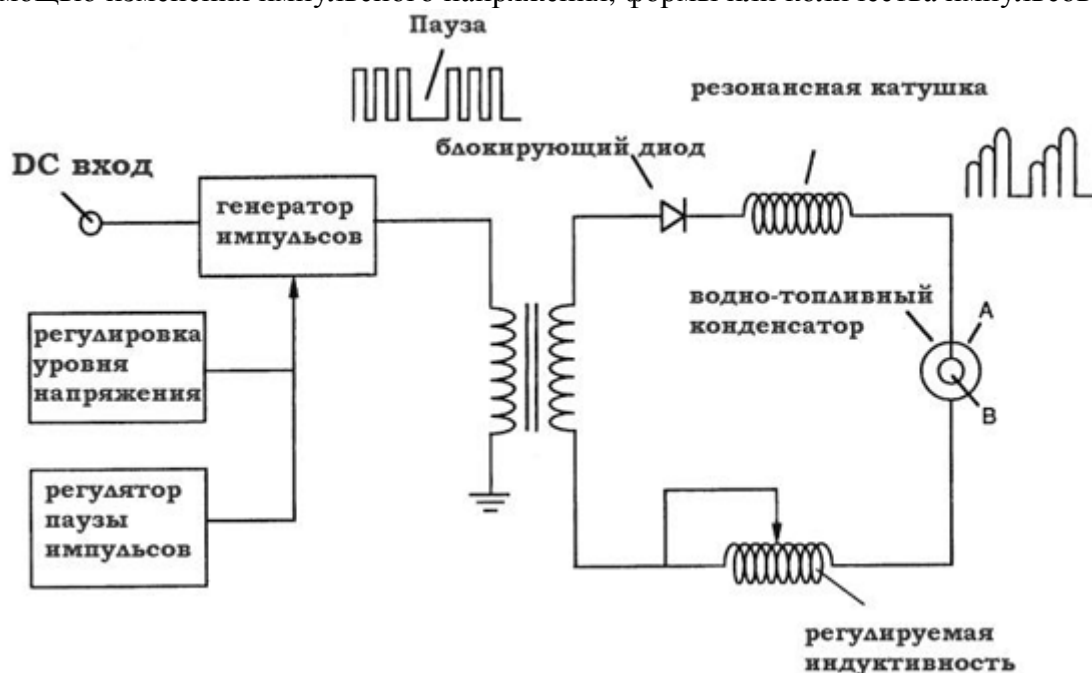


Рисунок 1 – Упрощенная электрическая схема электролизера Мейера

На рисунке 1 показано два концентрических цилиндра (А и В) 4 дюймов длиной составляют конденсатор. Расстояние между поверхностями цилиндров 0.0625 дюйма. Резонанс в схеме был достигнут при импульсе 26 вольт, приложенном к первичной обмотке. В любой резонансной схеме при достижении резонанса ток минимален, а выходное напряжение максимально. Расчет резонансной частоты традиционный.

В дальнейшем для реализации данного варианта является определение резонансной частоты последовательного LC-контур, который используется для повышения напряжения на конденсаторе. Определение этой частоты позволит определить параметры импульсов, которые подаются на колебательный контур.

Перелік посилань

1. <http://www.meanders.ru/meier.shtml>
2. <http://zvenigorod.eu/forum/index.php?/topic/64-%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C-%D0%BD%D0%B0-%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%B5-%D1%81%D1%82%D1%8D%D0%BD%D0%BB%D0%B8-%D0%BC%D1%8D%D0%B9%D0%B5%D1%80/>

Маліхова І., ст. гр. ЕЕ-14-3

Ципленков Д.В., к.т.н. доцент кафедри відновлювальних джерел енергії

(Державний ВНЗ “Національний гірничий університет”,

м. Дніпропетровськ, Україна)

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ У БАГАТОПОВЕРХОВИХ БУДУНКАХ

Однією з проблем, яка виникає при використанні теплових насосів в багатоквартирних будинках, де застосовується центральне тепlopостачання і підігрів гарячої води, є перерозподіл подачі енергії. Це тягне за собою додаткове навантаження на лінії електропостачання та можливо призведе до необхідності збільшення їх потужності. Визначимо шляхи зменшення витрат електричної енергії на опалення дев'ятиповерхового будинку проекту 111-83 (рис. 1) та оцінимо їх ефективність.

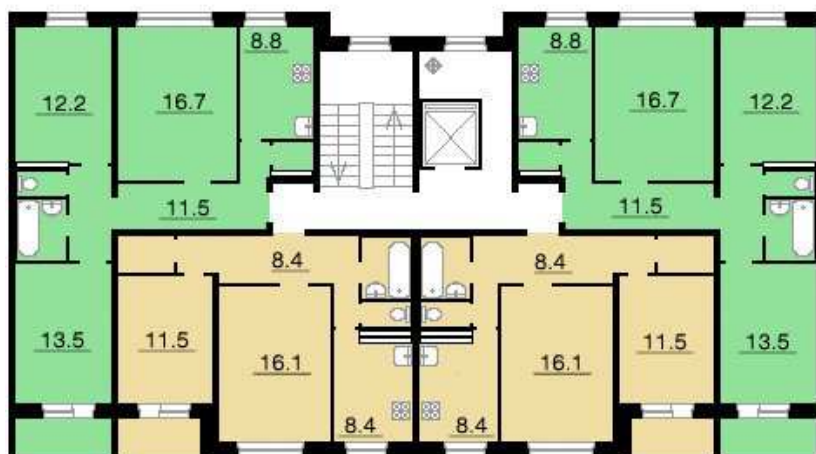


Рис. 1. План поверху стандартного блоку (один під'їзд) проекту 111-83.

Рішення з метою термоізоляції типових проектів багато квартирних домів з великогабаритних залізобетонних конструкцій (у т.ч. проект 111-83) радянської епохи не відповідають сучасним санітарним нормам [1, 2]. Розрахунки показали, що непрозорі огорожувальні конструкції мають опір теплопередачі $0,8 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, а прозорі – $0,37$, при відповідних нормах $3,3$ та $0,75$ [2]. Таким чином першим шляхом зменшення навантаження на електричні мережі при опаленні за допомогою теплових насосів є приведення багатоповірхових житлових будинків до сучасних вітчизняних санітарних норм. Це можливо досягнути встановленням сучасних пластикових вікон з опором теплопередачі $> 0,75 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ та зовнішнім утепленням стін шаром пінопласту не менш ніж $0,1 \text{ м}$.

Розподіл теплових втрат для температури зовнішнього повітря -20 [1] між різними елементами будівлі показує, що їх лівова частка припадає на вентиляцію житлових приміщень (рис. 2). Тим ні менш для четвертого варіанту розрахунків, де огорожувальні конструкції будівлі відповідають сучасним санітарним нормам, необхідна потужність системи опалювання зменшилась з $272,9$ до $178,2 \text{ кВт}$, що складає близько 35% . Розрахунки проводилися з 20% запасом.

Для сучасних теплових насосів коефіцієнт перетворення теплоти дорівнює 4 . Отже, для їх живлення потрібно лише $44,6 \text{ кВт}$ у пікове навантаження. Така потужність співвідносна з сумарною потужністю сонячних батарей, що встановлені на даху блоку. Розрахунки проводилися для сонячних панелей $1650 \times 991 \text{ мм}$ потужністю 250 Вт кожна,

встановлених під кутом 63°. Площа даху 333,7 м². Загальна потужність сонячних панелей складає 48 кВт.

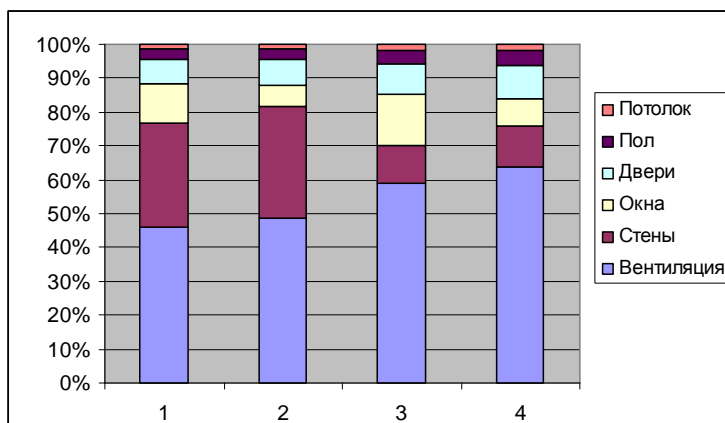


Рис. 2. Розподіл тепловитрат стандартного 9-поверхового блоку проекту 111-83.

Проведені розрахунки роботи теплового насосу у парі з сонячними батареями показали, що у жовтні та квітні електроенергія, що споживається тепловим насосом може бути повністю компенсована сонячною (рис. 3). У березні є незначний дефіцит, а в інші місяці опалювального сезону з центральної мережі енергопостачання тепловий насос буде відбирати не більше 40 %.

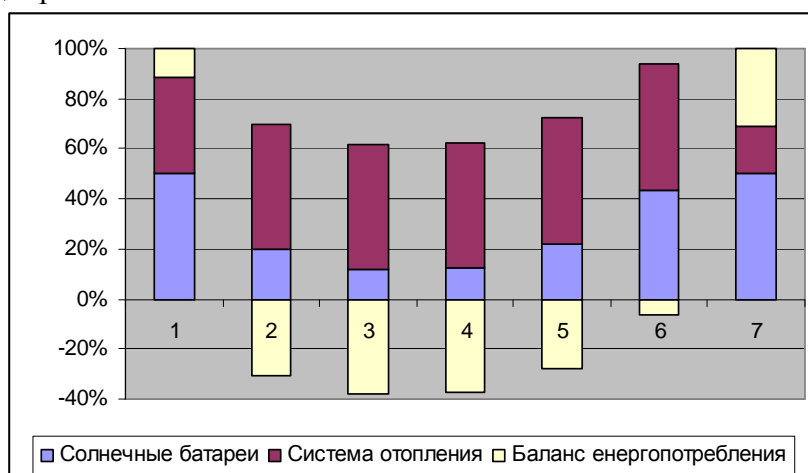


Рис. 3. Баланс енергоспоживання системи опалення.

Висновки:

1. Перед впровадженням теплового насосу за для опалення багатоповерхового будинку необхідно привести його до сучасних санітарних норм, які регламентують термічний опір його конструкції.

2. Якщо 9-ти поверховий будинок відповідає сучасним санітарним нормам, які регламентують термічний опір його конструкції, то за рахунок встановлення на його даху сонячних батарей можлива компенсація більше 60% електроенергії, що необхідна на його опалення тепловим насосом.

3. Додатково необхідно прорахувати можливість відбору тепла від вихідного повітря з вентиляційних шахт, на долю якого припадає більш ніж 60% втрат тепла.

Перелік посилань

1. Теплова ізоляція будівель, ДБН В.2.6-31:2006
2. Зміна №1, ДБН В.2.6-31:2006
3. <http://www.meteorprog.ua/ru/climate/Dnipropetrovsk/>

Пающик Д.А., руководитель - А.В. Бобров, ассистент
(Державний ВНЗ “Національний гірничий університет”,
м. Дніпропетровськ, Україна)

О НЕОБХОДИМОСТИ УЧЕТА ПУСКОВЫХ ПОТЕРЬ ПРИ РАСЧЕТЕ КПД ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СЕТЬ – ПРИВОД – КОМПРЕССОР – ПНЕВМОСЕТЬ»

Система двухпозиционного регулирования давления широко применяется в поршневых компрессорных установках. Благодаря поддержанию в системе давления в заданном интервале ($P_{min} \div P_{max}$) обеспечивается нормальная работа потребителей сжатого воздуха.

Для повышения энергоэффективности системы, было предложено, выполнить “плавающим” верхний уровень давления, при этом рассматривался электротехнический комплекс “электрическая сеть – компрессор – пневмосеть” в целом, а также был введен критерий экономичности для системы управления и определения значения верхнего уровня давления на одном цикле накачки спуска давления– КПД [1]. Обоснование этого энергетического показателя базируется на выяснении зависимостей между различными показателями элементов всей системы, определении наиболее весомых, с точки зрения потерь энергии, элементов электромеханической системы, а также взаимосвязи между ними.

В [2] были установлены зависимости между измеряемыми параметрами и потерей мощности в различных элементах комплекса с учетом существующих связей между ними, которые позволяют исследовать реальную картину изменения потерь при различных режимах работы технологического оборудования. Предложено производить сравнение потерь в различных элементах электротехнического комплекса в виде потерь энергии, что наиболее правильно с энергетической точки зрения.

Запишем выражение для КПД в зависимости от давления P_2 с учетом проведенных испытаний и определенных допущений:

$$\eta = \frac{\mathcal{E} - \Delta\mathcal{E}_{21} - \Delta\mathcal{E}_{31} - \Delta\mathcal{E}_{32}}{\mathcal{E} + \Delta\mathcal{E}_{11} + \Delta\mathcal{E}_{пуск}} \quad (1)$$

где \mathcal{E} – активная энергия, потребляемая асинхронным двигателем, кВт*ч; $\Delta\mathcal{E}_{11}$ – потери активной энергии в электрической сети, кВт*ч; $\Delta\mathcal{E}_{21}$ – потери энергии в асинхронном двигателе и компрессоре, кВт*ч; $\Delta\mathcal{E}_{31}$ – потери мощности в пневмосистеме, на интервале накачки давления, кВт*ч; $\Delta\mathcal{E}_{32}$ – потери мощности в пневмосистеме, на интервале снижения давления, кВт*ч; $\Delta\mathcal{E}_{пуск}$ – пусковые потери энергии в электрической сети и асинхронном двигателе кВт*ч.

Вопрос целесообразности учета пусковых потерь в зависимости (1) неоднозначен, ведь по сравнению с потерями энергии в элементах электромеханической системы при работе на нагрузку эти потери будут невелики [3].

Для выбора правильного решения необходимо сравнить зависимости $\eta(P_2)$ при различных расходах воздуха, потребляемого пневмоприемниками, с учетом пусковых потерь и без них. При расчете этих зависимостей приняты следующие параметры электромеханической системы:

$$P_2 = 0,6 \dots 0,8, \text{ МПа}, \quad P_1 = 0,1, \text{ МПа}, \quad n = 1,24, \quad Q_1 = 20, \text{ м}^3 / \text{ мин}, \quad \eta_{мех} = 0,85, \\ \eta_{пол} = 0,88, \quad \eta_{об} = 0,935, \quad \cos \varphi = 0,8, \quad U = 0,38, \text{ кВ}, \quad r_0 = 0,00035, \text{ Ом/м}, \quad l = 40, \text{ м}, \\ P_k = 0,8, \text{ МПа}, \quad P_n = 0,6, \text{ МПа}, \quad V_{pec} = 8,3, \text{ м}^3, \quad V_{тпроб} = 21, \text{ м}^3.$$

Расчетные коэффициенты производительности компрессора, коэффициенты корреляции и корреляционные отношения:

$$B_1 = 212,745; B_2 = -190,778; B_3 = -153,934; r_{xy} = 1; \eta = 0,96.$$

Расчетные коэффициенты потерь в пневмосистеме, коэффициент корреляции и корреляционное отношение:

$$C_1 = 315,022; C_2 = -315,714; C_3 = -162,804; r_{xy} = 1; \eta = 0,95.$$

Равенство приведенных коэффициентов корреляции и корреляционных отношений соответственно 1 и 0,95 свидетельствуют о наличии тесной корреляционной связи между параметрами Q и P. Таким образом применение аппроксимационной зависимости вида $P = A_0 + A_1 \cdot e^{-t/A_2}$; где A_0, A_1, A_2 – коэффициенты обосновано.

Здесь необходимо отметить, что при изменении исходных параметров электромеханической системы могут изменяться и потери энергии в ее элементах. Однако характер полученных зависимостей останется неизменным.

Для понимания того, как и в каких пределах изменяется энергетический показатель электромеханической системы на рабочем промежутке давления пневмоприемников от P_{\min} до P_{\max} . Целесообразно выразить зависимость изменения КПД электромеханической системы от уровня давления P_2 нагрузки пневмосети в процентах. Это в свою очередь дает возможность, зная нагрузку пневмосети и параметры комплекса, определить максимальный уровень этого показателя при обеспечении пневмоприемников сжатым воздухом. Следовательно, создаются предпосылки для обеспечения работы всей электромеханической системы с максимальным КПД.

График зависимости КПД электромеханической системы от уровня давления в пневмосистеме построен в интервале изменения давления P_2 от P_{\min} до P_{\max} , при различном расходе сжатого воздуха $Q_1 \div Q_{11}$ ($1 \div 11 \text{ м}^3/\text{мин.}$).

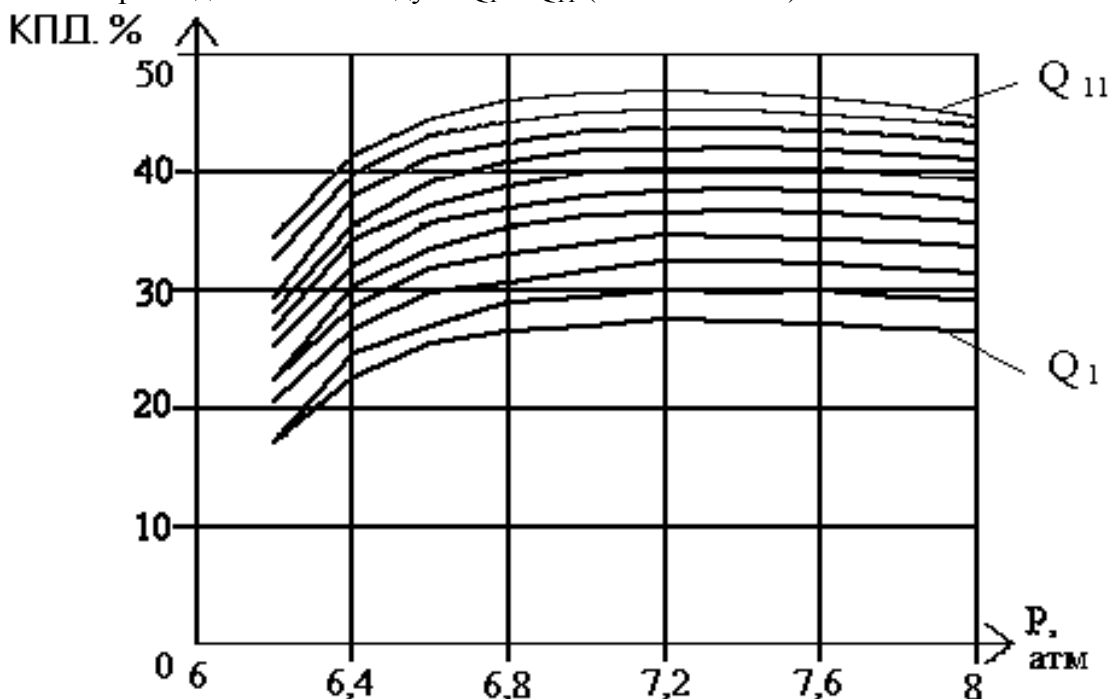


Рис. 1. Зависимость КПД электромеханической системы от уровня давления в пневмосистеме при различном расходе сжатого воздуха

На рис. 1. представлены зависимости КПД электромеханической системы от максимального верхнего уровня давления – КПД (P_{\max}) с учетом потерь энергии при пуске приводного двигателя, а без их учета – на рис 2. Приведенные графики

позволяют оценить влияние пусковых потерь на КПД электромеханической системы в целом.

Сравнение графических зависимостей с учетом потерь энергии при пуске и без них показывает, что влияние потерь существенно и сказывается в снижении значения КПД на всем диапазоне значений верхнего максимального уровня давления в

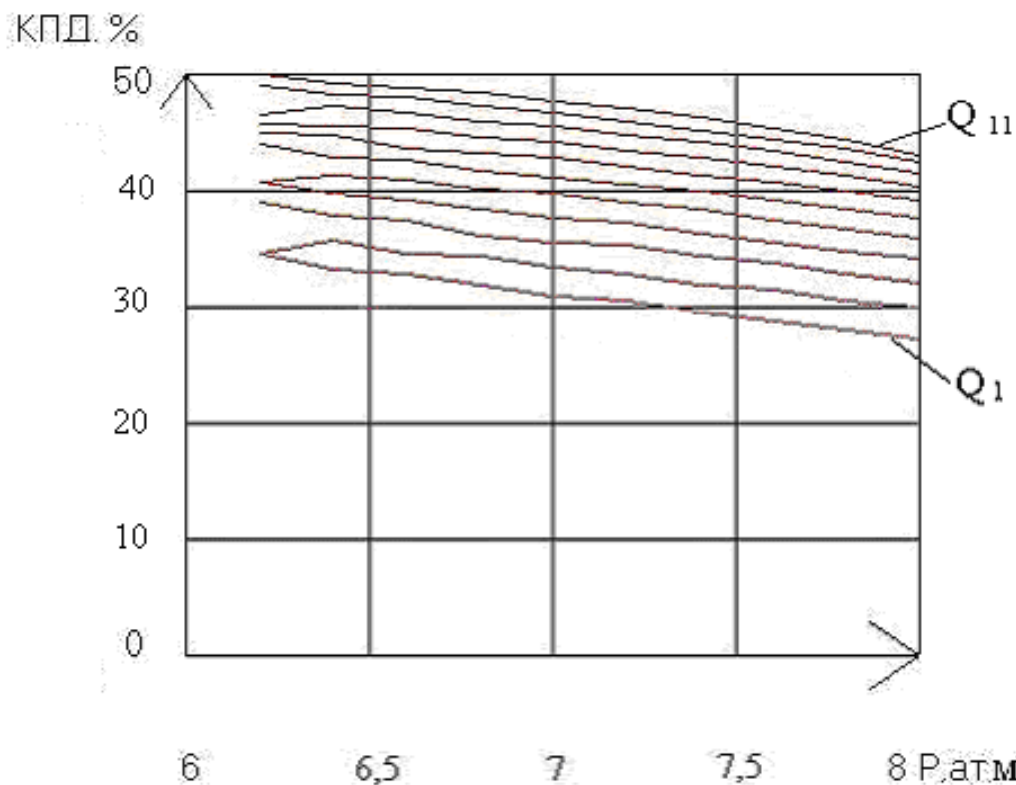


Рис. 2. Зависимость КПД электромеханической системы без учета пусковых потерь от уровня давления в пневмосистеме при различном расходе сжатого воздуха.

пневмосистеме от $P_{\min} + \Delta P$ до P_{\max} . Особенно это заметно при значениях верхнего максимального уровня давления в пневмосистеме близких к минимальному давлению в пневмосистеме P_{\min} в начале диапазона. Исходя из выше изложенного, очевидно, что учитывать пусковые потери $\Delta E_{\text{пуск}}$ при определении КПД электромеханической системы в целом необходимо. Это позволит избежать ошибок при определении максимального КПД и, соответственно, верхнего оптимального уровня давления в пневмосистеме $P_{\max.опт}$.

Перечень ссылок

1. Бобров А.В. Повышение энергоэффективности поршневых компрессоров. Технічна електродинаміка.-№3.-2004.-с.70-71.
2. Бобров А.В. Нагрузка пневматической сети и её влияние на уровни потерь мощности в элементах электротехнического комплекса поршневой компрессорной установки. Вісник приазовського технічного університету. м. Маріуполь. 2008 р. Енергетика, частина друга, 68-71 с.
3. Бобров А.В. Управление электроприводом компрессорной установки на основе определения КПД электротехнического комплекса. Междунар. молодёжная науч.-техн. конф. "Энергосистема и активные адаптивные электрические сети: проектирование, эксплуатация, образование", г. Самара, 21-25 ноября 2011 г. -423с.

Стасюк А.А., руководитель - А.В. Бобров, ассистент
(Державний ВНЗ “Національний гірничий університет”,
м. Дніпропетровськ, Україна)

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА КПД ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СЕТЬ – ПРИВОД – КОМПРЕССОР – ПНЕВМОСЕТЬ»

Система двухпозиционного регулирования давления широко применяется в поршневых компрессорных установках. Нормальная работа потребителей сжатого воздуха обеспечивается благодаря поддержанию в системе давления в заданном интервале ($P_{min} \div P_{max}$).

Повышения энергоэффективности системы “электрическая сеть – компрессор – пневмосеть” в целом можно достичь, выполнив “плавающим” верхний уровень давления. В работе [1] введен критерий экономичности для системы управления и определения значения верхнего уровня давления на одном цикле накачки спуска давления – КПД. Обоснование этого энергетического показателя базируется на выяснении зависимостей между различными показателями элементов всей системы, определении наиболее весомых, с точки зрения потерь энергии, элементов электромеханической системы, а также взаимосвязи между ними.

В [2] были установлены зависимости между измеряемыми параметрами и потерей мощности в различных элементах комплекса с учетом существующих связей между ними, которые позволяют исследовать реальную картину изменения потерь при различных режимах работы технологического оборудования. Предложено производить сравнение потерь в различных элементах электротехнического комплекса в виде потерь энергии, что наиболее правильно с энергетической точки зрения. Энергию, потребляемую приводом компрессора, можно представить в виде:

$$\mathcal{E} = \sum_{i=1..T} N_i \cdot t_i \quad (1)$$

где N_i - потребляемая мощность приводом компрессора, кВт.; t_i - интервал дискретизации, ч.

Здесь важно правильно выбрать этот интервал. В таком случае упрощаются расчеты по определению потерь энергии в элементах электротехнического комплекса, так как производить вычисления в виде суммирования потерь мощности менее ресурсоемко с точки зрения вычислительной мощности управляющей системы.

Следующим шагом стало формирование математической модели, позволяющей определять оптимальный режим работы оборудования системы. Так как элементы электромеханической системы существенно отличаются друг от друга, например, электрическая и пневматическая сети, и, соответственно, различными являются их параметры, выработан единый подход для анализа их энергетических показателей, что позволило унифицировать параметры режимов работы элементов электромеханической системы и создало предпосылки для объективного и точного определения критерия управления.

Таким образом созданы все условия для постановки задачи условной параметрической оптимизации, с одним оптимизируемым параметром P_{max} , определяющим максимальный уровень КПД электромеханической системы за цикл, при различных расходах сжатого воздуха, потребляемого пневмоприемниками.

Поскольку речь идет о решении оптимизационной задачи, то модель включает критерий оптимальности, представленный в виде аналитической функции (целевой).

$$F_{i\ddot{r}\ddot{o}}(\ddot{O}) = \eta(P_{i\ddot{a}\ddot{o}\ddot{r}\ddot{o}}) \rightarrow i\ddot{a}\ddot{o} \quad (2)$$

Определение зависимости, связывающей уровни расхода сжатого воздуха с показателем КПД системы в целом, является основной задачей (целью) разработанной математической модели. Это дало возможность проследить режимную взаимосвязь элементов комплекса и получить результаты в аналитическом и графическом виде. Анализ этой зависимости произведен с точки зрения определения момента времени выработки управляющего воздействия на асинхронный привод поршневой компрессорной установки. Поскольку математическая модель ориентирована на оперативное управление, и контролируемые параметры режимов сведены к минимуму, то установлена зависимость между контролируемыми параметрами и показателем КПД. Особенность построения такой зависимости заключается в необходимости обеспечения наглядности представления данных для определения оптимальных параметров режима работы электромеханической системы. Эти параметры обеспечивают максимум КПД. Управляющие воздействия вырабатываются в момент времени, который соответствует оптимальным параметрам режима работы электромеханической системы. Это позволило получить максимальное значение показателя КПД η , следовательно, определить оптимальные параметры режима работы электромеханической системы на заданном интервале времени.

Предложенная математическая модель позволяет определить момент создания управляющего воздействия на асинхронный привод поршневой компрессорной установки. Для обеспечения адекватности разработанной модели необходимо принять и обосновать допущения и ограничения.

Математическая модель учитывает режимы работы всех звеньев электротехнического комплекса для определения его энергетического показателя – КПД и определяет оптимальное значение верхнего предела уровня давления P_{opt} за цикл спуска – наработки при условии максимума КПД электротехнического комплекса – минимума потерь энергии в его звеньях.

При этом ограничениями для математической модели являются:

- условие по обеспечению пневмоприемников сжатым воздухом.
- ограничение по количеству пусков приводного асинхронного двигателя в час (защита асинхронного двигателя от перегрева).

Модель разработана исходя из следующих допущений:

- напряжения питания асинхронного двигателя неизменно $U = const$;

- исходя из анализа рабочей характеристики $\eta = f\left(\frac{N}{N_{ном}}\right)$ асинхронных приводов

компрессоров работающих на нагрузку, значение КПД при коэффициенте загрузки большем 0,3 – 0,4 остается практически неизменным и равным $\eta_{ном}$ [3], так как коэффициент загрузки асинхронных приводов поршневых компрессоров изменяется от 0,6 до 0,9 при их работе на промежутке давления от P_{min} до P_{max} системы двухпозиционного регулирования;

- влияние температур всасывания воздуха на потребляемую мощность полагается несущественным и может не учитываться;

- расчет должен производиться по параметрам при $T_1 = 20$ °С, так как снижение температуры всасываемого воздуха с постоянным уровнем давления уменьшает количество водяных паров содержащихся в нем, что приводит к повышению производительности [4].

Ограничения $W_i(\bar{X})$, накладываемые на область существования оптимизируемого параметра [5,6]. Решение оптимизационной задачи должно быть найдено при давлении в пневмосети $P_{min} \leq P_2 \leq P_{max}$. А так как ранее было сказано, что математическая модель должна учитывать условие обеспечения пневмоприемников сжатым воздухом и ограничение по количеству пусков приводного асинхронного

двигателя в час (защита асинхронного двигателя от перегрева), то в задачу параметрической оптимизации необходимо ввести также ограничения:

$$P_{\min} < P_{\max \text{ опт}} \leq P_{\max} \quad (3)$$

Оптимальный (максимальный) верхний уровень давления в пневмосистеме $P_{\text{опт}}$ должен устанавливаться в интервале давлений от P_{\min} до P_{\max} . Количество пусков определяет минимальную продолжительность цикла.

$$M \leq \dot{V}_{\text{ам}} \cdot T_{\text{дв}} = \frac{60}{M} \quad (4)$$

Таким образом сформулирована задача условной оптимизации с одним оптимизируемым параметром (P_{\max}), определяющим оптимальный (максимальный) КПД электромеханической системы за цикл, исходя из его конкретных параметров, режимов работы, ограничений и допущений.

В дальнейшем был проведен анализ методов поиска, ориентированных на нахождение точки оптимума внутри заданного интервала, который показал, что с учетом особенностей оптимизационной задачи наиболее предпочтительным является метод сканирования. Т.к. изменение параметра P_2 происходит с переменным шагом.

Перечень ссылок

1. Бобров А.В. Повышение энергоэффективности поршневых компрессоров. Технічна електродинаміка.-№3.-2004.-с.70-71.
2. Бобров А.В. Нагрузка пневматической сети и её влияние на уровни потерь мощности в элементах электротехнического комплекса поршневой компрессорной установки. Вісник приазовського технічного університету. м. Маріуполь. 2008 р. Енергетика, частина друга, 68-71 с.
3. Дегтярева В.В. Нормирование топливно-энергетических ресурсов и регулирование режимов электропотребления: Сборник инструкций/ Под общ. ред. В.В.Дегтярева.-М.:Недра,1983.- 223 с.
4. Назаренко У.П. Экономия электроэнергии при производстве и использовании сжатого воздуха / У.П. Назаренко.– М.:Энергия,1976.- 103 с.
5. Сухарев А.Г. Курс методов оптимизации: Учеб. Пособие / А.Г.Сухарев, А.В.Тимохов, В.В.Федоров // 2-е изд. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. — 368 с.
6. Пантелеев, А.В. Методы оптимизации в примерах и задачах: Учеб. пособие/А.В. Пантелеев, Т.А. Летова. — 2-е изд., исправл. — М.: Высш. шк., 2005. — 544 с.