



УДК 658.51:664

DOI: 10.31388/2220-8674-2018-2-56

ПРОВЕДЕННЯ ЕНЕРГОАУДИТУ ПНЕВМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ ХАРЧОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

Медведєва Н. А.¹, к. т. н.,

Сухенко В. Ю.¹, д. т. н.,

Сухенко Ю. Г.¹, д. т. н.,

Радько О. В.², к. т. н.,

Розбицька Т. В.¹

¹Національний університет біоресурсів і природокористування України

²Національний авіаційний університет

E-mail: medvedeva-natali@ukr.net, 099-48-344-50

Анотація - для ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів досліджені аспекти організації виробництва та споживання стиснутого повітря на харчовому підприємстві. Проведено аналіз динаміки споживання стиснутого повітря в основних точках пневмосистеми. Результати показали різку зміну сумарної витрати стисненого повітря цеху на початок запису. Даний скачок пов'язаний з тим, що обладнання знаходилося в режимі підготовки до виробництва. Також визначено проблеми з надмірними витоками повітря. З метою виявлення можливих провалів тиску в пневмосистемі проводилися тривалі вимірювання тиску в основній пневмомагістралі. Виконано заміри витрат стисненого повітря в основних точках протягом п'яти днів при робочих режимах споживачів. Дані вимірювань надали можливість визначити окремих споживачів та їх частку у загальному споживанні. Під час пневмоаудиту особливу увагу було приділено дослідженню місць витоку стисненого повітря. При підготовці до виробництва спостерігали високий рівень витрат, що пояснюється великим обсягом витоків до 15000 норм.л/хв. Окрім цього, встановлено обсяг локалізованих витоків та поточні втрати коштів, що пов'язані з ними. Розроблено рекомендації з ліквідації витоків та більш ефективного використання стисненого повітря споживачами харчового підприємства. Визначено обсяг заощаджень із впровадження заходів з технічного вдосконалення споживачів пневмосистеми.

Ключові слова: пневмоаудит, пневмосистема, стиснуте повітря, пневмомагістраль, витоки повітря, енергоефективність, витрати повітря, тиск в системі.

Постановка проблеми. В найближчому майбутньому виснажаться запаси основних джерел енергії. Більше того, екологічні проблеми, які виникли останнім часом, зокрема парниковий ефект, кислотні дощі і загальне забруднення атмосфери, пов'язані з використанням енергії [1, 2]. Неefективне внутрішнє споживання паливно-енергетичних ресурсів підвищує рівень залежності від країн-



експортерів, що поглиблює проблему енергетичної безпеки країни за рівнем імпортозалежності. Понад 51 % приходить на нереалізований потенціал енергозбереження в Україні.

Більшість потужностей у галузі є застарілими, мають високий ступінь зношування, використовують ресурсо- й енергоємні технології вчорашнього дня [3].

Більшість керівників підприємств агропромислового комплексу розуміють, що необхідно нарощувати зусилля, спрямовані на зменшення виробничих витрат шляхом зниження споживання енергоресурсів і як наслідок підвищення конкурентоспроможності в своєму сегменті ринку.

На багатьох агропромислових підприємствах частка енергоспоживання, яка припадає на компресорне обладнання може досягати 25–30 %. Стисле повітря як енергоносіє широко застосовується для живлення таких споживачів: пневматичного інструменту, пневматичної автоматики, різного роду гільотин. Крім того для продувки й очищення деталей і устаткування, для охолодження компонентів в процесі виробництва, переміщення сипучих матеріалів тощо. Застосування стисненого повітря дозволило механізувати ряд трудомістких технологічних процесів. Широкому використанню стиснутого повітря сприяли його особливі властивості: пружність, прозорість, нешкідливість, швидка передача тиску і необмежений запас повітря в природі. На необхідну для роботи компресорів електроенергію доводиться до 80 % експлуатаційних витрат; близько 25% витрачається на виробництво стисненого повітря енергії, а втрати внаслідок витоків становлять 25–30 % енергії. Більшість традиційно застосовуваних систем підготовки і транспортування стиснутого повітря вкрай неефективні – їх загальний ККД не перевищує 20 %. Витрати на вироблення стисненого повітря становлять близько 15 %, а для деяких виробництв досягають 30 % від собівартості продукції. Отже, багато промислових підприємств шукають шляхи підвищення ефективності пневматичних систем, що дозволить досягти суттєвої економії енергоресурсів.

Проведення всеосяжного енергетичного обстеження системи стисненого повітря є одним з найдієвіших способів, що дозволяє визначити ресурс обладнання, стан трубопроводів, підвищити її надійність в експлуатації, збільшити термін служби пневмосистеми. Енергоаудит дозволяє виявити втрати при транспортуванні до споживачів і від витоків, знизити супутні витрати, збільшити ефективність споживання стисненого повітря на підприємстві.

Аналіз останніх досліджень. Розробка нових ресурсозберігаючих технологій відноситься до найбільш перспективних напрямків, які забезпечують фундаментальне



вирішення питань економії енергоресурсів. Теоретично-прикладні розробки [5] присвячено зменшенню енергоємності економіки України, забезпеченню промисловості енергетичними ресурсами, обґрунтуванню рівня енергоефективності. Однак не вирішеними залишаються питання визначення оптимальних шляхів реалізації енергозберігаючих заходів з урахуванням техніко-економічних чинників за окремими системами.

Автори [6] зазначили, що система нормування питомих витрат палива та енергії є елементом управління енергозбереженням. Однак налагоджений нормативний контроль шляхом безперервного обліку питомої енергоємності дозволяє виконати поступове введення технологічного об'єкта в задані межі енергоспоживання. Але через інерційність в умовах швидкої зміни економічної і виробничої ситуації на промислових підприємствах ця система нормування не забезпечує оперативного відстеження поточного стану енергоємних процесів.

Дослідження процесу економічної оцінки організаційних та технічних заходів щодо підвищення промислової енергетичної ефективності розкриті у роботах [2, 3]. В роботах [4-7] розроблена методологія оцінки резервів енергозбереження в промисловості на основі аналізу енерговикористання в технологічному процесі.

Проте, подальших досліджень потребують питання щодо впровадження комплексу дій спрямованих на оптимізацію використання енергоресурсів, яка передбачає найкращу комбінацію ресурсів, які використовуються на окремо взятому підприємстві, в тому числі й вторинних енергоресурсів.

Розробка і впровадження нових, підтримка раніше відомих заходів енергозбереження вимагає сучасних, науково обґрунтованих підходів до планування та оперативного управління. У даній роботі пропонується новий підхід до вирішення проблем енергозбереження, зокрема, в пневматичній системі.

Поліпшення техніко-економічних показників роботи систем подачі повітря досягається економією електричної енергії при його виробленні, ефективністю використання компресорів, зменшенням втрат повітря при транспортуванні, раціональним використанням споживачами та іншими заходами в виробничих цілях.

Першим етапом діагностичного контролю пневмосистеми є проведення технологічного аудиту операційної пневматичної системи [8]. Цей процес складається з визначення фактичної конфігурації пневматичної системи, збору статистичних даних, візуальної та інструментальної перевірки. Другий етап – аналіз роботи складових пневмосистеми та їх показники.



Суть енергетичного обстеження системи стисненого повітря (пневмоаудиту) полягає в проведенні детального, інструментального і статистичного обстеження, що охоплює стан пневматичної системи в цілому, так і об'єктів, зокрема, а також їх спільної роботи в єдиній системі [8].

За результатами пневмоаудиту пропонуються заходи щодо вдосконалення існуючої системи пневматичної схеми подачі повітря або розробкам нової базової підготовки повітря. І як наслідок, підвищується надійність і ефективність використання енергії стисненого повітря споживачами з урахуванням їх пневматичних особливостей експлуатації. На етапі статистичного аналізу збирають і аналізують документальні дані про параметри компресора, споживання енергії, витрати повітря, технічні параметри повітря, робочі режими (сезонність), які необхідно враховувати при розрахунку пневматичної ефективності системи. На наступному етапі пневмоаудиту проводяться експериментальні дослідження робочих процесів і діючих режимів роботи пневматичної системи. Основними показниками, що характеризують роботу компресорної станції, є її продуктивність і питома витрата електроенергії, які досить часто не відповідають паспортним даним. Тому для кожного об'єкта системи за спеціально розробленою програмою проводяться візуальні та інструментальні дослідження. Основою програми і методологією дослідження є положення, які описані в джерелі [7]. Методика огляду полягає в проведенні візуальної оцінки з фото відео фіксацією фактичного стану пневмосистеми. Також проводять вимірювання з реєстрацією пневматичних характеристик системи за допомогою стаціонарних і портативних пристроїв за заданими режимами роботи. Аналітичне дослідження втрат тиску в проточній частині пневматичної магістралі виконують з урахуванням поелементного розрахунку тиску в перерізі струменя, розділів тиску, розподілу швидкості потоків [9]. Баланс виробництва і споживання стисненого повітря аналізується за умови, гарантованих потреб споживачів в наданні ресурсів.

За даними авторів [10] для визначення внутрішнього діаметру трубопроводу і перепаду тиску у пневмосистемах можна використовувати розрахунковий графік. Але цей метод можна використовувати й для перевірки правильності підбору діаметрів трубопроводів пневмомагістралі.

Незважаючи на різноманітність об'єктів існують деякі основні принципи, на яких повинен ґрунтуватись будь-який енергоаудит. В галузі енергозбереження та організації роботи щодо створення та функціонування систем енергоменеджменту діють національні, європейські та міжнародні стандарти. [11]. Слід зазначити, що



стандарт ISO 50001:2011 [12] вимагає проведення «енергетичних оглядів», як складову частину системи енергоменеджменту (СЕН). СЕН повинна розроблятися, реєструватися і зберігатися. Розроблення системи включає аналіз використання і споживання енергії, визначення областей значного споживання енергії та пріоритетності можливостей для підвищення енергоефективності.

Об'єктом досліджень є окремий цех підприємства з виробництва дитячого харчування, зокрема виготовлення дитячих соків. На підприємстві стиснене повітря застосовується для живлення пневматичного інструменту, пневматичної автоматики, обдування пакетів, в процесах упаковки, приймання сировини, стерилізації, купажу, осмосу, розливу ТВА.

Формулювання цілей статті. Метою дослідження є визначення споживання стисненого повітря і розробка заходів щодо підвищення ефективності його використання на харчовому підприємстві, а також скорочення витрат на виробництво стисненого повітря і експлуатацію пневмообладнання.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

- провести аналіз структури пневмомережі певного цеху підприємства з виробництва дитячого харчування;
- визначити якість стисненого повітря в різних точках пневмосистеми (точка роси, наявність водяного і масляного конденсату);
- дослідити споживання повітря підприємством та його окремими ділянками, в робочому режимі, так і при зупиненому обладнанні;
- дослідити витрати стисненого повітря;
- розробити рекомендації з енергозбереження і технічного вдосконалення пневмосистеми, що дають економічний ефект.

Основні матеріали дослідження. У цеху підприємства, який досліджується, система виробництва стисненого повітря (рис. 1) розміщена в приміщенні компресорної, що знаходиться у виробничому корпусі.

Пневмосистема має централізовану подачу стисненого повітря. Велика частина пневмомагістралей виконана з нержавіючої сталі. Виробництво стисненого повітря здійснюється п'ятьма гвинтовими компресорами Atlas Copco (Швеція).

Характеристики компресорів, що використовуються на підприємстві з виробництва дитячого харчування наведені в табл. 1.

Потік повітря, що нагнітається ними, осушується за допомогою окремо розташованих, рефрижераторних осушувачів з точкою роси 2–5°C. Тиск стисненого повітря на підприємстві налагоджено на 7,5 бар. При цьому тиску розрахункова сумарна продуктивність 5-ти компресорів складає близько 83100 норм. л/хв.

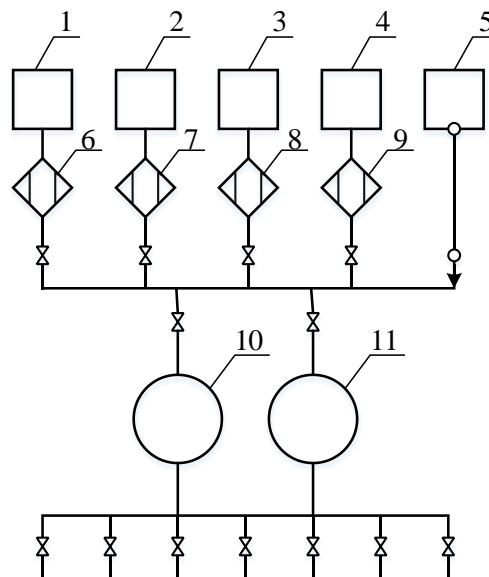


Рис. 1. Принципова схема системи виробництва стисненого повітря: 1, 2, 3, – компресори Atlas Copco ZR132; 4 – компресор Atlas Copco ZR110; 5 – компресор Atlas Copco ZR90VSD-FF; 6, 7, 8, 9 – осушувачі; 10, 11 – ресивери

На підприємстві, що досліджувалось, повітря осушується за допомогою чотирьох незалежних осушувачів 6 – 9 (Atlas Copco – FD300 і FD260) та одного вбудованого в компресор 5. Компресори підключені до двох ресиверів 10 і 11, що знаходяться на вулиці, з яких повітря надходить до всіх споживачів. Загальний обсяг ресиверів становить 8000 літрів (2 ресивера по 4000 л).

Таблиця 1. Основні характеристики компресорів

Модель	Тип	Потужність, кВт	Продуктивність при тиску 7,5 бар, м ³ /хв	Робочий тиск, бар	Точка роси, °С
Atlas Copco ZR132	Гвинтовий	132	18,4	7,5-12	-
Atlas Copco ZR132	Гвинтовий	132	18,4	7,5-12	
Atlas Copco ZR132	Гвинтовий	132	18,4	7,5-12	
Atlas Copco ZR110	Гвинтовий	110	15,4	7,5-12	
Atlas Copco ZR90VSD-FF	Гвинтовий	90	12,5	7,5-12	-12,1

Ресивери використовуються для компенсації нетривалих скачків витрати, що перевищують сумарну продуктивність всієї компресорної



станції. Це пов'язано з тим що, при непрацюючих компресорах ресивери будуть працювати вкрай малий час. При зупинці компресорного устаткування споживачі при витраті 70000 норм.л/хв стисненого повітря будуть витрачати стиснене повітря з ресиверів і з самої пневмосистеми протягом декількох секунд до зниження тиску на 2 бари.

Після осушувачів через ресивери стиснене повітря зводять в загальний колектор, звідки розподіляється на сім споживачів. Гілки пневмосистеми, що живлять основних споживачів цеху (процеси ТВА, Упаковки, Аплікатори) закріплені, що забезпечує подачу стисненого повітря по обидва боки магістралі і дозволяє знизити втрати тиску. Гілки до решти споживачам побудовані за лінійним принципом, тобто є тупиковими і не мають закріплених ділянок.

Дослідження системи стисненого повітря цеху підприємства проводили у кінці травня при працюючому виробництві за такими етапами:

- дослідження точки роси,
- вимірювання тиску у компресорі, системі, споживача,
- вимірювання витрат стисненого повітря,
- виявлення витоків стисненого повітря.

Вимірювання точки роси проводилися за допомогою приладу «Testo 635-2» (Німеччина). Прилад призначений для вимірювання температури, відносної вологості та точки роси під тиском в системах стисненого повітря.

Вимірювання витрат стисненого повітря від основних споживачів виконувалися за допомогою датчиків серії PF2A (SMC Corporation, Японія).

При вимірах витрати використовувався датчик витрати погрузного типу – «VA 400» (ООО «Измерение и Контроль», Росія). При вимірі тиску використовувався прецизійний датчик тиску ISE30 (SMC Corporation, Японія).

Для виявлення місць витоків стисненого повітря використовувалися акустичний сигналізатор течі «УТ-2А» (ООО "НПК МОДУЛЬ ИТС", Росія) та ультразвуковий течешукач «SDT 170» (SDT Ultrasound Solutions, Бельгія).

При тривалих вимірюваннях тиску і витрат запис даних здійснювалася в автоматичному режимі. Пристроями збору і зберігання інформації використовували електронні реєстратори: дата-логгер «Нобо» (OneTemp Pty Ltd, Австралія) та «Параграф» (ООО "Автоматика", Росія).

Деякі розрахунки виконувалися з використанням програми SMC "Energy Saving" [6]. Так, за цією програмою проводилися обчислення, пов'язані з вологістю повітря, розрахунки втрат тиску в



трубопроводах, оцінки рекомендованих витрат для пневмомагістралей. Методичні підходи, що застосовувалися при вирішенні конкретних завдань, описані нижче по ходу викладу результатів.

Під час проведення енергетичного обстеження пневмосистеми цеху підприємства було встановлено, що сама система виготовлено з нержавіючої сталі, проте ресивери знаходяться на вулиці й зроблені з «звичайної» сталі. Продукти корозії внутрішніх стінок ресиверів надалі потрапляють у магістраль виробничого приміщення. В системі магістральної підготовки стисненого повітря відсутній фільтр, який перешкоджає би попаданню найбільш великих часток забрудненості у магістраль, що живить споживачів. Виходячи з цього, все навантаження з фільтрації стисненого повітря приходить на блоки місцевої підготовки (перед споживачами), що створює необхідність частішої заміни фільтруючих елементів.

Робота осушувачів визначено, як ефективна, за відсутністю води в рідкому вигляді у пневмосистемі. Окрім того були проведені заміри точки роси стисненого повітря в трьох точках: загальна магістраль, на виході з компресора 5, на виході з адсорбційного осушувача перед холодним приміщенням. Дані вимірювань наведені в табл. 2.

Таблиця 2. Дані замірів точки роси

Ділянка	Точка роси (°C)	$t_{\text{навк.}}, \text{°C}^*$	Примітки
Загальна	-3,2	20	Значна частина обладнання знаходилася у роботі
Компресор 5	-12,3		
Адсорбційний осушувач перед холодним прим.	-27,4	0	

Вимірювання показали, що точка роси стисненого повітря в цеху становить близько $-3,2^{\circ}\text{C}$ (спостерігалися невеликі коливання величини, пов'язані зі зміною тиску в системі).

Температура навколишнього середовища у виробничому приміщенні, де використовується стиснене повітря, знаходиться на рівні 20°C , таким чином, різниця між точкою роси і навколишнім середовищем становить 23°C . Це означає, що стиснене повітря в досліджуваній пневмосистемі добре осушений. Але недоліком для частини системи, що розташовується на вулиці (ресивери), є недостатня дана ступінь осушення. При температурі на вулиці нижче точки роси $-3,2^{\circ}\text{C}$, ймовірно випадання конденсату.

Наступним етапом нашого дослідження було визначення витрат та тиску стисненого повітря. Витрати стисненого повітря цеху

підприємства забезпечувалось чотирма працюючими компресорами із загальною продуктивністю 70600 норм.л/хв. При наявності п'ятого компресора, резерв за продуктивністю становить 12900 норм.л/хв. Таким чином, максимальний обсяг стисненого повітря, який може проводитися становить 83100 норм.л / хв. Вимірювання сумарної витрати і тиску підприємства визначило, що сумарна середня витрата стисненого повітря, яка зафіксована під час проведення пневмоаудиту, становить до 70000 норм.л/хв (рис. 2).

Різка зміна сумарної витрати стисненого повітря цеху на початок запису пов'язано з тим, що обладнання знаходилося в режимі підготовки до виробництва. Це було обумовлено проблемами з електроживлення цеху. Таким чином вдалося зафіксувати витрату стисненого повітря цеху в трьох режимах. У режимі підготовки до виробництва зафіксований високий рівень витрат 30000 норм.л/хв – 45000 норм.л/хв, хоча продукт на лініях не виготовлявся. Висока витрата витрату стисненого повітря для режиму підготовки до виробництва пояснюється великим обсягом витоків до 20000 норм.л / хв у цеху.

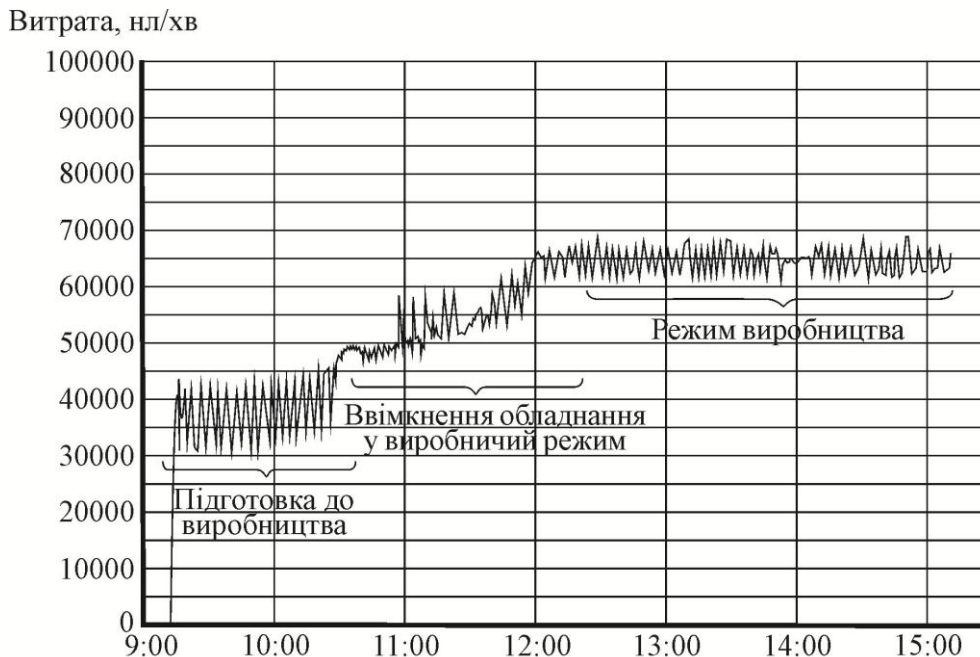


Рис. 2. Зміна сумарної витрати стисненого повітря

В ході дослідження пневмосистеми проводилися тривалі вимірювання тиску в основній пневмомагістралі з метою виявлення можливих провалів тиску, які можуть бути викликані недостатньою продуктивністю компресорної станції. Дослідження тиску і його зміни у магістралі протягом доби не виявили провалів, що можна побачити з графіка (рис. 3).

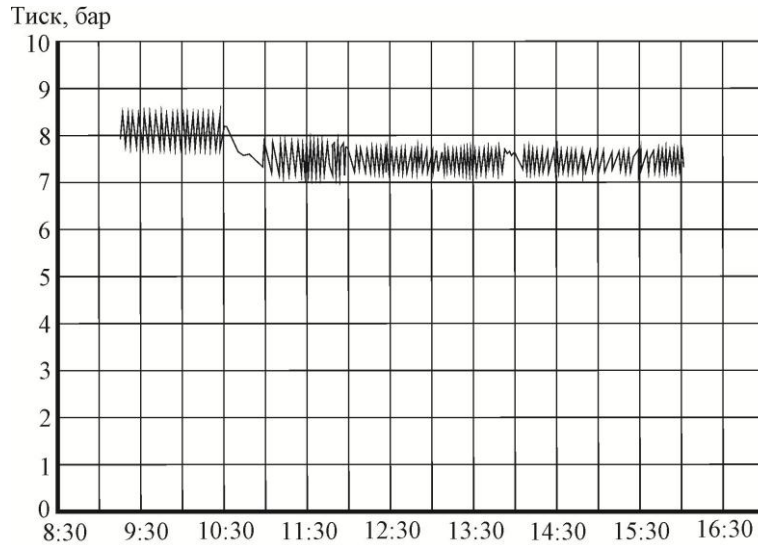


Рис. 3. Графік добового зміни тиску в загальній магістралі

Результати вимірювання показали, що перепад тиску під час всього діапазону вимірювань між загальної магістралі і кінцевим споживачем складає не більше 0,4 Бар. Такий перепад тиску є допустимим та свідчить про коректний вибір діаметрів магістралей, що ведуть до споживачів.

Надалі були проведені заміри витрат стисненого повітря в основних точках пневмосистеми, місця замірів витрати стисненого повітря показані на рис. 4. Заміри проводилися протягом п'яти днів при робочих режимах споживачів.

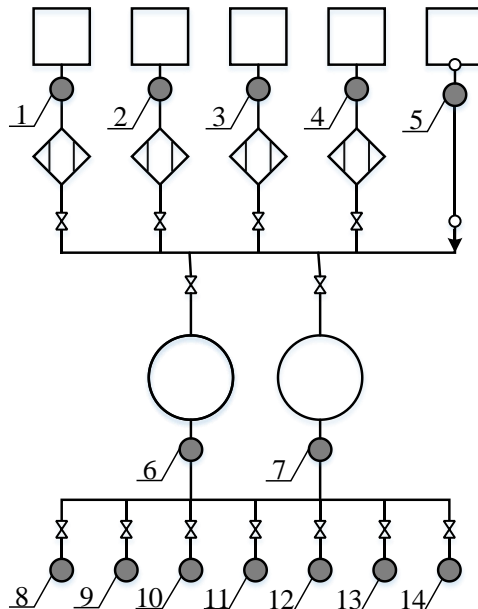


Рис. 4. Схема розташування врізок для визначення витрат стисненого повітря: 1 – компресор 1, 2 – компресор 2, 3 – компресор №3, 4 – компресор №4, 5 – компресор №5, 6 і 7 – загальна магістраль (сумарне споживання), 8 – аплікатори, 9 – упаковання, 10 – ТВА, 11 – осмос, 12 – купаж, 13 – приймання сировини, 14 – стерилізатор



Результати дослідження споживання стисненого повітря окремими ділянками цеху зведені у табл. 3.

Середнє споживання за добу на лінії «Осмосу» становить 520 норм.л / хв, при включенні регенерації витрата становить 26000 норм.л / хв. Регенерація включається 1 раз / добу протягом 5-7 хвилин. Визначено, що найбільшим споживачем стисненого повітря є лінія розливу ТВА, яка, при одночасному включенні може споживати близько 21500 норм.л/хв в середньому і близько 25 000 норм.л/хв в піке. Іншим великим споживачем стисненого повітря є група ліній упаковки - для них максимальна величина витрат в окремі моменти досягає 22000 норм.л/хв.

Таблиця 3. Данні споживання стисненого повітря окремими ділянками цеху

№ точки виміру	Опис ділянки	Споживання при роботі (норм.л / хв)		
		Макс.	Сер., протягом робочого часу	Мін.
1	компресор №1	23000	18500	0
2	компресор №2	18700	18500	0
3	компресор №3	29000	15500	12500
4	компресор №4	17000	15500	0
5	компресор №5	3000	1800	1200
6, 7	Сумарне споживання	72000	65000	3000
8	Аплікатори	21000	17000	11000
9	Упаковка	22000	18500	10000
10	ТВА	25000	21500	17000
11	Осмос	26000	520 (26000 при включені регенерації)	300
12	Купаж	4000	3000	200
13	Приймання сировини	3250	1750	1250
14	Стерилізація	12800	12500	12000

Частка витрат заміряних в точках в загальному споживанні стисненого повітря протягом доби зображено на рисунку 5.

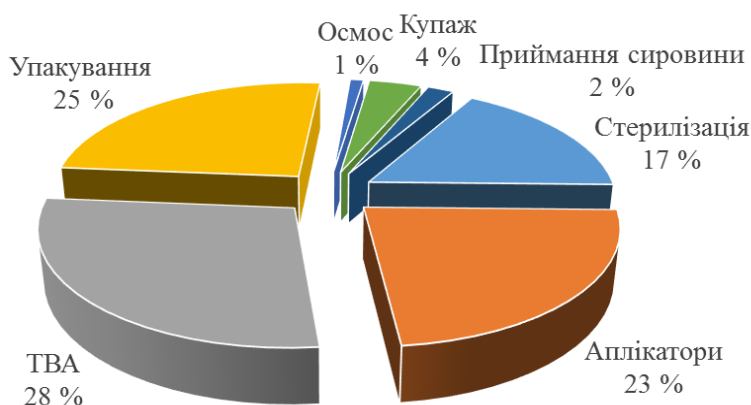


Рис. 5. Частка витрат за окремими ділянками в загальному споживанні стисненого повітря

Одним з важливих етапів дослідження пневмосистеми є виявлення й визначення витоків стиснутого повітря. Витоки є найбільш поширеним видом енергетичних втрат в пневматичних системах і можуть становити значну частку загального споживання стисненого повітря. Тому особливу увагу було приділено пошуку місць витоку стисненого повітря. Виявлення витоків проводилося протягом двох днів в кінці травня при працюючому обладнанні, тому всередині машин пошук витоків не проводився.

В цілому було виявлено 50 витоків. Кожне місце витоку стисненого повітря було оснащено сервісною биркою з описом дефекту. Повний перелік типів витоків та їх кількість на ділянках виробництва наведено нижче в табл. 4.

Таблиця 4. Класифікація витоків

Ділянка виробництва	Кількість, шт.	Тип витоку	Кількість, шт.
Лінії розливу ТВА	28	Витік по швидкороз'ємним фітінгам	19
Стерилізація	6	Витік по стику розподільників	6
Приймання сировини	4	Витік з порту скидання конденсату	5
Бочкоперекидачі	3	Витік по різьбі	4
Зберігання	3	Витік з регулятора	4
Підготовка води	3	Витік з порту вихлопу	3
Мийка	2	Витік з пошкодженої трубки	3
Купаж	1	Інші	6
РАЗОМ:	50	РАЗОМ:	50



У більшості випадків знайдені витoki припадають на місця з'єднань за допомогою швидкороз'ємних фітингів.

Обсяг витоків, за допомогою датчиків витрат, не фіксувався через відсутність «простоїв». Однак, за даними виміру витрат стисненого повітря при запуску виробництва після аварійного відключення електроживлення, як видно з графіків рис. 2, 3, відзначений високий рівень витрат при підготовці до виробництва, який пояснюється великим обсягом витоків до 15000 норм.л/хв.

Обсяг локалізованих витоків оцінимо з досвіду проведення аудитів на інших підприємствах. Тому обсяг кожної знайденої витoku оцінимо як 50 норм.л./хв. Таким чином обсяг знайдених витоків становить:

$$50 \text{ норм.л. / хв} \times 50 \text{ місць витоків} = 2500 \text{ норм.л. / хв (2,5 м}^3\text{/хв)}.$$

З огляду на вартість 1 м^3 стисненого повітря – 0,164 грн, поточні витрати коштів на витoku стисненого повітря складають:

$$0,164 \text{ грн} \times 2,5\text{ м}^3 / \text{хв} \times 350 \text{ днів / рік} \times 24 \text{ години / день} \times 60 \text{ хвилин} = 206640 \text{ грн / рік}.$$

На багатьох металевих фітингах і плитах для них в цеху, який досліджувався виявлені явні сліди корозії, що є причиною витоків. На лінії розливу виявлено кілька клапанів швидкого вихлопу під металевим кожухом з отворів яких постійно витікає стиснене повітря. У фільтрах місцевої підготовки стисненого повітря, що знаходяться безпосередньо перед споживачами цеху розливу виявлені забруднення фільтруючих елементів великими частками, що говорить про відсутність магістральної підготовки стисненого повітря (магістрального фільтра). На деяких ділянках розливу виявлені трубки з відкритим кінцем для обдування.

В ході проведення пневмоаудита виявлено ряд прикладів некоректного виконання окремих ділянок пневмосистеми, помилок в установці і експлуатації деяких видів обладнання, наприклад ділянка обдування пакетів. Дані про фактичне споживання стисненого повітря при різному режимі обдування пакетів перед фасуванням наведено у табл. 5.

З огляду на результати вимірів витрат стисненого повітря на обдув пакетів (табл. 5), можна зробити висновка, що на одну ділянку обдування економія стисненого повітря у зв'язку з використанням датчика наявності пакета, клапана і дроселя складає 250 норм.л/хв. При установці клапана і датчика наявності пакета там, де вже встановлено дросель економія витрат стисненого повітря становить 95 норм.л/хв.

Таблиця 5. Зведена таблиця даних про фактичне споживання на обдув

№ т.з	Опис ділянки	Споживання при роботі (норм.л / хв)		
		Макс.	Середн. протягом робоч. часу	Мін.
1	Обдув пакетів без дроселя і без датчика наявності пакета	290	270	240
2	Обдув пакетів з дроселем але без датчика наявності пакета (клапана)	125	115	110
3	Обдув пакетів з дроселем і з датчиком наявності пакета (клапана)	75	20	0

На кожне місце обдування при установці датчика наявності пакету і клапана, економія витрат становить мінімум 95 норм.л/хв з урахуванням того, що на всіх місцях обдування вже встановлені дроселі та пакети по конвеєру йдуть безперервно.

Враховуючи той факт, що на підприємстві працюють цілодобово 30 ліній розливу 350 днів в році за якими безперервно йдуть пакети з соком й вартість 1м³ стисненого повітря становить 0,164 грн розрахуємо річний економічний ефект:

$$350 \text{ днів/год} \times 24 \text{ часа} \times 0,095 \text{ м}^3/\text{мин} \times 60 \text{ мин/час} \times 30 \text{ машин} \times 0,164 \text{ грн/м}^3 = 235569,6 \text{ грн/год}$$

Дані розрахунку проведені без врахування витрат електроенергії на використання клапанів і датчиків наявності пакетів. Дана величина економічного ефекту дещо занижена, тому що при виробництві пакети не йдуть безперервно, і обдув вхолосту працює довгий час. Таким чином, економія коштів за рахунок використання спрацьовування обдування від датчиків наявності складає 235569,6 грн / рік при перерахованих умовах розрахунку.

За підсумками робіт з пневмоаудиту виявлені наступні поточні проблеми і, як наслідок, втрати коштів. Ліквідація виявлених витоків та використання клапанів і датчиків наявності пакетів заощадить близько півмільйона гривень (табл. 6).

Безумовно, ліквідація всіх витоків з'явилася б великою перемогою в боротьбі за ефективне використання стисненого повітря. Однак досвід показує, що домогтися 100-відсоткової ліквідації витоків практично неможливо, хоча до цього і слід прагнути.



Таблиця 6. Поточні втрати

№	Тип заощаджень	Обсяг заощаджень грн/рік
1	Ліквідація виявлених витоків стисненого повітря	206 640
2	Економія коштів на обдування пакетів в режимі постійної роботи в порівнянні з режимом включення обдування за умови наявності пакету.	235 569,6
Всього:		442 209,6

Рівень витоків стисненого повітря в пневмосистемі високий (біля 27% від загального споживання) слід вживати заходів для того, щоб знижувати його до мінімуму. Для того, щоб боротьба з витокami стисненого повітря постійно була об'єктом пильної уваги, слід пам'ятати, що ліквідація тільки виявлених витоків становить 206 640 грн, в той час як повна ліквідація витоків збереже близько 1 240 000 грн.

Дослідження системи стисненого повітря цеху підприємства проводили у кінці травня при працюючому виробництві. Встановлено, що в системі магістральної підготовки стисненого повітря відсутній фільтр, основна робота якого перешкоджати попаданню найбільш великих часток забрудненості у магістраль, що живить споживачів. Встановлений факт свідчить про те, що все навантаження з фільтрації стисненого повітря приходить на блоки місцевої підготовки, що в свою чергу створює необхідність частішої заміни фільтруючих елементів.

Дослідження якості стисненого повітря в різних точках пневмосистеми за показниками точки роси, наявності водяного і масляного конденсату показали, що стиснене повітря в досліджуваній пневмосистемі добре осушено та очищено. Але недоліком для частини системи, а саме розташування ресиверів на вулиці є недостатня ступінь осушення у зимовий період, коли температура навколишнього середовища буде нижче з температури $-3,2^{\circ}\text{C}$.

Визначено, що максимальний обсяг стисненого повітря, який може проводитися п'ятьма компресорами становить 83100 норм.л / хв., а сумарна середня витрата стисненого повітря, яка зафіксована під час проведення пневмоаудиту, становить близько 70000 норм.л/хв. Таким чином, резерв за продуктивністю компресорів становить до 13000 норм.л/хв.



Досліджено витрати стисненого повітря у цеху. Було зафіксовано витрату стисненого повітря цеху в трьох режимах на початок запису. Різка зміна сумарної витрати стисненого повітря пов'язана з тим, що обладнання знаходилося в режимі підготовки до виробництва.

Результати вимірювання добового зміни тиску в загальній магістралі і кінцевим споживачем показали, що перепад тиску під час всього діапазону вимірювань складає не більше 0,4 Бар. Такий перепад тиску є допустимим та свідчить про коректний вибір діаметрів магістралей, що ведуть до споживачів.

Дослідження витрат стисненого повітря в основних точках пневмосистеми проводилися протягом п'яти днів при робочих режимах споживачів виявили найбільших споживачів стисненого повітря, якими є лінія розливу ТВА, ліній упаковки та комплектовка аплікаторів.

Дослідження й виявлення витоків стиснутого повітря проводилося протягом двох днів в кінці травня при працюючому обладнанні. В цілому було виявлено 50 витоків стисненого повітря, поточні втрати коштів на них складають 206640 грн / рік. Виявлено ряд прикладів некоректного виконання окремих ділянок пневмосистеми. Результати вимірів витрат стисненого повітря на обдув пакетів дозволили визначити економію витрат при установці клапана і датчика наявності пакета, яка становить 95 норм.л/хв.

Висновки

1. Обстеження цеху підприємства визначило, що пневмосистема має централізовану подачу стисненого повітря. Виробництво стисненого повітря здійснюється п'ятьма гвинтовими компресорами, тиск у системі налагоджено на 7,5 бар.

2. Визначено якість стиснутого повітря, яка є задовільною. Заміри точки роси стисненого повітря проводились в трьох точках: загальна магістраль, на виході з компресора 5, на виході з адсорбційного осушувача та становить близько – 3,2°C. Різниця між точкою роси і навколишнім середовищем становить 23°C, що вказує на достатню ступінь осушення та відсутність водного и масляного конденсату.

3. Проведені вимірювання тиску в основній пневмомагістралі показали, що перепад тиску під час всього діапазону вимірювань між загальної магістралі і кінцевим споживачем є допустимим й складає не більше 0,4 Бар. Заміри витрат стисненого повітря надали можливість визначити окремих споживачів. Найбільшим споживачем стисненого повітря є лінія розливу ТВА та лінії упаковки, які відповідно споживають близько 21500 норм.л/хв й 18500 норм.л/хв в середньому.



4. Виявлення витоків проводилося протягом двох днів в кінці травня при працюючому обладнанні. В цілому було виявлено 50 витоків, найбільша їх кількість приходить на швидкороз'ємні фітинги. Встановлено, що загальний обсяг витоків становить обсягом витоків до 2500 норм.л/хв, а при підготовці до виробництва сягає до 15000 норм.л/хв.

5. Розроблено рекомендації з ліквідації витоків та більш ефективного використання стисненого повітря споживачами харчового підприємства. На ділянці обдуву пакетів економія стисненого повітря у зв'язку з використанням датчика наявності пакета, клапана і дроселя складає 250 норм.л/хв. Річний економічний ефект за рахунок використання спрацьовування обдування від датчиків наявності складає 235569,6 грн / рік.

Література:

1. *Кравчук В.* Інноваційні напрямки енергозабезпечення в Україні // Техніка і технології АПК. 2015. № 2. С. 23–30.

2. Mathematical model of corrosive-mechanic wear materials in technological medium of food industry. Lecture Notes in Mechanical Engineering / Y. Sukhenko, V. Sukhenko, M. Mushtruk, A. Litvinenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies: Materials Science. 2018. F 2. P. 507–514.

3. *Miedviedieva N., Levytsky M., V. Sukhenko.* Research of energy resources in Ukraine // Новітні технології. 2018. Вип. 1 (5). С. 81–89.

4. Повышение эффективности использования электроэнергии в шахтных производственных системах: монография / В. П. Розен, В. Д. Трифонов, В. В. Слесарев, Д. В. Трифонов. Днепропетровск: НГУ, 2016. 154 с.

5. *Гофман И. В.* Нормирование потребления энергии и энергетические балансы промышленных предприятий. Москва: Энергия, 1966. 233 с.

6. The methodology for the existing complex pneumatic systems efficiency increase with the use of mathematical modeling / A. Danilishin, S. Kartashov, Y. Kozhukhov, E. Kozin // Materials Science and Engineering. 2017. P. 232. DOI: 10.1088/1757-899X/232/1/012069.

7. *Садовский Н. И., Кожухов Ю. В.* Теория, расчет и конструирование компрессоров динамического действия. Испытание компрессоров при параллельной и последовательной работе. Совместная работа компрессоров: учебное пособие. Санкт-Петербург: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. 40 с.

8. *Kozin E. G., Kozhukhov Y. V.* Technological audit pneumatic system as a step in the process of its reconstruction // Scientific and technical statements STU. 2016. Vol. 2(243). P. 34–44.



9. *Кривопляс-Володіна Л. О., Валиулін Г. Р., Любімов В. М.* Оцінка витратних характеристик пневмосопла для технологічного процесу // Харчова промисловість. 2015. № 8. С. 137–141.
10. Engineering Tool Box. Compressed Air Pressure Drop Diagram, 2008. URL: https://www.engineeringtoolbox.com/compressed-air-pressure-drop-nomograph-d_1278.html (Last accessed: 02.02.2019).
11. *Черевашко Д. І., Волинець А. В., Медведєва Н. А.* Механізм ефективного використання енергетичних ресурсів // Стандартизація, сертифікація, якість. 2018. № 1 (108). С. 58–68.
12. ДСТУ ISO 50001:2014. Енергозбереження. Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання (ISO 50001:2011, IDT). [Чинний від 2015-01-01]. Київ, 2016. 19 с.

ПРОВЕДЕНИЕ ЭНЕРГОАУДИТА ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПИЩЕВОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

**Медведєва Н. А., Сухенко В. Ю., Сухенко Ю. Г.,
Радько О. В., Розбицкая Т. В.**

Аннотация - для эффективного использования топливно-энергетических ресурсов исследованы аспекты организации производства и потребления сжатого воздуха на пищевом предприятии. Проведен анализ динамики потребления сжатого воздуха в основных точках пневмосистемы. Результаты показали резкое изменение суммарного расхода сжатого воздуха цеха на начало записи. Данный скачок связан с тем, что оборудование находилось в режиме подготовки к производству. Также определены проблемы с чрезмерными истоками воздуха. С целью выявления возможных провалов давления в пневмосистеме проводились длительные измерения давления в основной пневмомагистрали. Выполнены замеры расхода сжатого воздуха в основных точках в течение пяти дней при рабочих режимах потребителей. Данные измерений дали возможность определить отдельных потребителей и их долю в общем потреблении. Во время пневмоаудита особое внимание было уделено исследованию мест утечки сжатого воздуха. При подготовке к производству наблюдали высокий уровень расходов, что объясняется большим объемом истоков до 15000 норм.л/мин. Кроме этого, установлен объем локализованных утечек и текущие потери средств, связанных с ними. Разработаны рекомендации по ликвидации утечек и более эффективного использования сжатого воздуха потребителями пищевого предприятия. Определен объем сбережений по внедрению мероприятий по техническому совершенствованию потребителей пневмосистемы.

Ключевые слова: пневмоаудит, пневмосистема, сжатый воздух, пневмомагистралей, утечки воздуха, энергоэффективность, расхода воздуха, давление в системе.

**STUDIES ENERGAUDIT OF PNEUMATIC SYSTEM FOOD PRODUCTION**

Miedviedieva N., Sukhenko V., Sukhenko Yu., Radko O., Rozbytka T.

Summary

For efficient use of fuel and energy resources, aspects of the organization of production and consumption of compressed air in a food enterprise are investigated. Inspection of the enterprise's workshop determined the production and supply of compressed air. The work of drying devices is defined as effective, in the absence of water in liquid form in the pneumatic system. The quality of compressed air, which is satisfactory, has been determined, in particular the determination of dew point parameters, the presence of water and oil condensate. Analysis of the dynamics of the compressed air consumption of the main points of the pneumatic conducted.. The results showed a fast change in the total compressed air consumption of the plant at the beginning of the recording. This jump is due to the fact that the equipment was in the mode of preparation for the production. Also problems with excessive air leaks are identified. In order to identify possible pressure drops in the pneumatic system, long-term pressure measurements were carried out in the main pneumatic line. Measurements of compressed air consumption were made at main points for five days at operating conditions of consumers. Measurement data provided an opportunity to identify individual consumers and their share in total consumption. During the pneumatic audit, special attention was paid to the study of places of compressed air loss. In preparation for the production, a high level of costs was observed, which is explained by the large amount of air loss to 15,000 l / min. In addition, the volume of localized air loss and their diseconomy are established recommendations for the elimination of air loss and more efficient use of compressed air by consumers of the food company are developed. The volume of savings in the implementation of measures for the technical improvement of consumers of the pneumatic system is determined.

Keywords: pneumatic audit, pneumatic system, compressed air, pneumatic route, air loss, energy efficiency, air flow, pressure in the system.