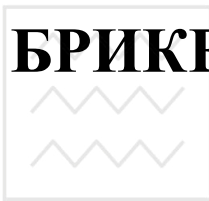




Національний університет
водного господарства
та природокористування

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування

В.О. Гнеушев



БРИКЕТУВАННЯ ТОРФУ

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Рівне 2010



Національний університет
водного господарства
та природокористування

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства
та природокористування

В.О. Гнеушев



БРИКЕТУВАННЯ ТОРФУ

Монографія

Рівне – 2010



Національний університет

УДК 622.331.662.812

ББК 31.352

Г56

Рекомендовано вченою радою Національного університету водного господарства та природокористування.

(Протокол № 11 від 30 листопада 2007 р.)

Рецензенти:

Юрченко В.І., генеральний директор державного концерну «Укрторф»;

Приходько М.А., доктор технічних наук, професор, провідний спеціаліст відділу моделювання гідротермічних процесів Інституту гідромеханіки НАН України;

Жуков С.О., доктор технічних наук, професор Криворізького технічного університету;

Маланчук З.Р., доктор технічних наук, професор Національного університету водного господарства та природокористування.

Гнеушев В.О.

Г56 Брикетування торфу: Монографія.-Рівне: НУВГП, 2010.–167 с.

ISBN 978-966-327-149-1

У монографії розглянуті всі процеси брикетування торфу від підготовки сировини до складування готової продукції і організації її збуту. Науково обґрунтовані можливі напрямки підвищення ефективності брикетного виробництва. Книга призначена для науковців, фахівців торфової галузі та студентів, які навчаються розробці торфових родовищ та переробці торфу.

УДК 622.331.662.812

ББК 31.352

ISBN 978-966-327-149-1

© Гнеушев В.О., 2010

© Національний університет водного господарства та природокористування, 2010



ВСТУП

Обтяжлива залежність української економіки від зовнішніх джерел енергопостачання (на рівні 50%) являє собою проблему національної безпеки [14]. Пріоритетним напрямком державної політики стало енергозбереження. Змістом цього терміну є скорочення витрат енергії як у натуральному, так і у вартісному показниках. Останнє передбачає заміну дорогих палив дешевшими, бажано – вітчизняними, до числа яких можна віднести й торф. Україна має в своїх надрах близько 2,17 млрд. т торфу, з яких 933951 тис. т віднесені до категорії промислових [16]. На сьогоднішній день відомі три види торфового палива: торф фрезерний для спалювання у пілоподібному стані, торф паливний кусковий і торфові паливні брикети. Найбільш ефективною торфовою паливною продукцією є брикети, які використовуються переважно як комунально-побутове паливо. Набувають все ширшого розповсюдження пелети – гранульоване паливо, що виготовляється з торфу чи деревних відходів.

Торф – корисна копалина багатоцільового призначення, і це вимагає диференційованого підходу до його збагачення залежно від напрямку подальшого використання. Відповідно й складові частини торфу – гетерогенної полідисперсної системи – дуже різною мірою можуть відноситись до "зайвих" чи "шкідливих" елементів, яких необхідно позбавитись в процесі збагачення. Наприклад, використання торфу як основи для виготовлення субстратів для вирощування рослин здебільшого передбачає наявність залишкової вологості торфу не нижче 55-60%. А от при виготовленні торфового палива така вологість надмірна. Мають свою специфіку вимоги до торфу як сировини для виготовлення й інших видів продукції [15].

Найпоширенішим напрямком використання торфу в Україні залишається паливний [19, 30, 31], і, як було зазначено вище, реалії сьогодення не дають підстав прогнозувати зменшення ролі торфових палив у задоволенні паливних потреб населення та об'єктів малої енергетики. Це знайшло своє відображення у Національній енергетичній програмі України на період до 2010 року, в Концепції розвитку торф'яної промисловості України до 2030 року [32]. і актуально не лише для нашої держави. Приміром, у рішенні Міжнародної конференції „Торф у розв'язанні проблем енергетики, сільсько-го господарства та екології” (Мінськ, 2006 р.) визнано доцільним



„для багатьох країн збільшення обсягів видобутку торфу для енергетики, комунально-побутових цілей, позитивно оцінюються перспективи розвитку торфової галузі в Росії, Білорусі, Україні та інших країнах”.

Цінність будь-яких палив-каустобіолітів* залежить від цілої низки факторів, провідними з яких є хімічний склад горючої маси, вологість, густина палива та ін. Торф, як відомо, являє собою наймолодшу ланку в ланцюжку каустобіолітів "торф – буре вугілля – кам'яне вугілля – антрацит". Відповідно й концентрація "корисних енергетичних компонентів" (які ми детально розглянемо пізніше) у торфі найнижча. Натомість вміст "баластних" компонентів дуже вагомий. Відомо [5], що вологість торфу в умовах природного залягання може досягати значень 86-94%! Тобто концентрація сухої речовини торфу, яка й є джерелом його теплової енергії, за таких обставин становить менше 10%, а на кожний кілограм сухої речовини припадає 9÷11,5 кг води [15]. Тому використання торфу як базового продукту для виготовлення палива вимагає якомога повнішого позбавлення від такого баласту, яким у цьому випадку є вода. Сухий же торф має інший недолік, що знижує його цінність як палива: малу насипну густину (або щільність). Низька концентрація сухої речовини торфу в одиниці об'єму вимагає значної кількості великогабаритних засобів транспортування такого палива, веде до збільшення транспортних витрат, що негативно відбивається на економічних показниках господарської діяльності споживачів торфового палива. Таким чином, навіть висушений торф також потребує збагачення шляхом його ущільнення.

В даний час набирають актуальності й інноваційні напрями енергетичного використання торфу. Так, рішенням вже згаданої конференції пропонується „розробити екологічно безпечні технології та обладнання для одержання газоподібних і рідких висококалорійних енергоносіїв на основі торфу”. Не виключено, що протягом нетривалого часу ці рекомендації будуть реалізовані. Але ще з більшою упевненістю можна рекомендувати удосконалення технологій та обладнання для виробництва з торфу традиційних твердих палив.

* Каустобіоліти – горючі копалини органічного походження.



1. ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ ПРО ЗБАГАЧЕННЯ КОРИСНИХ КОПАЛИН

1.1. Основні методи збагачення корисних копалин

Збагачення корисних копалин - це сукупність процесів з первинної обробки руд, вугілля та ін. з метою вилучення пустої породи і розділення мінералів.

В результаті збагачення корисної копалини одержують **концентрати** (продукти, що одержані внаслідок збагачення, в яких зосереджена основна маса корисних компонентів копалини) і **хвости** (відходи, а детальніше - одержаний внаслідок збагачення продукт, в якому вміст цінного компонента менший ніж у вихідному матеріалі і в інших продуктах тих самих операцій переробки).

Розрізняють різні методи збагачення корисних копалин:

- **за зовнішніми ознаками** (сортування, рудорозбирання, породовідбирання) - спосіб відокремлення мінералів, що відрізняються кольором чи блиском. Пристрої для цих методів збагачення розділяються на механізовані та на немеханізовані;

- **радіометричні** (механізоване рудорозбирання) - засновані на використанні відмінностей мінералів у емісії випромінювань (емісійні), або на послабленні проникного випромінювання (адсорбційні);

- **за формою** - базуються на використанні різниці в формі кусків компонентів корисної копалини, що розділяються (наприклад, слюди); реалізується шляхом грохочення;

- **за тертям та формою** - базується на різниці між коефіцієнтами тертя матеріалів, що розділяються, при русі сухого матеріалу по похилій площині;

- **за пружністю** - засновані на різниці траєкторій, по яких відкидаються частинки мінералів різної пружності при падінні на площину;

- **на липких поверхнях** - базуються на вибіркового закріпленні частинок на жирових поверхнях; застосовуються в алмазній промисловості;

- **гравітаційні** - засновані на різниці густини мінералів, що розділяються; можуть здійснюватися у важких рідинах і середовищах;

- **флотаційні** - це способи розділення частинок, які здійснюються в складних аерогідродинамічних умовах у спеціальних апаратах -



флотацийних машинах. Розрізняють: іонну, колективну, колективно-селективну, контрольну, основну, перечисну, розчинних матеріалів, з носіями, селективну, соляну, електролітичну флотації.

- **хімічні** - засновані на різноманітних видах хімічного впливу на корисну копалину: рідкими розчинниками (наприклад, при застосуванні таких різновидів гідрометалургії, як вилуджування та ціанування), випалювання та ін.;

- **магнітні** - базуються на використанні різниці у магнітних властивостях компонентів суміші, що розділяється;

- **електричні** - використовують різницю в електричних властивостях компонентів суміші, що розділяється.

1.2. Методи збагачення торффу

Всі процеси вилучення з торффу баластних компонентів, головними з яких є вода і повітря, можна розділити на три групи:

- ✓ ті, що здійснюються у торфовому покладі;
- ✓ ті, що здійснюються в процесі екскавації;
- ✓ ті, що здійснюються у видобутому торффі.

Процеси збагачення торффу паливного призначення, що відбуваються у покладі, є наслідком перш за все осушувальних робіт. Відведення води з території торфового родовища дозволяє суттєво понизити вологість покладу, нерідко - на десятки відсотків. Торфовий поклад, віддаючи воду, втрачає й своєрідну "опору", зумовлену Архімедовими силами. Скелет покладу за цих умов не в змозі витримати масу торффу і починає деформуватися. Відбувається так звана осадка торфового покладу, в перебігу якої зменшуються пористість і вологість торффу, зростає механічна міцність пласта.

Осушення торфових родовищ являє собою окремий комплекс знань і навчальний предмет, що містить відомості про розрахунки елементів осушувальної мережі та про ті кількісні зміни, які відбуваються в торфових покладах в процесі і в результаті осушення.

Переробка торффу в покладі може здійснюватись з метою усереднення властивостей торффу по всьому пласту (перемішування), для зменшення пористості (диспергування, тобто подрібнення частинок), а також при суцільному фрезеруванні торфового покладу разом з деревними включеннями.



Рис. 1.2. Класифікація процесів збагачення торфу

Значні зміни відбуваються в торфі в процесі його екскавації з покладу. Характер і масштаб цих змін суттєво залежать від способу видобування торфу та від обладнання, яке при цьому застосовується. Так, наприклад, найбільших змін зазнає торф в процесі видобування екскаваторним способом: торфовий поклад руйнується ковшами екскаватора, екскавована торфомаса перероблюється в пресі чи в дробарці, що встановлена на екскаваторі, і піддається чималому перетиранню у транспортуючо-формууючому органі розстилальної машини. Дещо менший, але також суттєвий вплив справляє на торф машина безкар'єрного способу видобування кускового торфу (приміром, МТК-12): дискова фреза подрібнює торфовий поклад і подає сфрезеровані частинки до перероблююче-транспортуючого шнека, в якому торф перетирається і спрямовується до формуючої частини, де ущільнюється, звільняється від зайвого повітря і видушується назовні через рівчаки мундштука.

При фрезерному способі видобування головним видом впливу на торф є його подрібнення в процесі фрезерування поверхні покладу. Певне (хоча й значно менше) подрібнення має місце і при виконанні операцій ворущіння, валкування та збирання фрезерного торфу. До речі, остання операція супроводжується й деяким ущільненням торфу в бункері машини при її русі (коефіцієнт ущільнення становить близько 1,35), але при розвантаженні торфу в штабель він знову по-



мітно розпушується. Щоправда, при тривалому зберіганні в штабелі фрезерний торф злежується, і його насипна густина суттєво зростає. Перелічені явища знову ж таки вивчаються в курсі спеціальних дисциплін і в даній книзі детально не розглядатимуться.

Такий недолік, як надмірно велика енергоємність, притаманний не лише попередньо розглянутій переробці торфу в покладі, а й процесу механічного зневоднювання торфу. Найменші витрати енергії мають місце при видаленні вільної гравітаційної води, кількість якої в торфі, що видобувається з осушеного покладу, відносно невелика. Спроби за допомогою механічного впливу на торф позбавити його фізично зв'язаної води ведуть до різкого збільшення витрат енергії. Варто додати, що однією з негативних рис механічного зневоднювання також вважається мала швидкість цього процесу, яка тим менше, чим нижча вологість торфу.

Польове сушіння видобутого торфу призводить до суттєвого зниження його вологості. Оскільки сушіння відбувається під впливом природних чинників, видалення води відбувається наче без енерговитрат з боку виробника (насправді виробник несе витрати на створення належних умов для сушіння: створюється опуклий профіль карти, прочищаються та поглиблюються канали, при необхідності діє насосна станція, здійснюється фрезерування поверхні, ворухіння розстилу, виконуються технологічні заходи для запобігання зволоженню видобутого торфу та ін.). Комплекс знань з процесів польового сушіння торфу також оформився в самостійну дисципліну, яка детально вивчає природні й технологічні чинники, що впливають на перебіг процесу.

Зважаючи на викладене, в цій книзі найбільшої уваги буде приділено таким видам збагачення торфу, як його штучне сушіння і пресування. Традиційно ці процеси об'єднують в одному понятті, яке має назву **брикетування торфу**.

Торфобрикетне виробництво по-справжньому почало розвиватися в Україні після закінчення другої світової війни. З Німеччини було поставлене технологічне обладнання системи Пеко для оснащення торфобрикетного заводу, що будувався в с. Бучмани Олевського р-ну Житомирської області. В подальшому аналогічні системи були придбані для Замглайського (Чернігівська обл.), Стоянівського (Львівська обл.) та Озерянського (Житомирська обл.) торфобрикетних заводів.



Вітчизняні науковці та інженери також доклали зусиль для створення власних схем торфобрикетних заводів, які мали певні переваги перед зарубіжними. Найбільшого розповсюдження набули заводи з пневмогазовими сушарками різних конструкцій: Ірдинський (Черкаська обл.), Маневицький та Журавицький (Волинська обл.), Моквинський і Смизький (Рівненська обл.) та ін. Водночас зверталася увага і на нові зарубіжні конструкції сушарок. Як приклад можна навести спорудження двох торфобрикетних заводів з німецькими паровими трубчастими сушарками Цемаг ("Кремінне" в Рівненській та "Сойне" у Волинській обл.). Досвід вітчизняного брикетного виробництва показав, що в наших умовах найкраще проявили себе пневмогазові сушарки, але кожна з систем має позитивні риси і буде розглянута.

1.3 Загальні поняття про торфобрикетне виробництво

Ситуація на паливному ринку України склалася таким чином, що торфове паливо є найдешевшим серед інших палив як в розрахунку на одиницю маси, так і за ціною одиниці теплової енергії, що міститься в ньому. Це пояснюється відносно невисокою собівартістю робіт з підготовки торфових родовищ до розробки і з видобування цієї корисної копалини. Автором виконані розрахунки ціни 1 ГДж нижчої теплоти згорання різних палив (рис. 1.3), які підтверджують зазначене вище.

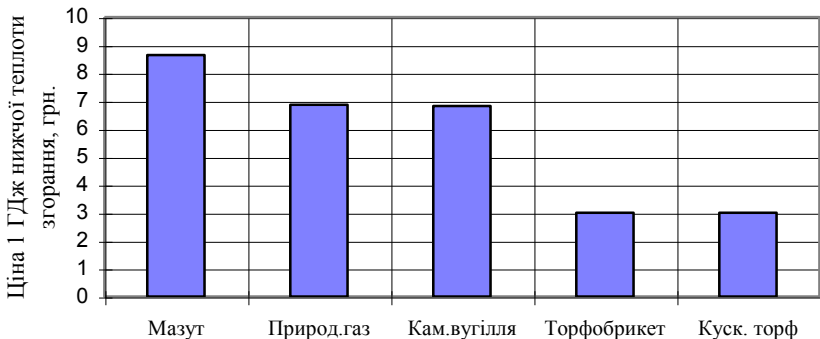


Рис. 1.3. Діаграма цін 1 ГДж нижчої теплоти згорання різних палив.



Торфвий брикет, маючи нижчу теплоту згоряння майже у півтора рази більшу, ніж кусковий торф, вигідно відрізняється від останнього ще й низкою інших властивостей: він міцніший, менш схильний до поглинання вологи, має більшу насипну вагу. Все це робить його більш привабливим паливом як з позицій застосування в топкових пристроях котлів чи в грубках, так і з точки зору транспортування від виробника до споживача.

Брикетування торфу - це сукупність процесів, пов'язаних із перетворенням штучно висушеного фрезерного торфу (сушонки) в брикети встановленої, геометрично правильної та одноманітної форми і практично однакової в кожному випадку маси.

Відомі декілька методів брикетування палив:

- 1) без додавання в'язучих речовин до основного матеріалу, з відносно невеликою температурною обробкою сировини (так брикетуються торф, молоде буре вугілля, солома, тирса та ін.);
- 2) без додавання в'язучих речовин до основного матеріалу, але з глибокою температурною обробкою сировини без доступу повітря, коли значною мірою змінюються фізичні і хімічні властивості матеріалу (так з різноманітних матеріалів одержують термобрикети і екзобрикети);
- 3) з додаванням в'язучих речовин до основного матеріалу (так здебільшого брикетують антрацитовий, коксовий, кам'яновугільний дрібняк).

В книзі розглядатиметься перший метод, який успішно застосовується для брикетування торфу.



2. ТОРФ ЯК СИРОВИНА ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ БРИКЕТІВ

Сировиною для виготовлення брикетів є фрезерний торф, який, за своїми властивостями, повинен відповідати певним вимогам. Перш ніж вказати ці вимоги, зупинимось на параметрах, які достатньо повно і всебічно характеризують торф в паливному контексті.

2.1. Вологість торфу

За формами зв'язку з твердою фазою вода торфу неоднорідна. Між тим здатність торфу віддавати воду, величина енерговитрат на зневоднювання матеріалу значною мірою залежать від зв'язків, які існують між рідкою і твердою фазами торфу. За заснованою на енергетичному принципі класифікацією акад. П.А.Рєбіндера, вода торфу, залежно від природи сил зв'язку з твердою фазою торфу, розділяється на такі категорії та має наступні властивості (рис.2.1):

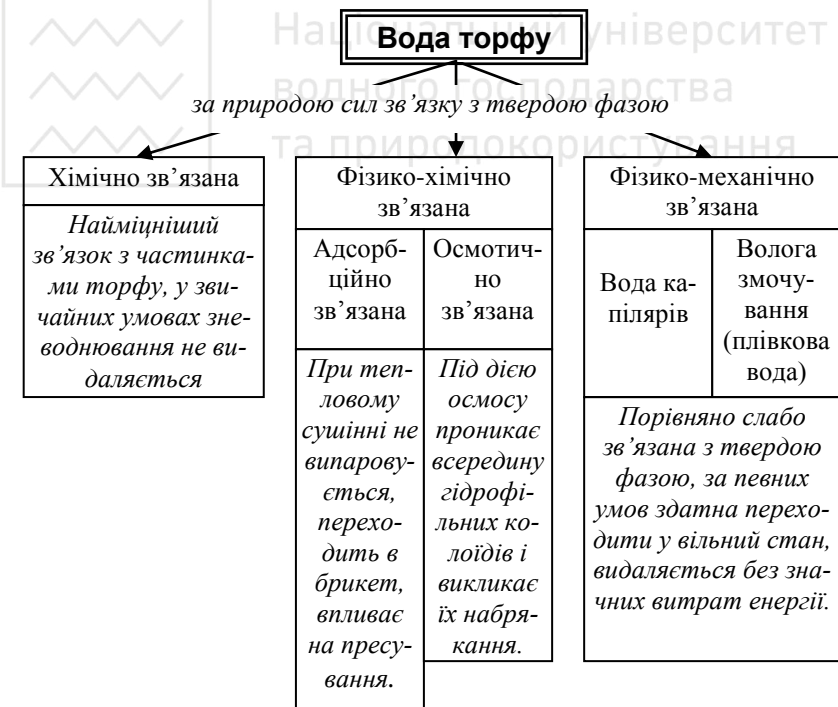


Рис. 2.1. Класифікація води торфу

**Вологість торфу – це масова частка води в торфі (%).**

Вологість торфу визначається як відношення маси вологи в торфі (m_B) до загальної маси зразка торфу (m_3) у вологому стані:

$$w = \frac{m_B}{m_3} \times 100\% , \quad (2.1)$$

Значення m_B розраховується як різниця між масами зразка торфу до сушіння (m_3) та після повного його висушування (m_C): $m_B = m_3 - m_C$.

2.2. Зольність торфу

Зольність сухої речовини торфу - це відношення маси мінеральної частини торфу (золи), яка залишається після його згорання (b), до маси сухого торфу (c)

$$A^c = \frac{b}{c} \times 100\% \quad (2.2)$$

Зола знижує вміст в торфі горючих елементів і погіршує якість торфових палив (більш детально про це йтиметься в даному розділі нижче). До складу золи входять кремній, кальцій, залізо, алюміній, фосфор, калій, натрій, марганець, сірка та ін., які у формі різноманітних хімічних з'єднань присутні в рослинах-торфоутворювачах або були привнесені на торфове родовище ззовні (приміром, з вітром або з ґрунтовими чи поверхневими водами).

Ще однією негативною властивістю золи є здатність її розплаву погіршувати процес горіння в топкових пристроях (так зване шлакування топки) чи навіть виводити з ладу конструктивні елементи топок (кокосникові решітки, керамічні пластини та ін). Температура плавлення золи залежить від її складу і типу торфу. Орієнтовно можна характеризувати плавкість золи такими даними [1]:

Таблиця 2.1

Зміна властивостей золи торфів при високих температурах

Стан золи	Температура, °С	
	Верховий торф	Низинний торф
Деформується	1080	980-1080
Розм'якшується	1150	1050-1100
Плавиться	1200	1080-1130



2.3. Елементний склад торффу

Елементний склад торффу - це вміст в торффі вуглецю (Карбону - C), водню (Гідрогену - H), кисню (Оксигену - O), азоту (Нітрогену - N) та сірки (Сульфур - S)

Умовно вважається, що склад органічної маси торффу наступний:

$$C^o + H^o + O^o + N^o = 100\% \quad (2.3)$$

Склад горючої маси торффу відрізняється наявністю також сірки:

$$C^f + H^f + O^f + N^f + S^f = 100\% \quad (2.4)$$

Суша маса торффу містить в собі також мінеральні включення (золу):

$$C^c + H^c + O^c + N^c + S^c + A^c = 100\% \quad (2.5)$$

Робоче торфове паливо включає й вологу:

$$C^p + H^p + O^p + N^p + S^p + A^p + w^p = 100\% \quad (2.6)$$

Перерахунок вмісту елементів з однієї маси на іншу може здійснюватися за формулами (наведений приклад для карбону, вміст решти елементів розраховується аналогічно):

$$C^c = \frac{C^p \times 100}{100 - w^p} = \frac{C^f (100 - A^c)}{100}; \quad (2.7)$$

$$C^f = \frac{C^c \times 100}{100 - A^c} = \frac{C^p \times 100}{100 - (A^p + w^p)}; \quad (2.8)$$

$$C^p = \frac{C^f [100 - (A^p + w^p)]}{100} \quad (2.9)$$

$$A^p = \frac{A^c (100 - w^p)}{100} \quad (2.10)$$

Вміст елементів у горючій масі торффу приблизно такий [1]:



Приблизний вміст елементів у горючій масі торфу

Елемент і його позначення	Вміст, %
Вуглець (Карбон, C^I)	53,6÷63,7
Водень (Гідроген, H^I)	5,1÷6,6
Кисень (Оксиген, O^I)	В середньому 33,4
Азот (Нітроген, N^I)	1,6÷3,7
Сірка (Сульфур, S^I)	В середньому 0,3

2.4. Теплота згорання торфу

Теплотою згорання називають кількість тепла, що утворюється при повному згоранні одиниці маси палива.

Встановлено, що теплота згорання збільшується із зростанням вмісту в паливі карбону (C) та гідрогену (H). Наприклад, найякісніше вугілля – антрацит приблизно на 99% складається з карбону. А от кисень, нітроген та сірка, навпаки, знижують цінність палив.

Загальну кількість тепла, що утворюється при згоранні палива, експериментально визначають за допомогою калориметричної бомби. Як відомо, горіння палива є процесом його швидкого окислення. Ця хімічна реакція відбувається з утворенням кислот, на що витрачається певна кількість теплової енергії палива.

Кількість тепла, що утворюється при повному згоранні одиниці маси палива за мінусом теплоти кислотоутворення називається **вищою теплотою згорання** (позначається Q_B^P).

Існують також розрахункові методи визначення вищої теплоти згорання. Наприклад, знаючи елементний склад торфу, можна використати формулу проф. Д.І.Менделєєва *

$$Q_B^P = [81C^P + 300H^P - 26(O^P - S^P)] \times 4,19, \text{ кДж/кг} \quad (2.11)$$

* Наведена формула відрізняється від "класичної" наявністю множника 4,19, введеного автором цієї книги для переходу від застарілої одиниці теплоти (калорії) до сучасної (джоуля).



Але споживач не може отримати всю енергію палива, що утворилася: торф містить в собі певну кількість вологи, яка в процесі горіння нагрівається і випаровується, на що також витрачається частина теплової енергії палива.

Кількість тепла, що утворюється при повному згоранні одиниці маси палива за мінусом теплоти пароутворення називається **нижчою теплотою згорання** (позначається Q_H^P).

Нижча теплота згорання може розраховуватись за формулою [1]

$$Q_H^P = Q_B^P - [6(9H^P + w^P)] \times 4,19 \text{ кДж/кг} \quad (2.12)$$

Як видно з останньої формули, вміст вологи суттєво впливає на величину нижчої теплоти згорання, і цей вплив негативний.

Відсутність в формулах (2.10) та (2.11) символу A^C не повинна створювати ілюзій стосовно відсутності впливу зольності на теплоту згорання. Достатньо пригадати формулу (2.9), де фігурує символ A^C , і стає зрозумілим, що цей вплив суттєвий і також негативний.

Автор, проаналізувавши матеріали геологорозвідувальних робіт по 17 торфових родовищах Волині та Львівщини, також встановив наявність міцного зв'язку між зольністю і нижчою теплотою згорання палива. Кореляційний аналіз показав, що між ними існує обернена кореляція з коефіцієнтом $-0,74$. Одержане методом найменших квадратів емпіричне рівняння має вигляд

$$Q_H^P = 11,60 - 0,14 \cdot A^C, \text{ МДж/кг} \quad (2.13)$$

і також засвідчує сильний негативний вплив зольності на теплоту згорання торфу.

2.5. Волога, що змерзається і що не змерзається в торфі

Відомо (див. початок розділу 2), що вода в торфі може бути вільною і зв'язаною. Зв'язана (в першу чергу – хімічно зв'язана вода кристалогідратів) відрізняється від вільної води багатьма особливостями, однією з яких є те, що при низьких температурах вона не замерзає. Це питання має важливе значення для торфобрикетних заводів, які працюють і в зимовий період, коли торф доставляється на завод з польових штабелів у відкритих торфозовних напіввагонах. За таких обставин замерзання води в торфі може суттєво погіршити умови його навантажування грейферними кранами у вагони (з при-



чини утворення на поверхні штабеля мерзлого шару), розвантажування на заводі (через примерзання до стінок вагонів), подавання на переробку (замерзлі брили не проходять через решітку-сепаратор з розміром отворів 100×100 мм). Мерзлий торф потребуватиме більших витрат енергії на його сушіння, а при спалюванні в технологічних топках заводів матиме нижчу теплоту згорання. Тому вміння визначати кількість вологи, що змерзається та що не змерзається в торфі, має практичне значення.

В процесі польового сушіння торфу в першу чергу випаровується вільна вода, найбільш схильна до замерзання при від'ємних температурах. Чим сушішим стає торф, тим менше в ньому залишається такої вільної води. І, нарешті, може бути досягнута така вологість торфу, при якій вся вода в ньому не змерзається. Таке значення вологості одержало назву **критичної вологості**. Величина цього показника залежить від типу торфу та його ступеня розкладу і може бути визначена за графіком, побудованим на підставі експериментальних досліджень колишнього Всесоюзного теплотехнічного інституту (рис.2.2).

Маса води, що замерзає в торфі, визначається за формулою

$$W''' = \frac{M_1(w_1 - w_{KP})}{100 - w_{KP}}, \text{ кг/год.}, \quad (2.14)$$

де M_1 - маса торфу, що потрапляє до сушарки щогодини, кг/год.; w_1 - вологість торфу, що подається до сушарки, %; w_{KP} - критична вологість торфу, нижче якої вся вода в торфі не замерзає.

Маса води, що не замерзає в торфі

$$W' = W - W''', \text{ кг/год.}, \quad (2.15)$$

де W - загальна маса води в торфі, що потрапляє до сушарки протягом години

$$W = M_1 \frac{w_1}{100}, \text{ кг/год.} \quad (2.15)$$

Як видно з графіка, розповсюджений в Україні торф низинного типу зі ступенем розкладу близько 30% втрачає здатність змерзатися лише при досягненні вологості нижче 50%. Ця обставина також повинна враховуватись працівниками сировинних баз торфобрикетних заводів при організації технологічного процесу видобування фрезерного торфу і бути додатковим стимулятором, який спонукає до одержання продукції якомога нижчої вологості.

$W_{KP}, \%$

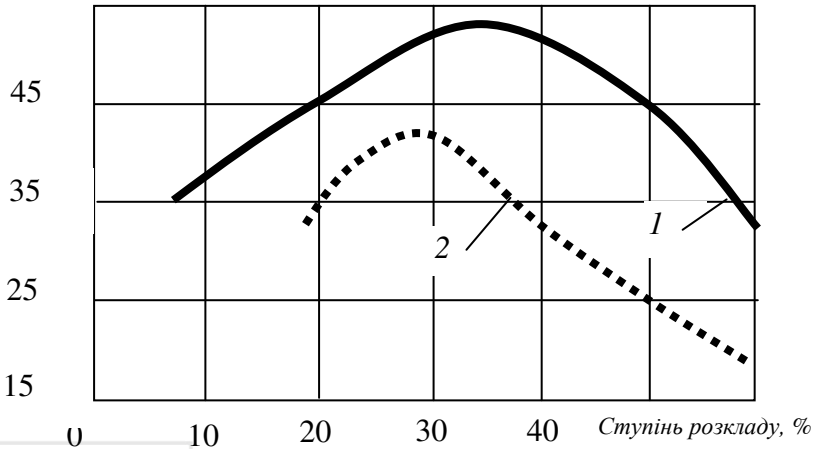


Рис. 2.2. Залежність вмісту зв'язаної води в торфі від ступеня розкладу:
 1-торф низинний; 2 - торф верховий

2.6. Питома теплоємність торфу

В процесі сушіння в реальних сушарках і при спалюванні в технологічних топках торф нагрівається, на що також витрачається частина теплової енергії. Тому показник питомої теплоємності торфу являє собою обов'язковий компонент теплотехнічних розрахунків торфобрикетного виробництва.

Питомою теплоємністю торфу називають кількість теплоти, необхідної для нагрівання 1 кг матеріалу на один градус за Цельсієм. Умовне позначення питомої теплоємності - c .

Питома теплоємність сухого торфу ($c_{сух.}$) залежить головним чином від його зольності, мало залежна від ступеня розкладу та виду торфу. Для її розрахунку можна використати емпіричну формулу С.Г.Беспалова

$$c_{сух.} = B - KA^C, \text{ кДж/кг·град.} \quad (2.16)$$



де B та K - коефіцієнти, значення яких наведені в табл.2.3, а A^C - зольність сухого торфу, %.

Таблиця 2.3

Значення* емпіричних коефіцієнтів формули (2.16)

Тип торфу	Значення коефіцієнтів	
	B	K
Верховий	2,032	$1,383 \cdot 10^{-2}$
Перехідний	1,999	$1,286 \cdot 10^{-2}$
Низинний	1,965	$1,203 \cdot 10^{-2}$

Теплоємність сухого торфу при температурі до $35,5^{\circ}\text{C}$ змінюється незначно, а при температурі понад $35,5^{\circ}\text{C}$ зростає і може розраховуватись за такою емпіричною формулою

$$c_{\text{сух}} = c + E (t - 35,5), \text{кДж/кг}\cdot\text{град.}, \quad (2.16)$$

де c - питома теплоємність сухого торфу при температурі $35,5^{\circ}\text{C}$, може бути взята з таблиці (2.4); t - температура торфу, град.; E - емпіричний коефіцієнт, значення якого для різних видів торфу наведені в табл. 2.5.

У табличних даних чітко проглядається падіння питомої теплоємності торфу зі зростанням його зольності. Видно також, що питома теплоємність низинного торфу найнижча, верхового – найвища, а теплоємність перехідного торфу має проміжне значення.

Таблиця 2.4

Значення коефіцієнту E для різних торфів*

Тип торфу	E
Верховий	$1,17 \cdot 10^{-3}$
Перехідний	$1,26 \cdot 10^{-3}$
Низинний	$1,34 \cdot 10^{-3}$

* Коефіцієнти змінені автором книги з урахуванням вимог системи СІ



Значення* питомої теплоємності (*кДж/кг·град.*) сухого торфу
(за С.Г. Беспаловим)

Зольність торфу (A^C), %	Тип торфу		
	низинний	перехідний	верховий
2,0	1,940	1,973	2,003
4,0	1,917	1,948	1,977
6,0	1,890	1,936	1,948
8,0	1,869	1,894	1,919
10,0	1,844	1,869	1,894
12,0	1,823	1,844	1,869
14,0	1,798	1,818	1,839
16,0	1,772	1,793	1,810
18,0	1,747	1,768	1,785
20,0	1,726	1,743	1,756

Питома теплоємність вологого торфу ($c_{вл}$) для позитивних температур розраховується за формулою

$$c_{вл} = c_{сух} \frac{100 - w}{100} + 4,19 \frac{w}{100}, \text{ кДж/кг·град.}, \quad (2.17)$$

де w – вологість торфу, %; 4,19 – питома теплоємність води, *кДж/кг·град.*

При виконанні наближених розрахунків для визначення питомої теплоємності вологого торфу можна також скористатися емпіричною формулою проф. О.М. Казанського [1]:

$$c_{вл} = 4,19[w^P + 0,174 \cdot A^P + 0,477(1 - A^P - w^P)], \text{ кДж/кг·град.}, \quad (2.18)$$

де w^P та A^P – відповідно робоча вологість торфу та його зольність як робочого палива в частках одиниці (не у відсотках!).

Якщо в зимовий час при від'ємних температурах частина води торфу перебуває у замерзлому стані, то питома теплоємність такого торфу розраховується за формулою

* Коефіцієнти змінені автором книги з урахуванням вимог системи СІ



$$c_{вл} = c_{сух} \frac{100 - w}{100} + 2.1 \times W'' + 4.19 \times W', \text{ кДж/кг} \cdot \text{град.}, \quad (2.19)$$

де 2,1 та 4,19 – відповідно значення (приблизні) питомої теплоємності льоду та води, *кДж/кг·град.*; W'' та W' - відповідно маса льоду та незамерзлої вологи в 1 кг торффу, *кг*; w - вологість торффу, %.

2.7. Засміченість фрезерного торффу сторонніми горючими

Сторонніми горючими вважаються різного роду деревні включення, волокнисті рослинні залишки в торффі, просто шматки торффу розміром понад 25 мм. Присутність останніх в переліку сторонніх горючих не випадкова: частинки розміром 8...25 мм (особливо ті, що мають волокнисту структуру) утворюють фракцію, яка важко піддається грохоченню, застряє в отворах сит грохотів, знижуючи їх продуктивність. Якщо ж вони проскакують через сита і потрапляють до сушарок трубчастого типу (схеми Пеко, Цемаг), то також викликають ускладнення: забивають труби сушарок, заклинюють затвори, а при попаданні в брикет провокують виникнення в ньому глибоких поздовжніх тріщин, відшарування поверхневої корки що збільшує вміст дрібняку.

Пневмогазові шахтнолиніні сушарки, які нині домінують на торфобрикетних заводах України, менш чутливі до негативного впливу сторонніх горючих малих фракцій. Однак обмеження щодо присутності таких включень в торффі передбачені державним стандартом України на торф фрезерний для виробництва брикетів [2].

2.8. Вимоги до торффу як сировини для виготовлення брикетів

Ці вимоги викладені у технічних умовах на торф фрезерний для виробництва брикетів [2] і зареєстровані як державний стандарт України 2043-92.

Фрезерний торффу повинен відповідати таким вимогам (табл. 2.6):



Вимоги до торфу фрезерного для виробництва брикетів

Найменування показника	Норма
Масова частка загальної вологи в робочому стані палива (w^P), не більше	50
Зольність (A^C), %, не більше	20
Насипна густина при умовній вологості 40%, $кг/м^3$ не менше	200
Засміченість сторонніми горючими домішками (шматки розміром понад 25 мм), %, не більше	5

Примітка: насипна густина торфу при умовній вологості 40% для брикетних заводів з похилими паровими трубчастими сушарками повинна бути не менше 250 $кг/м^3$.

Для шихтування (змішування) з малозольним торфом допускається поставка торфу з зольністю до 23% і насипною густиною менше 200 $кг/м^3$ при умові забезпечення виробництва брикету кондиційної якості, регламентованої технічними умовами [3].

За згодою споживача (споживачем у даному випадку є торфобрикетний завод, виробником – дільниця з видобування сировини) допускається використовувати для виробництва брикетів торф фрезерний з вологістю до 55%. Здебільшого до такої згоди виробник і споживач вдаються змушено, коли несприятливі погодні умови протягом сезону не дозволяють забезпечити нормативну вологість фрезерного торфу. Підвищення вологості торфу може статися також з причини незадовільних умов його зберігання в штабелях.



3. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС БРИКЕТУВАННЯ ФРЕЗЕРНОГО ТОРФУ

Технологічний процес брикетування торфу в загальному випадку складається з наступних послідовних стадій:

- бункерування торфу;
- механічної підготовки торфу;
- штучного сушіння торфу;
- пресування торфу;
- транспортування торфових брикетів на склад;
- зберігання торфових брикетів.

При надходженні на завод фрезерного торфу з класом розміру частинок 0...8 мм механічна підготовка торфу як окрема стадія технологічного процесу може бути виключена. На заводах з шахтними пневмогазовими сушарками фрезерний торф може подаватись з бункера безпосередньо на сушіння й при більших розмірах частинок, оскільки вони будуть подрібнюватись шахтним млином сушарки.

3.1. Бункерування торфу

Бункер - це споруда певної місткості, призначена для забезпечення неперервного живлення заводу сировиною.

Поставка фрезерного торфу на завод здійснюється періодично, здебільшого за допомогою вузькоколісного (колії 750 мм) залізничного промислового транспорту. Сировина висипається з торфовозних саморозвантажувальних вагонів (як правило, ТСВ-6 чи ТСВ-6А) в бункер, об'єм якого повинен бути достатнім для роботи заводу протягом 1÷3 годин. Робота промислового транспорту узгоджується з роботою заводу таким чином, щоб наступний поїзд починав розвантажуватися в бункер до того, як цей бункер спорожніє.

Бункери здебільшого виготовляють з залізобетону або з металу. Висота бункера не повинна перевищувати 4 м, інакше торф в ньому буде злежуватись під дією власної ваги і зависати. Також для запобігання зависанню торфу в бункері стінки цієї споруди розташовують під кутом не менше 70° до горизонту.

Довжина бункера повинна бути кратна довжині вагона, що спрощує і прискорює процес розвантаження поїзда.



Для відокремлення пенькової деревини і мерзлих брил торфу над бункером встановлюють металеву решітку з квадратними отворами 100×100 мм. Найчастіше ця решітка виготовляється з арматурної сталі.

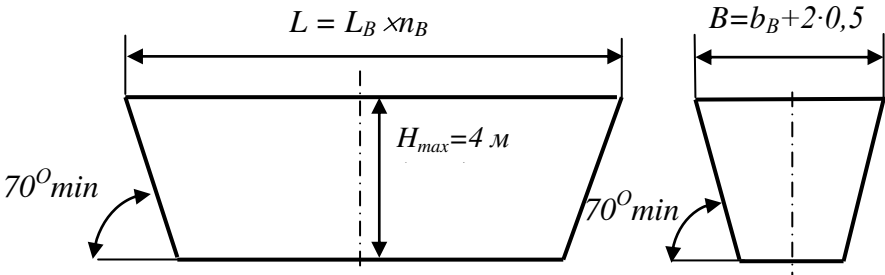


Рис. 3.1. Схема основних розмірів бункера: L_B -довжина вагона, м; n_B - кількість вагонів, що одночасно розвантажуються в бункер; b_B - ширина вагона, м

Якщо на торфобрикетний завод підвозиться фрезерний торф з різних за якістю поклада ділянок родовища, то рекомендується мати не менше двох бункерів. Це дозволить здійснювати змішування торфів різної якості для досягнення оптимального складу сировини в першу чергу за такими показниками, як зольність, вологість, насипна густина та ін.

Для вивантаження торфу з бункерів використовують пластинчасті, лопатеві, скребкові, шнекові, барабанно-лопатеві живильники. На українських торфобрикетних заводах найбільш розповсюджені пластинчасті та шнекові живильники (рис. 3.2)

Продуктивність пластинчастого живильника визначається за формулою [1, с. 41]

$$Q = b \cdot h \cdot v \cdot \gamma \cdot \psi, \quad \text{м/год.}, \quad (3.1)$$

де b – ширина щілини, м; h – висота щілини, м; v – швидкість руху конвеєра, м/год.; γ – насипна щільність торфу, т/м^3 ; ψ – коефіцієнт, що враховує зменшення товщини шару і дорівнює $0,75 \div 0,80$.

Продуктивність шнекового живильника [1, с.43]

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} H \cdot n \cdot 60 \cdot \psi \cdot \gamma, \quad \text{т/год.}, \quad (3.2)$$

де D – діаметр шнека, здебільшого $0,15 - 0,30$ м; H – крок гвинта, м, приймається звичайно в межах $(0,75 - 1,00) D$; частота обер-



танія шнека, здебільшого $20 - 80 \text{ об./хв.}$; ψ – коефіцієнт заповнення шнека, приймається $0,3 \div 0,4$.

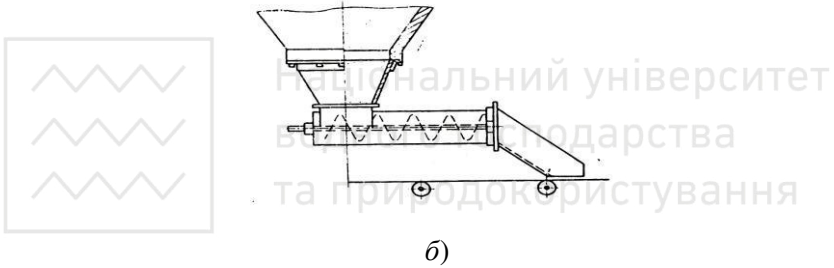
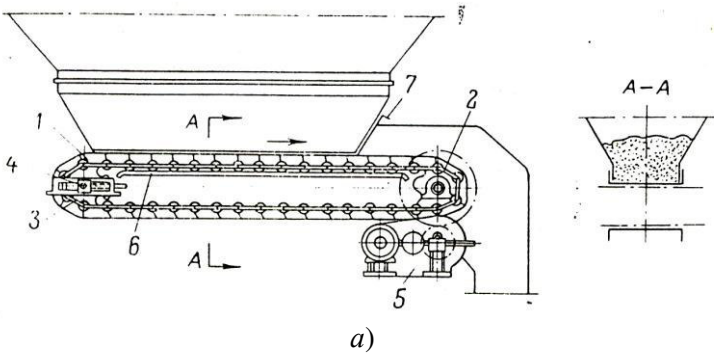


Рис.3.2. Пластинчастий (а) та шнековий (б) живильники

3.2. Механічна підготовка торфу

Фрезерний торф, який привозиться на торфобрикетний завод, містить в собі чимало деревних домішок, шматків торфу та очосу. Трапляються в торфї й металеві предмети: болти, гайки, залізничні костилі, гайкові ключі та ін., які можуть нанести серйозної шкоди технологічному обладнанню. Тому в процесі підготовки торфу до сушіння й пресування одночасно вирішуються декілька завдань: вилучення з нього металевих предметів, подрібнення торфу, його сортування за розмірами частинок, спрямування частини торфу до технологічної топки на спалювання. Вилучення металевих предметів з торфу здійснюється електромагнітним сепаратором, розташованим над конвеєрною стрічкою, якою торф транспортується з бункера сировини.



Щодо подальшої підготовки сировини, можливі дві схеми.

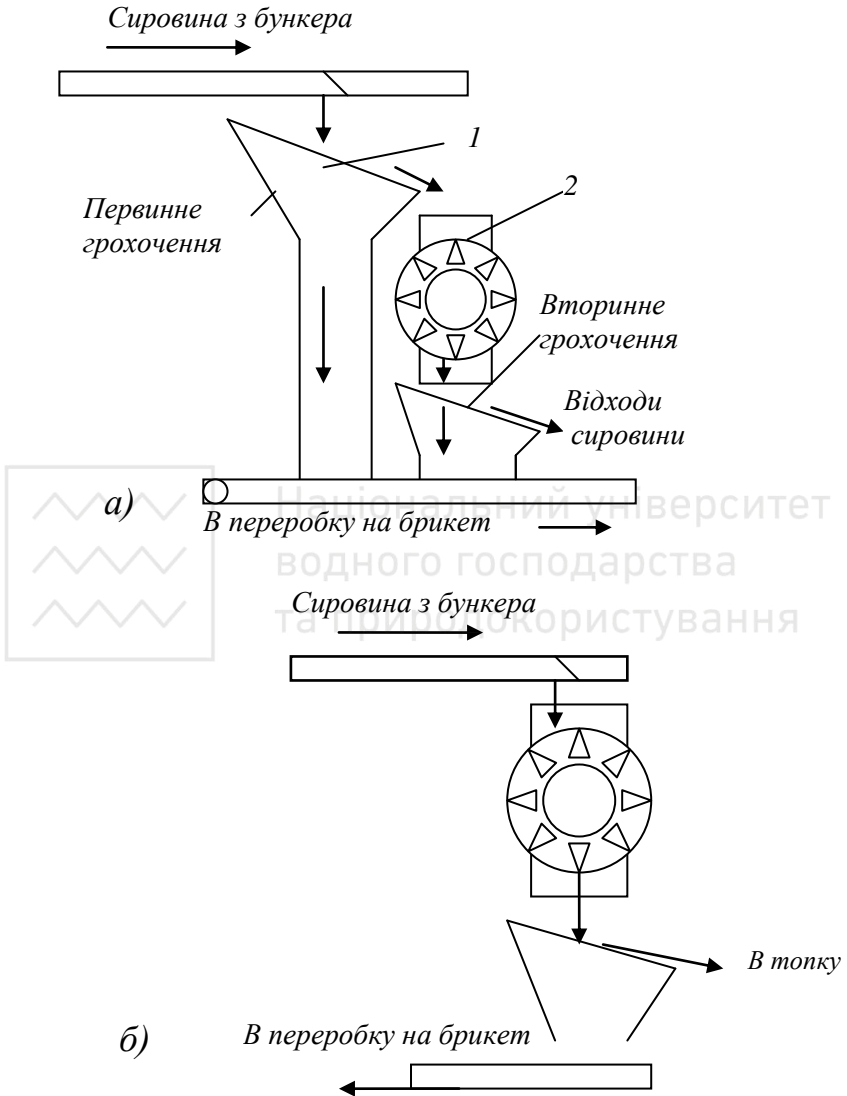


Рис. 3.3. Технологічні схеми підготовчих відділень торфобрикетних заводів



Як видно з рис. 3.3 *а* перша схема передбачає першочергове грохочення торфу з наступним дробленням та вторинним грохоченням.

За другою схемою спочатку відбувається дроблення всього торфу з наступним його грохоченням (рис. 3.3 *б*).

Дроблення торфу здійснюється за допомогою дробарок, які різною мірою реалізують шість відомих принципів подрібнення матеріалу: роздушування, стирання, розколювання, удар, різання, розрив. Широко відома молоткова дробарка МД-900 (рис.3.4).

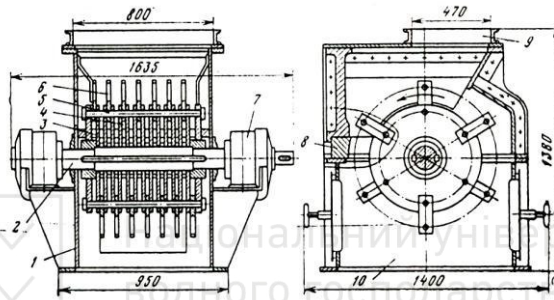


Рис. 3.4. Дробарка МД-900

Дробарка складається з корпусу 1, в якому на валу 2 змонтовані диски 3, що утворюють ротор 4. На шести осях 5, які скріплюють між собою диски в ротор, між дисками шарнірно підвішені молотки 6 в сім рядів по шість штук в кожному. В корпусі дробарки встановлений відбійний ніж 8 так, що при обертанні ротора відстань між ним і молотком становить 4÷10 мм. [3].

Торф потрапляє до дробарки через отвір 9 і виходить з неї через отвір 10. Подрібнення відбувається внаслідок механічного впливу на частинки торфу молотками, які під час обертання ротора займають радіальне положення, а також шляхом різання, яке відбувається між відбійним ножем і молотками. Шарнірне підвішування молотків забезпечує малу чутливість дробарки щодо попадання до неї деревини, каміння, металевих предметів.

Для більш ефективною переробки торфу (особливо пониженого ступеня розкладу) в Росії була розроблена дробарка МДН-1 (рис. 3.5). Вона складається з корпусу 1, ротору 2 з жорстко закріпленими на ньому ножами 3, відбійної плити 5, яка встановлена на осі 6. Ця плита фіксується пружинним пристроєм 7. Торф до дробарки завантажується через горловину 4, а виводиться через отвір 8.

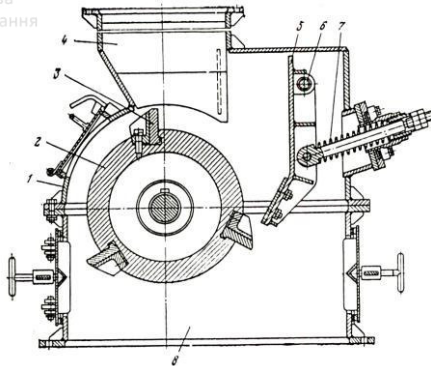


Рис.3.5. Дробарка МДН-1 з відбійною плитою

Ця дробарка найбільшою мірою використовує принцип різання. Зазор між ножем та відбійною плитою становить лише $2 \div 3$ мм. При попаданні в дробарку стороннього предмету відбійна плита відхиляється, запобігаючи цим поломці жорстко закріплених ножів, а після проходження такого предмета, повертається на своє місце під дією пружинного пристрою.

Дробарка ИМТ, як і МД-900, молоткового типу (рис.3.6). В корпусі 7 розміщується ротор з дисками 2 і молотками 1, які шарнірно підвішені на осях 3. Вал ротора встановлений на двох підшипникових опорах 4 і приводиться електродвигуном 6 через пружну муфту 5. Вихід торфу з дробарки відбувається через колосники 10, які зібрані в касети 8 та 9.

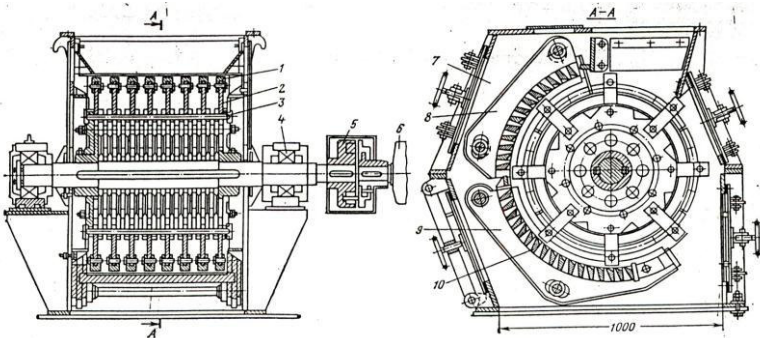


Рис. 3.6. Дробарка ИМТ



Технічні характеристики дробарок

Показники	Д р о б а р к и		
	МД-900	МДН-1	ИМТ
Ротор:			
- діаметр, мм	900	700	900
- довжина, мм	615	600	602
- частота обертання, c^{-1}	24,5	24,5	24,3
Потужність двигуна, кВт	48	29	55
Основні розміри, мм:			
- довжина	1635	1650	2525
- ширина	1400	1220	1500
- висота	1380	1380	1415
Питомі витрати енергії, кВт·год./т	2,3	–	2,7
Продуктивність, т/год.	10-12,5	–	20

Грохочення торфу здійснюється за допомогою грохотів різних конструкцій, які постійно удосконалювались. Головними робочими елементами грохотів є сита і решета. Сито – це плетена з металевих ниток поверхня, а решето – сталевий чи алюмінієвий лист зі штампованими (прямокутними) чи просвердленими (круглими) отворами розміром 6-10 мм, розташованими в шаховому порядку.

Робоча поверхня грохота характеризується так званим *живим перерізом*, який являє собою відношення сумарної поверхні всіх отворів до загальної площі грохота.

Для решіт цей показник не перевищує 40%, а для сит – 70%.

В перших конструкціях грохотів використовувались плоскі сита і решета, які встановлювались під кутом $15\div 25^{\circ}$ до горизонту. Рухаючись по такій похилій площині, частинки торфу, розмір яких менший за розмір отворів, проходять крізь грохот, утворюючи так званий *підрешітний продукт*. Ті частинки, розмір яких перевищує розмір отворів, разом з меншими частинками, які б мали, але не встигли пройти через грохот, утворюють *надрешітний продукт*.

Ступінь досконалості грохота можна оцінити *коефіцієнтом ефективності грохочення*, який визначається як відношення маси частинок, які пройшли через грохот, до маси частинок, які б мали пройти через нього.

Для підвищення ефективності грохочення сита й решета піддаються механічному впливу у вигляді коливного похитування (коє-



фіцієнт ефективності досягав 89%) чи вібрацій, що дозволяє збільшити цей показник до 99%. Позитивно зарекомендував себе пізніше розроблений барабанний грохот ГБ-1А, який відзначається малими габаритами та надійним пилозахистом.

Грохота різних моделей проектувались під конкретні технологічні схеми торфобрикетних заводів. Технічні характеристики основних вібраційних грохотів наведені в таблиці 3.2 [5].

Таблиця 3.2

Технічна характеристика вібраційних грохотів

Показники	Завод				
	з пневмогазовою сушаркою потужністю, тис. т		з шахтним млином потужністю 25 тис.т.	з пневмопаровою сушаркою потужністю, тис.т	
	30	60		60	125
Тип	ГУП-Ш	ГЖ-3	ГВП-1,25	ГВП-1	Вибр.
Довжина, мм	3500	2500	2500	2400	4000
Ширина, мм	1250	1250	1400	1350	1250
Площа комірки, мм ²	20520	25525	25525	656	858
Потужність електродвигуна, кВт	4,5	5,2	4,5	4,5	7
Кількість	1	3	1	6	8

Викладене в таблиці не виключає можливості комплектування брикетних заводів грохотами інших типів. Так, наприклад, Замглайський торфобрикетний завод (Чернігівська обл., пневмопароводяні сушарки Пеко) в період одного з капітальних ремонтів був оснащений барабанними грохотами ГБ-1А, які успішно працювали протягом багатьох років. Окрім чисто технічних переваг (висока продуктивність, простота експлуатації, зручність у обслуговуванні та ін.) встановлення барабанних грохотів значно покращило санітарно-гігієнічні умови роботи персоналу, суттєво знизивши рівень запиленості повітря, зменшивши шум і розвантаживши робочий простір приміщення.



Технічна характеристика барабанного грохота ГБ-1А

Показники	Значення
Ситовий барабан:	
- внутрішній діаметр, <i>мм</i>	1500
- довжина, <i>мм</i>	2800
- частота обертання, <i>об./хв.</i>	17,9
- розміри отворів в сітці, <i>мм</i>	656 або 858
- кут нахилу, <i>град.</i>	6 - 10
- потужність електродвигуна, <i>кВт</i>	2,2
- частота обертання електродвигуна, <i>об./хв.</i>	1440
Вентилятор:	
- тип	ЦП7-40 №5
- потужність електродвигуна, <i>кВт</i>	2,2
- частота обертання електродвигуна, <i>об./хв.</i>	1440
Грохот, основні розміри, <i>мм</i>:	
- довжина	4700
- ширина	4070
- висота	2000
Маса, <i>кг</i>	1595
Продуктивність, <i>т/год.</i>	До 25

Трубчасті сушарки (Пеко, Цемаг), які ми розглянемо в наступних розділах, більш вибагливі до якості сортування фрезерного торфу по розмірах, тому на заводах з такими сушарками розміри отворів грохотів становлять 6 - 8 мм, в той час як пневмогазові сушарки дозволяють застосовувати грохота з отворами 25 мм. Практичний досвід брикетування торфу взагалі без грохочення не можна однозначно прийняти як позитив, оскільки який-небудь серйозний аналіз показників якості брикету та продуктивності таких заводів не виконувався. Однак при умові використання шахтномлинних пневмогазових сушарок операція грохочення справді стає не обов'язковою: дробарка і шахтний млин забезпечують достатній рівень подрібнення матеріалу. Цю обставину використовують працівники торфобрикетних заводів України, оснащених шахтномлинними сушарками: підготовка торфу на них виконується лише шляхом дроблення без грохочення.



4. ШТУЧНЕ СУШІННЯ ТОРФУ

Діючі вітчизняні стандарти якості паливних торфових брикетів та напівбрикетів ставлять доволі високі вимоги до цього виду комунально-побутового палива.

Таблиця 4.1

Показники якості паливних торфових брикетів та напівбрикетів [4, 17]

Найменування показника	Норма	
	Брикет торфовий за ДСТУ 2042-92	Напівбрикет торфовий за РСТУ УССР 1297-28 з доповненнями та змінами
1. Масова частка загальної вологи в робочому стані палива (w^P), %, не більше	20	25
2. Зольність (A°), %, не більше	23	25
3. Механічна міцність при випробуваннях в барабані (залишок цілих та частково зруйнованих брикетів з розмірами шматків більше 25 мм), %, не менше	94	93
4. Масова частка дрібняку (шматки розміром менше 25 мм), %, не більше	6	7
5. Теплота згорання при спалюванні в калориметричній бомбі Q_H^P , середня, МДж/кг	14,9	Не нормується (показник відсутній)

Не коментуючи поки що всіх показників, звернемо увагу на перший з них – вологість, яка має не перевищувати 20 % для брикетів та 25% для напівбрикетів. Досягнути таке значення вологості шляхом лише польового сушіння торфу з використанням суто природних факторів практично неможливо, тому для одержання палива належної якості необхідне застосування штучного сушіння матеріалу.

Суть процесу сушіння полягає в тому, що торф контактує з газоподібним середовищем, в якому пружність водяної пари менша, ніж безпосередньо над матеріалом, який піддається сушінню. За таких

умов волога, випаровуючись, переходить з матеріалу до цього газоподібного середовища, яке ще називають *сушильним агентом*. Тобто **сушильний агент** - це газоподібне середовище, яке в умовах безпосереднього контакту і теплообміну з матеріалом, що сохне, сприймає вологу, яка видаляється з цього матеріалу.

Серед відомих процесів звільнення твердих матеріалів від вологи (деякі з них названі в першому розділі) найбільш економічним та практично придатним зарекомендував себе термічний процес. Його фізичну суть ми розглянемо незабаром, а поки що засвоїмо наступне визначення:

Штучне сушіння - це термічний процес звільнення твердих матеріалів від вологи, при якому подавання тепла, підведення та відведення сушильного агенту здійснюються за допомогою сушарок.

Залежно від принципу дії сушарок, як сушильний агент застосовуються атмосферне повітря (здебільшого – певним чином підготовлене) або суміш димових газів і повітря. Знання фізичних властивостей повітря є неодмінною умовою правильного розуміння і розрахунку сушильного процесу.

4.1. Фізичні властивості вологого повітря

Атмосферне повітря завжди містить в собі певну кількість вологи, і цей показник суттєво змінюється залежно від клімату, пори року, стану погоди, часу та ін. А от газовий склад повітря значно стабільніший, і в пробі повітря, відібраній поблизу поверхні землі при температурі 0°C і тиску 760 мм рт. ст., фіксується:

Таблиця 4.2

Склад атмосферного повітря

Складові	Вміст, %	
	по об'єму	по масі
Азот	78,09	75,5
Кисень	20,95	23,2
Аргон	0,93	1,28
Вуглекислий газ	0,03	0,04
Неон	0,0018	-
Гелій	0,0004	-



В контексті розгляду повітря як сушильного агента найбільше практичне значення мають такі його властивості, як абсолютна і відносна вологість, вологовміст, теплоємність, теплоємність, а також поняття точки роси.

Абсолютна вологість повітря (позначається γ , $г/м^3$) – це маса водяної пари, що міститься в $1 м^3$ вологого повітря.

Значно частіше використовується поняття *відносної вологості повітря*. Якщо вологе повітря поступово охолоджувати, то при досягненні певної температури водяна пара почне конденсуватися у вигляді роси, повітря досягає *стану насичення*, Температура, до якої необхідно охолодити вологе повітря, щоб воно стало насиченим, називається *точкою роси*.

Відносна вологість повітря або *ступінь насиченості повітря* (позначається φ , %) - це відношення маси водяної пари, яка міститься в $1 м^3$ вологого повітря (γ_n), до максимально можливої маси водяної пари ($\gamma_{нас}$), яку може містити повітря в стані насичення при однакових температурі та барометричному тиску.

Тобто, згідно визначенню,
$$\varphi = \frac{\gamma_n}{\gamma_{нас}} 100\% \quad (4.1)$$

Відносна вологість повітря визначається різними методами. Одним з найбільш простих і розповсюджених є психрометричний, заснований на використанні психрометра. Існують декілька конструкцій психрометрів (приміром, зі штучною циркуляцією повітря, для високих температур), дещо відрізняються й методики визначення ними відносної вологості повітря. Найпростішим є психрометр, який складається з двох однакових термометрів, в одного з яких кулька постійно змочується водою, а в другого – залишається сухою. При випаровуванні води з тканини, що огортає кульку першого термометра, витрачається теплова енергія, яка відбирається від змоченої кульки. Тому цей термометр показує нижчу температуру, ніж сухий.

Різниця між показаннями сухого і змоченого термометрів називається *психрометричною різницею*. Чим ця різниця більша, тим сухіше повітря і нижча його відносна вологість.

Кількісно відносну вологість повітря визначають за психрометричною таблицею (табл.4.3).



Відносна вологість повітря також може вимірюватись волосним гігрометром або гігрографом, який здійснює неперервний запис відносної вологості на папері.

Таблиця 4.3

Залежність відносної вологості повітря від психрометричної різниці (атмосферний тиск 100 кПа)

Температура сухого термометра, °С	Температура змоченого термометра, °С									
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
15	79	89	100							
16	69	79	89	100						
17	60	70	79	90	100					
18	53	62	71	81	90	100				
19	46	54	63	71	80	90	100			
20	40	47	56	64	72	81	90	100		
21	34	41	49	57	65	73	82	91	100	
22	29	36	43	50	58	66	74	82	91	100
23	25	31	38	44	52	59	67	74	83	91
24	20	27	33	39	46	53	60	67	75	83
25	17	22	28	34	41	47	54	61	68	76

Ще одним показником, який характеризує ступінь зволоження повітря, є вологовміст.

Вологовмістом повітря називається маса водяної пари m_n , віднесена до 1 кг наявного в ньому сухого повітря m_{cn} . Позначається d , традиційно вимірюється в г/кг.

$$\text{Тобто, } d = \frac{m_n}{m_{cn}} 1000, \text{ г/кг сух. пов.} \quad (4.2)$$

Тепломісткістю повітря називається кількість тепла, що міститься в ньому, віднесена до 1 кг наявного в ньому сухого повітря; в це тепло входить також те тепло, яке витрачене на перетворення води в пару. Позначається I , вимірюється в кДж/кг.*

Тепломісткість відраховується від нуля градусів (за Цельсієм), вона може бути й від'ємною (приміром – в морозного повітря).

* У технічній та й у навчальній літературі попередніх років видання фігурує застаріла одиниця теплоти калорія і похідні від неї (здебільшого ккал). Один джоуль (1 Дж.) дорівнює приблизно 4,19 кал.



Тобто, за фізичним змістом і чисельно тепломісткість цілком тотожна *ентальпії*^{*}, однаково позначається і вимірюється тими самими одиницями.

Тепломісткість (ентальпія) 1 кг сухого газу (повітря) при температурі $t^{\circ}\text{C}$

$$I_{\text{сп}} = c_{\text{сп}}t, \text{ кДж/кг} \quad (4.3)$$

де $c_{\text{сп}}$ - теплоємність сухого повітря, в інженерних розрахунках може прийматися 1 кДж/кг·град.

Ентальпія води при температурі $t^{\circ}\text{C}$

$$I_{\text{в}} = c_{\text{в}}t, \text{ кДж/кг} \quad (4.4)$$

де $c_{\text{в}}$ – питома теплоємність води, в інженерних розрахунках може прийматися 4,19 кДж/кг·град.

Питома тепломісткість (ентальпія) водяної пари, що знаходиться в повітрі, розраховується за формулою

$$i_n = 4,19 \cdot (595 + 0,47t), \text{ кДж/кг пари} \quad (4.5)$$

Отже, тепломісткість (ентальпія) вологого повітря $I_{\text{вп}}$ при температурі $t^{\circ}\text{C}$ може бути знайдена як сума ентальпій окремих його компонентів: сухого повітря і водяної пари:

$$I_{\text{вп}} = c_{\text{сп}}t + 0,001 d \cdot i_n \text{ кДж/кг сухого повітря} \quad (4.6)$$

Підставивши в одержане рівняння значення i_n з формули (4.5), одержимо

$$I_{\text{вп}} = c_{\text{сп}}t + 0,001 d \cdot (595 + 0,47t) \cdot 4,19, \quad (4.7)$$

або, пам'ятаючи, що $c_{\text{сп}} = 1$ кДж/кг·град., представимо формулу для розрахунку тепломісткості (ентальпії) вологого повітря у вигляді

$$I_{\text{вп}} = t + 0,001 d \cdot (595 + 0,47t) \cdot 4,19 \text{ кДж/кг сухого повітря.} \quad (4.8)$$

Але повітря як сушильний агент застосовується не у всіх сушильних установках. В Україні широкого розповсюдження набули сушарки, в яких сушильним агентом є димові гази.

^{*} Нагадаємо, що *ентальпією* називається кількість тепла, необхідного для нагрівання одиниці маси тіла від 0°C до заданої температури, включно з теплом на зміну агрегатного стану.



4.2. Параметри димових газів

Димові гази, які застосовуються для сушіння фрезерного торфу, генеруються в спеціальних топках. Для досягнення необхідної температури продукти згорання розмішуються зовнішнім повітрям. Економічно доцільно вести сушіння нерозведеними димовими газами при мінімально можливому *коефіцієнті надлишку повітря**. Тому однією з умов ефективної роботи сушарок на димових газах є реалізація високотемпературного режиму сушіння, при якому досягається найповніше використання тепла палива.

При згоранні палива вода, що містилася в ньому, випаровується. Окрім того, за рахунок водню палива утворюється певна кількість додаткової води, і продукт згорання являє собою парогазову суміш, вологовміст якої значно більше вологовмісту атмосферного повітря.

Параметри димових газів визначаються головним чином якістю палива, що згорає в топці, і умовами горіння.

Вологовміст димових газів (d_1) має велике значення для процесу сушіння і може бути визначений розрахунковим шляхом за такою послідовністю:

Вихідні дані:

- *параметри торфу*: вологість w^p , зольність A^c , елементний склад на горючу масу C^r ; H^r ; O^r ; N^r ; S^r ;
- *параметри повітря*: температура t_0 , відносна вологість φ_0 , можливо - ентальпія I_0 та вологовміст d_0 ;
- *параметри газу*: потрібна температура (після попереднього змішування з повітрям) t_1 , теплоємність сухих газів $c_{ст}$ (приймається по повітрю при температурі t_1).

Послідовність визначення d_1 :

1) Розраховується елементний склад торфу з горючої на робочу масу за формулами перерахунку (див. формули 2.9 та 2.10, які для зручності повторимо і в цьому розділі):

$$C^p = \frac{C^r [100 - (A^p + w^p)]}{100} \quad (4.9)$$

* Цей термін буде розглянутий в цьому ж розділі дещо нижче.



$$A^P = \frac{A^C (100 - w^P)}{100} \quad (4.10)$$

Правильність розрахунку перевіряємо:

$$C^P + H^P + O^P + N^P + S^P + A^P + w^P = 100\% \quad (4.11)$$

2) Визначаємо вищу теплоту згорання робочого палива (див. формулу 2.11)

$$Q_B^P = [81C^P + 300H^P - 26(O^P - S^P)] \times 4,19, \text{ кДж/кг} \quad (4.12)$$

3) Розраховуємо масу водяної пари, що утворюється при згоранні 1 кг торфу:

$$M_{\text{пг}} = \frac{9H^P + w^P}{100}, \text{ кг пари/кг торфу} \quad (4.13)$$

4) Виходячи з елементного складу палива, визначаємо кількість сухого повітря, теоретично необхідну для забезпечення процесу горіння:

$$L_0 = 0.115C^P + 0.345H^P - 0.043(O^P - S^P), \text{ кг/кг палива} \quad (4.14)$$

5) Розраховуємо питому теплоємність вологого торфу (див. формули 2.16, 2.17 та 2.18)

- при температурі вище 0°C

$$c_{\text{вл}} = c_{\text{сух}} \frac{100 - w}{100} + 4.19 \frac{w}{100}, \text{ кДж/кг} \cdot \text{град.}, \quad (4.15)$$

- при температурі нижче 0°C

$$c_{\text{вл}} = c_{\text{сух}} \frac{100 - w}{100} + 2.1 \times W'' + 4.19 \times W', \text{ кДж/кг} \cdot \text{град.}, \quad (4.16)$$

6) Визначаємо коефіцієнт надлишку повітря. Попередньо наведемо деякі пояснення щодо його змісту.



Для забезпечення якомога повнішого згорання палива процес горіння має відбуватися з надлишком повітря. Тому реальна (дійсна) маса повітря (L_0), яке потрапляє до топки в розрахунку на 1 кг палива, що згоряє, завжди більша за теоретично необхідну (L_0).

Відношення $\frac{L_0}{L_0}$ називається **коефіцієнтом надлишку повітря** і

позначається символом α .

Додаткове повітря додається до димових газів також з метою пониження їх температури, тому в теплових розрахунках доцільно визначити загальний коефіцієнт надлишку повітря α .

$$\alpha = \frac{Q_B^p \eta_T + c_{вл} t_T - \left(1 - \frac{9H^p + w^p + A^p}{100}\right) c_{сг} t_{сг} - \frac{9H^p + w^p}{100} i_n}{L_0 \left(c_{сг} t_{сг} + \frac{i_n d_0}{1000} - I_0\right)}, \quad (4.17)$$

де η_T – коефіцієнт корисної дії топки, можна приймати 0,9; $c_{вл}$ – теплоємність вологого торфу-палива; $c_{сг}$ – теплоємність сухих газів, близько 1,048 кДж/кг·град.; $t_{сг}$ – температура сухих газів на вході до сушарки; i_n – ентальпія водяної пари в димових газах на вході до сушарки; d_0 , г/кг сух. газ. та I_0 , кДж/кг сух. пов. – відповідно вологовміст та ентальпія атмосферного повітря, що подається до камери змішування.

7) Розраховуємо масу водяної пари, яка подається в топку разом з робочим повітрям при спалюванні 1 кг торфу

$$W_{ВП} = \frac{\alpha L_0 d_0}{1000} \text{ кг вод. пари/кг торфу} \quad (4.18)$$

8) Маса водяної пари ($M_{ВП}$), яка міститься в димових газах, складається з маси пари, одержаної при згоранні палива (див. пункт 3), а також пари, що надійшла до топки з повітрям:

$$M_{ВП} = M_{ПТ} + W_{ВП}, \text{ кг вод. пари/кг торфу}, \quad (4.19)$$

9) Маса сухих газів, що утворюються при згоранні 1 кг торфу,



$$M_{CT} = 1 + \alpha L_0 - \frac{A^p + w^p + 9H^p}{100}, \text{ кг вод. пари/кг торфу}, \quad (4.20)$$

10) Вологовміст димових газів

$$d_1 = \frac{M_{ВП}}{M_{CT}} 1000, \text{ г/кг сух. газів} \quad (4.21)$$

4.3. Аналітичний метод розрахунку сушильного процесу

Розрахунок сушарок передбачає визначення їх матеріального балансу, кількості сушильного агента, необхідного для сушіння, а також складання теплового балансу сушильного процесу.

Залежно від конструкцій сушарок та специфіки їх роботи цей розрахунок має свої особливості. Однак принципова схема сушильного процесу може бути загальною (рис. 4.1).

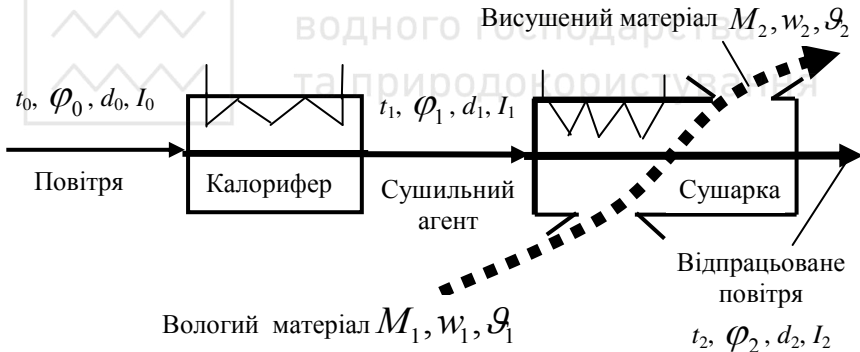


Рис. 4.1. Основна схема сушильного процесу

В узагальненому вигляді так звана основна схема сушильного процесу складається з *калорифера* - апарату для підігрівання повітря і власне сушарки. Зовнішнє повітря з температурою t_0 , відносною вологістю φ_0 , вологовмістом d_0 , та тепломісткістю (ентальпією) I_0 потрапляє до калорифера, де, підігріваючись, набуває параметрів t_1, φ_1, d_1, I_1 та спрямовується до сушарки.



Важливо запам'ятати індекси при символах параметрів повітря: для зовнішнього повітря це 0, для готового сушильного агента на вході до сушарки - 1, а для відпрацьованого сушильного агента - 2. В наступному тверде знання індексів сприятиме нашій швидкій орієнтації при розгляді умов протікання процесу сушіння.

До сушарки також подається матеріал, що сохне. Він має температуру \mathcal{Q}_1 , вологість w_1 і надходить у кількості M_1 кг на годину. В сушарці частина вологи з матеріалу переходить до сушильного агента, вологість матеріалу зменшується до значення w_2 , температура зростає до \mathcal{Q}_2 , а маса висушеного матеріалу набуває значення M_2 .

Матеріальний баланс сушарки визначається з метою виконання цілої низки технологічно важливих розрахунків: встановлення продуктивності сушарки по випаруваній волозі чи по вологому або висушеному матеріалу, та ін. Розрахунок матеріального балансу базується на відповідності між масою матеріалу, що входить до сушарки, і що виходить з неї. Легко зрозуміти, що маса матеріалу на виході з сушарки (M_2) менша за масу матеріалу на вході (M_1) на величину маси вологи, яка випарувалась (W):

$$M_1 = M_2 + W \quad (4.22)$$

або $W = M_1 - M_2$.

Відома формула перерозрахунку маси речовини з однієї вологості на іншу:

$$M_1(100 - w_1) = M_2(100 - w_2),$$

звідки
$$M_1 = M_2 \frac{100 - w_2}{100 - w_1} \quad (4.23)$$

аналогічно
$$M_2 = M_1 \frac{100 - w_1}{100 - w_2} \quad (4.24)$$

Поділивши вираз 4.23 на 4.24, одержуємо

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{100 - w_2}{100 - w_1} \quad (4.25)$$

Природно, що
$$\frac{M_2}{M_1} = \frac{100 - w_1}{100 - w_2} \quad (4.26)$$

Якщо поділити формулу 4.22 на M_1 , одержимо



$$1 = \frac{M_2}{M_1} + \frac{W}{M_1}.$$

Підставивши замість $\frac{M_2}{M_1}$ значення правої частини формули

4.26, матимемо:

$$1 = \frac{100 - w_1}{100 - w_2} + \frac{W}{M_1}.$$

Виконавши нескладні алгебраїчні перетворення, одержимо

$$W = M_1 \frac{w_1 - w_2}{100 - w_2} \quad (4.27)$$

Якщо поділити формулу 4.22 на M_2 , і виконати аналогічні перетворення, одержимо значення годинної продуктивності сушарки по випаруваній волозі у такому вигляді:

$$W = M_2 \frac{w_1 - w_2}{100 - w_1} \quad (4.28)$$

Таким чином, основне рівняння матеріального балансу має вигляд

$$W = M_1 \frac{w_1 - w_2}{100 - w_2} = M_2 \frac{w_1 - w_2}{100 - w_1}, \text{ кг вип. вологи / год.} \quad (4.29)$$

Це рівняння бажано запам'ятати, оскільки воно може використовуватись для виконання дуже широкого кола розрахунків, що стосуються сушильного процесу.

Одержане рівняння матеріального балансу не враховує втрат матеріалу в сушарці. Насправді ж певна частина торфу (здебільшого – найдрібніша фракція) виноситься з сушарки сушильним агентом і необоротно втрачається. Ці втрати враховуються *коефіцієнтом збереження матеріалу* ξ , значення якого завжди менше одиниці і визначається дослідним шляхом.



З урахуванням втрат вихід висушеного матеріалу з сушарки за одиницю часу (продуктивність сушарки по висушеному матеріалу) більш точно можна знайти за формулою, що походить з (4.24):

$$M_2 = \xi M_1 \frac{100 - w_1}{100 - w_2} \text{ кг/год.} \quad (4.30)$$

Продуктивність сушарки по вологому матеріалу

$$M_1 = \xi M_2 \frac{100 - w_2}{100 - w_1} \text{ кг/год.} \quad (4.31)$$

Розрахунок балансу вологи і витрат сушильного агента є обов'язковим елементом комплексного розрахунку сушильного процесу і здійснюється з метою визначення витрат сушильного агента на один кілограм випареної вологи чи за одиницю часу.

Розглянемо баланс вологи при стабільному режимі роботи сушарки (L – маса сухого повітря чи сухих димових газів, що витрачаються в сушильному процесі протягом години).

Таблиця 4.1

Баланс вологи сушарки

Походження вологи	Кількість вологи	
	На вході до сушарки	На виході з сушарки
Волога з матеріалом	$\frac{M_1 w_1}{100}$	$\frac{M_2 w_2}{100}$
Волога з сушильним агентом (повітрям чи димовими газами)	$L \frac{d_1}{1000}$	$L \frac{d_2}{1000}$
Разом вологи	$\frac{M_1 w_1}{100} + L \frac{d_1}{1000}$	$\frac{M_2 w_2}{100} + L \frac{d_2}{1000}$

Зрозуміло, що сумарна кількість вологи на вході до сушарки і на виході з неї однакова: в процесі сушіння відбувається лише перерозподіл вологи, значна частина якої переходить з матеріалу до сушильного агента, тобто



$$\frac{M_1 w_1}{100} + L \frac{d_1}{1000} = \frac{M_2 w_2}{100} + L \frac{d_2}{1000} \quad (4.32)$$

Перетворимо рівняння балансу

$$\frac{M_1 w_1}{100} - \frac{M_2 w_2}{100} = L \frac{d_2}{1000} - L \frac{d_1}{1000} \quad (4.33)$$

Зважаючи на те, що ліва частина формули символізує масу во-
логи, що випаровується (W), а також винісши L за дужку в правій
частині рівняння, одержуємо

$$W = L \frac{d_2 - d_1}{1000}$$
$$\text{або } \frac{L}{W} = \frac{1000}{d_2 - d_1} \quad (4.34)$$

Відношення $\frac{L}{W} = l$ називається питомими витратами сухого
повітря, необхідного для випаровування 1 кг вологи.

В кінцевому підсумку одержуємо рівняння, без якого неможли-
во було б виконати більшість розрахунків сушильного процесу:

$$l = \frac{1000}{d_2 - d_1}, \text{ кг сух.газ./кг випар.вологи} \quad (4.35)$$

Розрахунок теплового балансу сушарок доцільно починати
вивчати на прикладі *теоретичної сушарки*.

Теоретичною називається така умовна сушарка, в якій відсутні
втрати тепла в довкілля, на нагрівання матеріалу, що сохне, та тран-
спортуючих пристроїв і в якій температура матеріалу не змінюєть-
ся, дорівнюючі 0°C.

Рівняння теплового балансу теоретичної сушарки складаємо на
підставі наступних міркувань. Тепло сушильного агента формується
з тепла зовнішнього повітря, яке подається до калорифера (див.
рис.4.1) та тепла, що одержується в калорифері при нагріванні май-
бутнього сушильного агента. Оскільки в теоретичній сушарці ні-
яких втрат тепла немає, матеріал не нагрівається і має температуру



0°C, то на виході з такої сушарки все тепло виноситься тільки відпрацьованим сушильним агентом (табл.4.2)

Таблиця 4.2

Тепловий баланс теоретичної сушарки

Носій тепла	Кількість тепла	
	На вході до сушарки	На виході з сушарки
Тепло зовнішнього повітря	I_0L	–
Тепло, надане зовнішньому повітрю в калорифері	Q	–
Тепло відпрацьованого сушильного агента	–	I_2L
Разом тепла	$I_0L + Q$	I_2L

Таким чином, рівняння теплового балансу теоретичної сушарки має вигляд

$$I_0L + Q = I_2L \quad (4.36)$$

Тепло Q , що надається повітрю в калорифері, змінює тепломісткість повітря від I_0 до I_1 , тобто

$$Q = L(I_1 - I_0) \quad (4.37)$$

Підставивши в формулу (4.36) значення Q з останньої формули, одержимо

$$I_0L + L(I_1 - I_0) = I_2L \quad (4.38)$$

Після розкриття дужок матимемо

$$I_0L + I_1L - I_0L = I_2L \quad (4.39)$$

$$\text{або } I_1L = I_2L \quad (4.40)$$

Вираз 4.40 засвідчує, що в теоретичній сушарці процес сушіння відбувається при незмінній тепломісткості сушильного агента

$$I_1 = I_2 \quad (4.41)$$

Дійсна сушарка відрізняється від теоретичної наявністю втрат тепла, можливістю внутрішнього підігріву*, а також тим, що температура матеріалу, що подається на сушіння, сохне і виходить з сушарки не є сталою і не дорівнює 0°C.

* Додатковий підігрівач може міститись в сушарці, в іншому випадку додаткове тепло може стати наслідком екзотермічної реакції окислення матеріалу, що сохне.



Питомі витрати тепла в розрахунку на 1 кг вологи, яка видалена з матеріалу, у дійсній сушарці складають

$$q = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5, \quad (4.42)$$

де q_1 - питомі витрати тепла на випаровування вологи з матеріалу, *кДж/кг випар. вологи*;

q_2 - питомі витрати тепла на підігрів сушильного агента, *кДж/кг випар. вологи*;

q_3 - питомі витрати тепла на підігрів матеріалу, *кДж/кг випар. вологи*;

q_4 - питомі витрати тепла на підігрів транспортних пристроїв, *кДж/кг випар. вологи*;

q_5 - питомі витрати тепла на покриття втрат у доквілля, *кДж/кг випар. вологи*.

Питомі витрати тепла на випаровування вологи з матеріалу

$$q_1 = i_n'' - \mathcal{G}_1 \quad \text{кДж/кг випар. вологи} \quad (4.43)$$

де $i_n'' = 4,19 \cdot (595 + 0,47 \cdot t_2)$ - ентальпія пари при параметрах сушильного агента, який виходить з сушарки; \mathcal{G}_1 - температура матеріалу (i наявної в ньому води) на вході до сушарки.

Температура сушильного агента на виході з сушарки t_2 приймається в межах 80-90°C.

Питомі витрати тепла на підігрів сушильного агента від вихідної температури t_0 до кінцевої t_2 такі самі, як в теоретичній сушарці

$$q_2 = l c_{\text{сум.}} (t_2 - t_0) \quad \text{кДж/кг випар. вологи.} \quad (4.44)$$

Питомі витрати тепла на підігрів матеріалу

$$q_3 = \frac{M_2}{W} c_M (\mathcal{G}_2 - \mathcal{G}_1), \quad \text{кДж/кг випар. вологи,} \quad (4.45)$$

де M_2 – маса матеріалу, що виходить з сушарки протягом 1 години; W - годинна продуктивність сушарки по випаруваній волозі, *кг/кг випар. вологи за год.*;

Питомі витрати тепла на підігрів транспортних пристроїв, які можуть бути вагонетки, візки, ролики, конвеєри та інші пристрої, на які вкладається матеріал перед сушінням*

* Торф подається до сушарок у завислому стані, у складі аеросуміші, без потрапляння до зони сушіння якихось транспортуючих пристроїв.



$$q_4 = \frac{M_3}{W} c_{TP} (\vartheta'_{TP} - \vartheta''_{TP}) \text{ кДж/кг випар. вологи, (4.46)}$$

де $\frac{M_3}{W}$ - маса транспортних пристроїв, що припадає на 1 кг вологи, яка випаровується протягом години; ϑ'_{TP} та ϑ''_{TP} - температура транспортних пристроїв на вході до сушарки та на виході з неї; c_{TP} - теплоємність матеріалу, з якого виготовлені транспортні пристрої, кДж/кг °С.

Питомі втрати тепла у доквілля зумовлені тепловипромінюванням поверхні сушарки

$$q_5 = \frac{\sum Fk\Delta t_{CP}}{W} \text{ кДж/кг випар. вологи, (4.47)}$$

де F - площа окремих поверхонь сушарок, м²; k - коефіцієнт теплопередачі ділянки поверхні сушарки, кДж/м²год.°С; Δt_{CP} - середня різниця температур для ділянки, $t_{CP} - t_0$, °С; t_{CP} - середня температура ділянки поверхні сушарки (з урахуванням вимог безпеки праці приймається не вище 50°С); t_0 - температура повітря у сушильному приміщенні.

Залежно від вартості ізоляції та загальної величини втрат коефіцієнт теплопередачі вибирається в межах 2÷4 кДж/м²год. °С.

Для спрощення розрахунків значення q_5 нерідко визначають за спрощеною формулою

$$q_5 = 0,21 (q_1 + q_3) \text{ кДж/кг випар. вологи (4.48)}$$

Оскільки корисно витраченим є лише тепло q_1 (на випаровування вологи з матеріалу), то технологічний коефіцієнт корисної дії сушарки визначається як відношення q_1 до загальної кількості підведеного тепла q за формулою

$$\eta = \frac{q_1}{q} \times 100 \% \quad (4.49)$$

В сушарках, які застосовуються на торфобрикетних заводах, підігрів сушильного агента відсутній (йдеться про підведення тепла безпосередньо в сушарку). Щоправда, певна кількість додаткового



тепла потрапляє до сушарки разом з матеріалом, що подається на сушіння і має позитивну температуру \mathcal{S}_1 . Але переважають втрати тепла, вже розглянуті в формулах 4.45 та 4.47: відповідно на підігрів матеріалу (q_3) та зумовлені тепловипромінюванням поверхні сушарки у докілья (q_5). Втратами тепла на нагрівання транспортуючих пристроїв (q_4), як вже попередньо згадувалось, можна знехтувати.

Таким чином, внутрішній тепловий баланс сушарки, без урахування ролі повітря як теплоносія, дещо спрощено ілюструється рівнянням

$$\Delta = \mathcal{S}_1 - (q_3 + q_5), \quad (4.50)$$

а параметр Δ часом називають *поправкою на дійсну сушарку*. Зрозуміло, що для реальних сушарок, які використовуються на торфобрикетних заводах, параметр Δ чисельно менший нуля.

4.4. Графічний метод розрахунку сушильного процесу

Запропонована ще у 1918 році професором Л.К.Рамзіним так звана *Id*-діаграма дозволяє моделювати різноманітні процеси, пов'язані з розрахунками сушильної установки. Використовуючи *Id*-діаграму, можна швидко й просто будувати різноманітні варіанти сушильного процесу.

За вихідні дані найчастіше приймаються такі параметри сушильного агента (див. схему сушильного процесу на рис.4.1), які нескладно виміряти: температура t_0 і відносна вологість φ_0 зовнішнього повітря, температура сушильного агента на вході до сушарки t_1 , температура t_2 чи відносна вологість φ_2 сушильного агента на виході з сушарки.

Параметрами, які підлягають визначенню, здебільшого є вологовміст d_2 відпрацьованого сушильного агента на виході з сушарки, після чого визначаються питомі витрати сушильного агента l_2 та питомі витрати тепла на сушіння q .

Розрахунок теоретичної сушарки з допомогою Id-діаграми починається з визначення точки *A*, яка характеризує стан атмосферного повітря, що подається до калорифера. Точку *A* знаходимо за відомими значеннями температури повітря t_0 та його відносної вологості φ_0 на перетині ізотерми $t_0=const$ з лінією $\varphi_0=const$ або з ліні-



Оскільки в теоретичній сушарці втрат тепла немає, то процес сушіння відбувається при постійній ентальпії повітря, тобто $I_2 = I_1 = \text{const}$ і зображається прямою лінією BC , яка паралельна розгорнутій осі абсцис та ізоентальпам (лініям постійної питомої ентальпії). Точка C характеризує стан повітря на виході з сушарки (відпрацьованого сушильного агента) і знаходиться на перетині лінії сушіння з заданою ізотермою $t_2 = \text{const}$ або з лінією також заданої кінцевої відносної вологості φ_2 .

Прокоментуємо процеси, які ілюструє лінія BC . В сушильній камері відбувається перехід вологи з матеріалу, що сохне, до повітря. Температура останнього при цьому знижується від t_1 до t_2 , а вологовміст зростає від d_1 до d_2 . Під впливом одночасної дії обох чинників (пониження температури і збільшення вологовмісту) відносна вологість сушильного агента суттєво зростає від φ_1 до φ_2 .

Визначивши положення точки C , ми можемо дізнатись й про решту параметрів відпрацьованого сушильного агента. Головними з них є вологовміст d_2 та ентальпія I_2 . Числове значення d_2 знаходиться на перетині відрізка прямої, проведеної вертикально від точки C , з віссю вологовмісту (абсцис) I -діаграми. Значення I_2 (пам'ятаємо, що для теоретичної сушарки $I_2 = I_1$) знаходимо в точці перетину променя, що є продовженням лінії сушіння CB , з віссю ентальпії (ординат).

Використовуючи формулу 4.35, розраховуємо питомі витрати повітря на випаровування 1 кг вологи

$$l = \frac{1000}{d_2 - d_1}, \text{ кг сух.газ./кг випар. вологи}$$

Кількість тепла, яка необхідна для приготування в калорифері тієї кількості сушильного агента, яка витрачається на випаровування 1 кг води, визначається за формулою

$$q_K = q = l(I_1 - I_0), \text{ кДж/кг випар. вологи} \quad (4.51)$$

За годину витрати тепла на приготування сушильного агента складуть (див. формулу 4.37)

$$Q = L(I_1 - I_0),$$



де, як зазначено в підрозділі (4.3), L – маса сухого повітря, що витрачається в сушильному процесі протягом години і може бути визначена за формулою $L = l \times W$.

Розрахунок дійсної сушарки з допомогою Id-діаграми розпочинається за вже викладеною методикою, що стосується теоретичної сушарки. Нанісни на діаграму точки A , B та C , які характеризують стан повітря при його подаванні до калорифера (A), при входженні в сушарку (B) і при виході з неї (C), приступаємо до внесення тих поправок, які відрізняють реальний процес сушіння від ідеалізованого “безвтратного” сушіння у теоретичній сушарці. Головною відмінністю дійсної сушарки від теоретичної є наявність непродуктивних втрат тепла, головним чином – на підігрів матеріалу (q_3) та у доквілля (q_5). Як вже зазначалось, ці втрати враховує так звана поправка на дійсну сушарку Δ (див. формулу 4.50).

За логікою і фізичним змістом

$$\Delta = l(I_2 - I_1) = \frac{1000}{d_2 - d_1}(I_2 - I_1) \quad (4.52)$$

Для графічної інтерпретації цієї поправки на Id-діаграмі необхідно зробити наступне:

а) визначити масштаб Id-діаграми m , який вказаний на ній або розраховується через масштаб осі вологовмісту (M_d) та осі ентальпії (M_I):

$$m = \frac{M_I}{M_d} ; \quad (4.53)$$

б) обрати на лінії BC , що характеризує процес сушіння в теоретичній сушарці, довільну точку e , з якої провести горизонтальний промінь до його перетину з лінією AB в точці f . Виміряти довжину відрізка ef ;

в) розрахувати довжину відрізка eE

$$eE = ef \frac{\Delta}{m} ; \quad (4.54)$$

г) відкласти з точки e вниз відрізок eE ;

д) провести з точки B через точку E промінь до перетину з ізотермою $t_2 = const$ або з лінією $\varphi_2 = const$ в точці C_1 .

Лінія BC_1 , що утворилася, і являє собою графік процесу сушіння в дійсній сушарці.

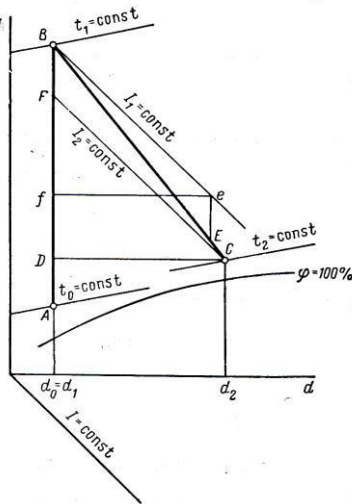


Рис. 4.3. Побудова сушильного процесу в дійсній сушарці на Id -діаграмі

Неважко помітити, що лінія BC_1 не паралельна ізоентальпам, а демонструє процес, що відбувається з втратою ентальпії сушильним агентом. Точка C_1 знаходиться лівіше від точки C , і це є свідченням того, що реальний вологовміст d_2 дещо менший, ніж у теоретичній сушарці.

Температура сушильного агента в точці C_1 , як уже згадувалось, має становити $80\div 90^\circ\text{C}$. Дехто з неспеціалістів вважає такі значення неприпустимо високими. Однак спроби продовження використання сушильного агента до досягнення ним нижчих температур не мають нічого спільного з реальним енергозбереженням і приречені на невдачу. Насичене водяною парою повітря при надмірному охолодженні не зможе утримати воду в газоподібному стані, розпочнеться процес конденсації водяної пари і повторного зволоження висушеного торфу. Як видно з графіка сушильного процесу, температура відпрацьованого повітря на виході з сушарки t_2 не може бути прийнята нижчою за межу охолодження, яка визначає “точку роси”.

4.5. Сушіння торфу димовими газами

На торфобрикетних заводах України найбільшого розповсюдження набула технологія штучного сушіння торфу за допомогою димових газів. Її переваги базуються на тому, що димові гази виконують одночасно дві функції: теплоносія і сушильного агента. Це



дозволяє суттєво спростити конструкцію сушарки і технологічної схеми заводу в цілому, обходитись без теплообмінника (калорифера), в якому теплоносієм підігріває атмосферне повітря на стадії приготування сушильного агента. Димові гази утворюються в спеціальних технологічних топках або теплогенераторах*.

Між властивостями димових газів та повітря як сушильних агентів існують і подібність, і відмінності. Найбільш помітна різниця між ними у вологовмісті. Якщо в процесі нагрівання повітря в калорифері його вологовміст залишається сталим (пригадаймо вертикальну лінію AB на рис. 4.2 та 4.3), то утворення димових газів супроводжується інтенсивним випаровуванням води з торфового палива при його горінні у топці чи теплогенераторі. З'являється додаткова волога й через участь водню палива в процесі швидкого окислення (тобто горіння) останнього. За рахунок цих джерел утворення водяної пари відбувається зростання вмісту вологи в продуктах згорання, які, по суті, являють собою парогазову суміш, вологовміст якої значно перевищує цей же показник повітря.

Теоретично необхідна кількість сухого повітря для забезпечення процесу горіння визначається з рівняння

$$L_o = 0,115C^p + 0,345H^p - 0,043(O^p - S^p) \text{ кг сух. пов./кг палива} \quad (4.55)$$

Для зменшення втрат палива через його неповне згорання (недопал) дійсна кількість повітря L_o , що подається в топку на кожний кг палива, повинна бути дещо більшою за теоретичну L_o .

Відношення $\frac{L_o}{L_o} = \alpha$ називається коефіцієнтом надлишку повітря.

Якщо виникає потреба у зниженні температури димових газів, то реальна кількість повітря, що підмішується, має бути ще більшою. При цьому зростає й загальний коефіцієнт надлишку повітря.

При повному згоранні 1 кг палива утворюються димові гази масою

$$M_r = 1 + \alpha L_o - \frac{A^p + 9H^p + w^p}{100}, \text{ кг газів/кг палива,} \quad (4.56)$$

* Про топки та теплогенератори йтиметься в одному з наступних розділів цієї книги.

де A^p , H^p та w^p – відповідно вміст золи, водню (гідрогену) та вологи в робочому паливі, %.

Маса водяної пари, яка формується з двох джерел: з маси пари, що утворюється при спалюванні торфу і що потрапляє до топки разом з повітрям, може бути знайдена за допомогою рівняння

$$M_{\text{п}} = \frac{9H^p + w^p}{100} + \frac{\alpha L_o d_o}{1000}, \text{ кг пари/кг палива} \quad (4.57)$$

Вологовміст димових газів при повному згоранні палива

$$d = \frac{1000M_{\text{п}}}{M_{\text{Г}}} = \frac{1000\left(\frac{9H^p + w^p}{100} + \frac{\alpha L_o d_o}{1000}\right)}{1 + \alpha L_o - \frac{A^p + 9H^p + w^p}{100}}, \text{ кг/кг сух. газів} \quad (4.58)$$

Загальний коефіцієнт надлишку повітря α визначається з рівняння теплового балансу, складеного в розрахунок на 1 кг палива, що спалюється, для стану димових газів перед потраплянням до сушарки. Після перетворень формула має вигляд

$$\alpha = \frac{Q_B^p \eta_T + c_{\text{п}} \vartheta_{\text{п}} - \left(1 - \frac{9H^p + w^p + A^p}{100}\right) \cdot c_{\text{Г}} t_1 - \frac{9H^p + w^p}{100} i_{\text{п}}}{L_o \left(c_{\text{Г}} t_1 + \frac{i_{\text{п}} d_o}{1000} - I_o\right)} \quad (4.59)$$

де η_T – к.к.д. топки, який враховує втрати тепла в умовах повного згорання палива; $c_{\text{п}}$ та $\vartheta_{\text{п}}$ – відповідно теплоємність (кДж/кг °С) та температура палива (°С); I_o – ентальпія повітря, яке подається в топку, кДж/кг сухого повітря; t_1 – температура димових газів на вході до сушарки, °С; $i_{\text{п}}$ – ентальпія водяної пари, що входить до складу вологого газу (див. формулу 4.5).

Теплоємність палива $c_{\text{п}}$ (яким на всіх діючих торфобрикетних заводах є фрезерний торф, в той чи інший спосіб відокремлений від



торфу, що йде на сушіння), розраховується за формулою 2.17, в якій цей параметр позначений символом $c_{вЛ}$.*



* Різниця в позначеннях пояснюється тим, що в цьому розділі ми розглядаємо торф як паливо, а в розділі 2 вивчали властивості вологого торфу взагалі (в тому числі – й як об'єкту сушіння).



Ентальпія топкових газів визначається головним чином вищою теплою згорання робочого палива Q_B^P , коефіцієнтом надлишку повітря α і значно меншою мірою – рештою членів рівняння

$$I = \frac{Q_B^P \eta + c_{II} g_{II} + \alpha L_0 I_0}{1 + \alpha L_0 - \frac{A^P + 9H^P + w^P}{100}}, \text{ кДж/кг сухих газів} \quad (4.60)$$

Якщо відомі вологовміст і температура газової суміші, то її ентальпію можна розрахувати також за вже відомими нам формулами 4.6 – 4.8.

4.6. Застосування *Id*-діаграми для димових газів

Id-діаграма, що була розроблена професором Л.К.Рамзінім для повітря, з достатньою для технічних розрахунків точністю може бути застосована й для димових газів. Однак вигляд лінії *AB*, що символізує на діаграмі перехід атмосферного повітря у стан сушильного агента, у випадку застосування димових газів буде помітно іншим: лінія *AB* перестає бути вертикальною. Це пояснюється тим, що для досягнення необхідної температури певного об'єму димових газів у топці спалюється вологий торф, і волога, що міститься в ньому, випаровується й зволожує димові гази (ми розглядали це на с. 50). Чим вологішим є паливо, тим більший вологовміст димових газів, які утворюються з нього, тим більшого нахилу набирає лінія *AB* (рис.4.4).

При згоранні палива частина тепла топкових газів витрачається на випаровування вологи, що міститься в паливі. Внаслідок цього вологовміст газів зростає, але значення їх ентальпії залишається постійним, оскільки водяна пара, що містить в собі теплоту пароутворення, поглинається тими самими димовими газами. Але такою “постійністю” ентальпії тішитись не варто: при зростанні вологості палива збільшується баластна частина ентальпії, яка не бере участі в процесі теплообміну. Це супроводжується зниженням температури димових газів і погіршенням економічності процесу сушіння. Максимальною ентальпією буде при коефіцієнті надлишку повітря $\alpha=1$, коли горіння палива можливе лише теоретично. При



Національний університет
водного господарства
та природокористування

інших значеннях $\alpha > 1$ лінії постійних надлишків повітря розташовуються паралельно лініям



Національний університет
водного господарства
та природокористування



$I = const$. Зі зростанням надлишку повітря лінії $\alpha = const$ будуть наближатись до точки A , для якої $\alpha = \infty$. Вперше $I-d$ діаграму для торфу різної вологості з лініями $\alpha = const$ побудували М.Г.Булінко та В.М.Іванов.



Рис. 4.4. Лінії змішування повітря з димовими газами, одержаними при спалюванні палива різної вологості: w_1, w_2, w_3, \dots – вологість палива по мірі наростання; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots$ – коефіцієнти надлишку повітря.

З діаграми видно, що чим вищу вологість має торфове паливо, тим більший нахил має лінія змішування. При цьому витрати димових газів на процес сушіння зростають, оскільки (див. рівняння 4.35) $l = \frac{1000}{d_2 - d_1}$. Це погіршує економічні показники виробництва

брикетів через збільшення необхідної кількості торфового палива, зростання витрат на його доставку, підвищення споживання елект-



Національний університет
водного господарства
та природокористування

роенергії та ін. Тому для зниження собівартості виробництва торфобрикетів рекомен-



Національний університет
водного господарства
та природокористування

дується забезпечувати якомога нижчу вологість фрезерного торфу, який поставляється на завод.

В Україні використовуються пневмогазові сушарки виключно з одноразовим використанням димових газів без їх рециркуляції. Схематично сушильний процес з одноразовим використанням димових газів ілюструється рис. 4.5:

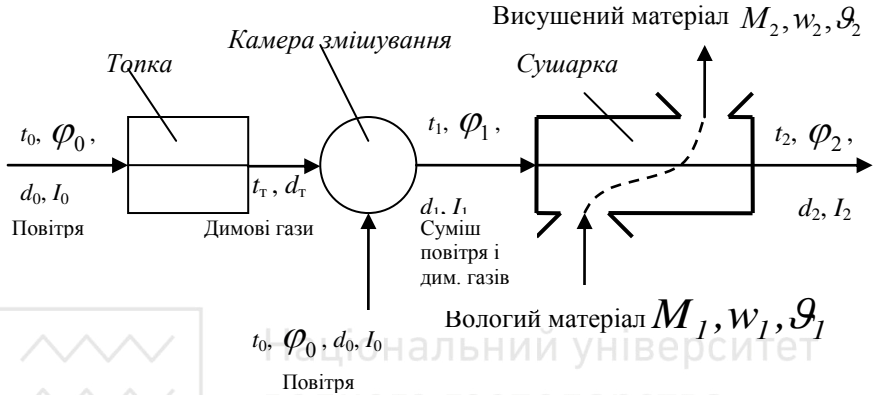


Рис. 4.5. Схема сушильного процесу з одноразовим використанням димових газів.

Зовнішнє повітря, яке характеризується показниками температури t_0 , відносної вологості φ_0 , вологовмісту d_0 та ентальпії I_0 потрапляє до топки для забезпечення горіння палива – фрезерного торфу. Димові гази, що утворюються в топці, мають вологовміст d_T і температуру t_T , яка, здебільшого, надто висока для безпосереднього їх використання в сушильному процесі. Доведення температури димових газів до потрібного значення здійснюється шляхом їх змішування із зовнішнім повітрям. Одержується сушильний агент і теплоносій з параметрами t_1, φ_1, d_1, I_1 (див. рис. 4.5), який подається до сушарки. Одночасно, у кількості M_1 кг/год., до сушарки подається матеріал, що сохне. Вологість матеріалу w_1 , а його температура становить G_1 . Після завершення процесу сушіння з сушарки протягом години у кількості M_2 виходить висушений до вологості w_2 торф (сушонка), що має температуру G_2 .

Тепловий розрахунок сушарки, що працює на димових газах, може виконуватись за допомогою $I-d$ -діаграми наступним чином (рис. 4.6.):

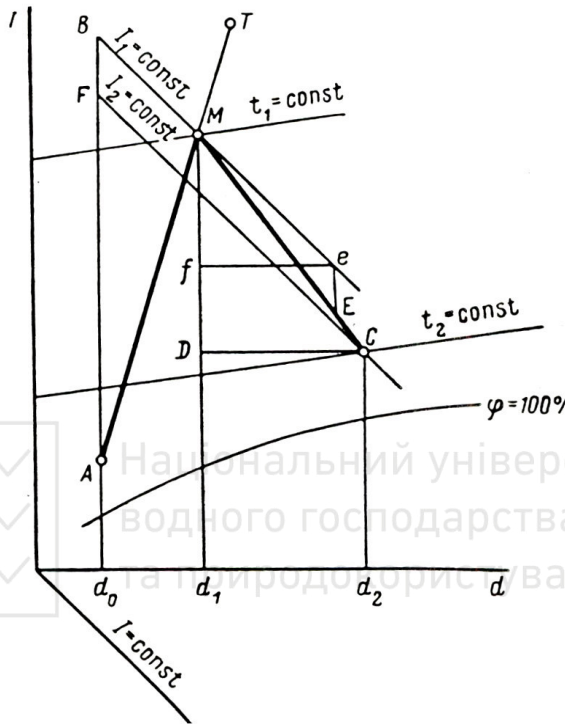


Рис. 4.6. Побудова сушильного процесу, що відбувається з використанням димових газів.

Точка A , як і у випадку сушіння повітрям (див. рис. 4.3), характеризує стан зовнішнього повітря. Воно подається до топки і камери змішування (див. рис. 4.5.). Лінія змішування топкових газів AT (див. рис. 4.6) відповідає вологості торфу, що спалюється в топці. Точка M , яка характеризує стан суміші топкових газів з повітрям на вході до сушарки, знаходиться в місці перетину лінії змішування з ізотермою заданої температури сушильного агента t_1 . Подальша побудова сушильного процесу повністю ідентична побудові, описаній в підрозділі 4.4. для дійсної сушарки, що працює на повітрі (див. рис. 4.3)



Національний університет

Через точку M проводимо лінії $I_1 = \text{const.}$ і $d_1 = \text{const.}$ Для розрахунку довжини відрізка eE , який задає напрям лінії дійсного сушіння MC ,



Національний університет
водного господарства
та природокористування

визначається величина Δ . При характерній для сушіння торфу ситуації, коли $\Delta < 0$, тобто при переважанні теплових втрат над тепловиділенням, відрізок eE відкладається від точки e вниз. Довжина відрізка eE визначається з рівняння (4.54). Через одержану точку E проводимо лінію ME , яку продовжуємо до перетину із заданою ізотермою t_2 чи з лінією вологості φ_2 . Точка C являє собою кінцеву точку дійсного процесу сушіння димовими газами і визначає їх параметри на виході з сушарки (параметри відпрацьованого сушильного агента).

Питомі витрати димових газів на випаровування 1 кг вологи знаходимо за допомогою вже знайомої формули

$$l = \frac{1000}{d_2 - d_1}, \text{ кг сух.газ./кг випар. вологи.}$$

Питомі витрати тепла на випаровування 1 кг вологи можуть бути визначені з рівняння (див. рис. 4.6)

$$q = m \frac{AB}{CD}, \text{ кДж/кг випар. вологи.}^* \quad (4.61)$$

При продуктивності сушарки по випаруваній волозі W кг/год. щогодини необхідно забезпечувати генерування теплової енергії у кількості qW кДж. Знаючи нижчу теплоту згорання палива (в нашому випадку – фрезерного торфу) Q_H^P , можемо розрахувати необхідні витрати палива для нормальної роботи сушильної установки протягом години:

$$M_n = \frac{qW}{Q_H^P \eta_T}, \text{ кг/год.} \quad (4.62)$$

Відомі також конструкції сушарок з частковим поверненням (рециркуляцією) відпрацьованих димових газів. Такі сушарки доцільно застосовувати для матеріалів, які не витримують високих температур і потребують м'якого режиму сушіння. Такі сушарки для сушіння торфу не застосовуються і в даній книзі не розглядаються.

* При користуванні Id-діаграмами, на яких ентальпія подається в ккал. на 1 кг сухого повітря, результат формули (4.61) одержимо в ккал/кг випар. вологи і, помноживши його на 4,19, переведемо в кДж/кг випар. вологи



5. СУШАРКИ ТОРФОБРИКЕТНИХ ЗАВОДІВ

На торфобрикетних заводах України в даний час використовуються переважно пневмогазові сушарки з шахтним млином, які скорочено називають шахтномлининими сушарками. Однак вивчення сушарок різних типів сприяє підвищенню професійної ерудиції фахівця, тому в цьому розділі розглянуті також сушарки інших типів, які раніше застосовувались в Україні або використовуються й сьогодні в країнах близького та далекого зарубіжжя.

5.1. Пневмопароводяна сушильна установка Пеко

Пневматична сушарка з подвійним використанням тепла водяної пари була запропонована наприкінці 20-х років ХХ століття норвезьким інженером Томасом Грамом. Практична реалізація ідеї була здійснена на початку 30-х років англійським теплотехнічним товариством “Peat company”, від перших двох літер назви якого й сформувалася назва сушарки – Пеко.

Сушильні установки Пеко широко використовувались на торфобрикетних заводах України: Бучманському та Озерянському (Житомирська обл.), Стоянівському (Львівська обл.) і Замглайському (Чернігівська обл.). Проектна потужність одного комплекту Пеко – 60 тис. т брикетів на рік. На Замглайському торфобрикетному заводі були встановлені два комплекти обладнання, що дало підставу встановити річну проектну потужність заводу 125 тис. т.

Сушильна установка Пеко передбачає багаторазове використання теплової енергії палива. Можна виділити три головні стадії:

1) при спалюванні палива (фрезерного торфу) в топці котла одержане тепло генерує пару, яка спочатку спрямовується до турбогенератора, що виробляє електричну енергію;

2) відпрацьована пара турбіни використовується для сушіння торфу в трьох парових корпусах сушильної установки (корпуси ІА, ІВ, ІС);

3) тепло вологи, яка випаровується з торфу в парових корпусах сушарки (так звана сокова пара), утилізується для попереднього підсушування торфу в двох водяних корпусах (корпуси ІІА і ІІВ).

Як видно з викладеного, пневмопароводяна сушильна установка складається з п'яти стаціонарних корпусів (рис. 5.1)

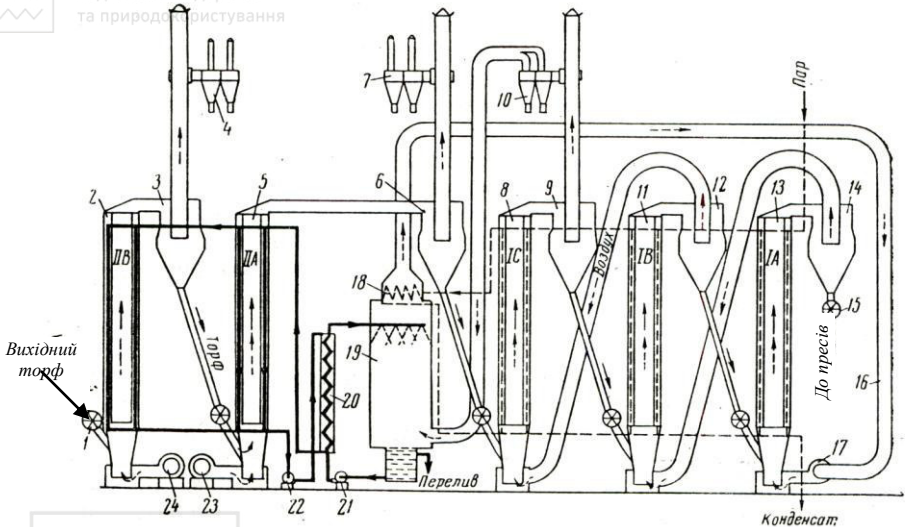


Рис.5.1. Технологічна схема пневмопароводяної сушильної установки: 1 – барабанний затвор-живильник сушарки ІВ; 2 – сушильний корпус ІВ; 3 – циклон першого ступеня очищення сушарки ІВ; 4 – другий ступінь очищення сушарки ІВ; 5 – сушильний корпус ІА; 6 – циклон першого ступеня очищення сушарки ІА; 7 – другий ступінь очищення сушарки ІА; 8 – сушильний корпус ІС; 9 – циклон першого ступеня очищення сушарки ІС; 10 – другий ступінь сухого очищення сушарок першого ефекту ІА, ІВ, ІС; 11 – сушильний корпус ІВ; 12 – циклон сушарки ІВ; 13 – сушильний корпус ІА; 14 – циклон сушарки ІА; 15 – барабанний затвор-живильник для подавання висушеного торфу; 16 – повітропровід; 17 – радіальний вентилятор сушарок ІА, ІВ, ІС; 18 – паровий калорифер; 19 – скруббер; 20 – теплообмінник; 21 – відцентровий насос шламової води; 22 – відцентровий насос чистої води; 23 та 24 – радіальні вентилятори сушарки ІА та ІВ

В сушильних корпусах ІА, ІВ, ІС теплоносієм є пара (“перший ефект”) з надлишковим тиском $0,2 \div 0,3$ МПа і температурою до 160°C , а в корпусах ІАА і ІІВ – гаряча вода (“другий ефект”) з температурою $55 \div 70^\circ\text{C}$. Сушильним агентом в усіх корпусах є повітря.

Сушильний корпус являє собою циліндричний барабан висотою 12 – 15 м (залежно від модифікації), виготовлений з листової сталі товщиною 8 – 10 мм. В барабані вертикально встановлені сушильні трубки, по яких знизу вгору разом з потоком повітря рухається торф. Трубки не циліндричні, в поперечному перерізі вони можуть бути однієї з форм, показаних на рис. 5.2:

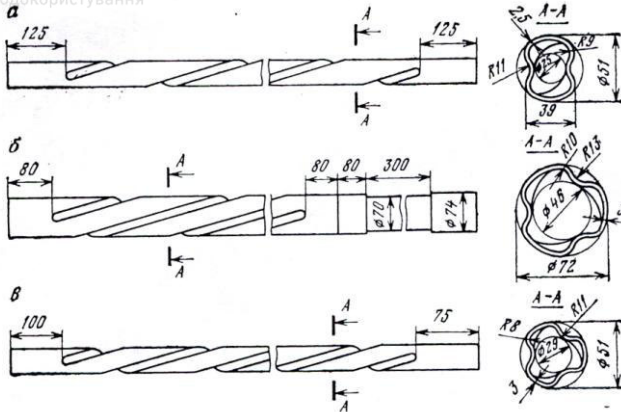


Рис.5.2. Сушильні трубки:

a – з поперечним перерізом у вигляді вісімки; *б* – те саме, у вигляді трьохпелюсткового листа $\varnothing 46$ мм; *в* – те саме, у вигляді трьохпелюсткового листа $\varnothing 29$ мм

Така складна форма сушильних трубок сприяє покращенню контакту частинок торфу зі стенками труби і, в кінцевому підсумку, покращує теплообмін та інтенсифікує випаровування води з торфу.

Торф подається в нижню частину сушильного корпусу ІВ (див. позицію 2 на рис. 5.1), в міжтрубному просторі якого знаходиться тепла вода. Торф дещо нагрівається і, хоча й не надто інтенсивно, починає випаровувати вологу. Після виходу з корпусу торфоповітряна суміш потрапляє до циклона (3), де основна частина торфу відокремлюється і спрямовується в сушильний корпус ІА (5), а повітря йде на другий ступінь очищення (4). Після проходження корпусу ІА торфоповітряна суміш знову проходить дві стадії відокремлення торфу від повітря в циклонах (6) та (7), після чого сушіння торфу продовжується в сушильних корпусах першого ефекту – ІС (поз. 8), потім – ІВ і остаточно – ІА. В міжтрубному просторі цих трьох корпусів знаходиться водяна пара.

Дуже ефективно в корпусах першого ефекту спроектований рух сушильного агента, який, по суті, є зустрічним відносно напрямку руху матеріалу, що сохне. Найсвіжійший сушильний агент (з вологовмістом близько 270 г вологи на 1 кг сухого повітря*) подається ра-



діальним вентилятором (17) в корпус ІА, де зустрічається з вже достатньо підсушеним торфом і успішно поглинає з останнього частину вологи. Відокремившись від торфу в циклоні (14), дещо зволожений сушильний агент (орієнтовно $330 \text{ г вологи/кг сух. пов.}$) подається в нижню частину сушильного корпусу ІВ, де підхоплює ще досить вологий торф, який перед цим пройшов сушіння в корпусі ІС. Спільно пройшовши по трубах корпус ІВ, аеросуміш розділяється в циклоні 12 і сушильний агент, який на цей момент вже помітно наситився вологою (приблизно до $500 \text{ г вологи/кг сух. пов.*}$), спрямовується в корпус ІС і видаляє частину води з доволі ще вологого торфу, який пройшов сушіння лише в водяних корпусах другого ефекту ІВ та ІА (відповідно поз.2 та 5 на рис. 5.1).

Особливістю сушильної установки Пеко є використання теплоти сокової пари для технологічних цілей, конкретно – для обігріву двох корпусів ІІ ефекту: корпуси ІІВ та ІІА працюють на утилізованій теплоті. Утилізація теплоти вологого сушильного агента, що виходить з парових корпусів (І ефекту), здійснюється в скрубєрі – теплообмінному і пилоочисному апараті, в якому насичене вологою й запилене повітря промивається водою (рис.5.3). Ця вода, контактуючи з відпрацьованим сушильним агентом, нагрівається, але безпосередньо не використовується як теплоносії для сушарок через її забрудненість та хімічну агресивність. Вона подається до теплообмінника (рис.5.4), де відбувається передавання тепла чистій воді, що циркулює між теплообмінником і корпусами ІІВ та ІІА.

Конструктивно теплообмінник виконаний у вигляді п'яти поєднаних бойлерів, послідовно з'єднаних між собою. Корпус кожного бойлера являє собою трубу довжиною $6,5 \text{ м}$ з внутрішнім діаметром 259 мм при товщині стінки 4 мм . По краях бойлери мають з'єднувальні голівки діаметром 480 мм . Всередині розташовані сім труб діаметром $76/70 \text{ мм}$, які ввальцьовані в торцеві трубні дошки бойлера. По цих внутрішніх трубах циркулює брудна, нагріта в скрубєрі шламова вода. Чиста вода рухається в протилежному напрямку по великих трубах, звідки подається до корпусів другого ефекту, маючи температуру $55 - 70^\circ\text{C}$.

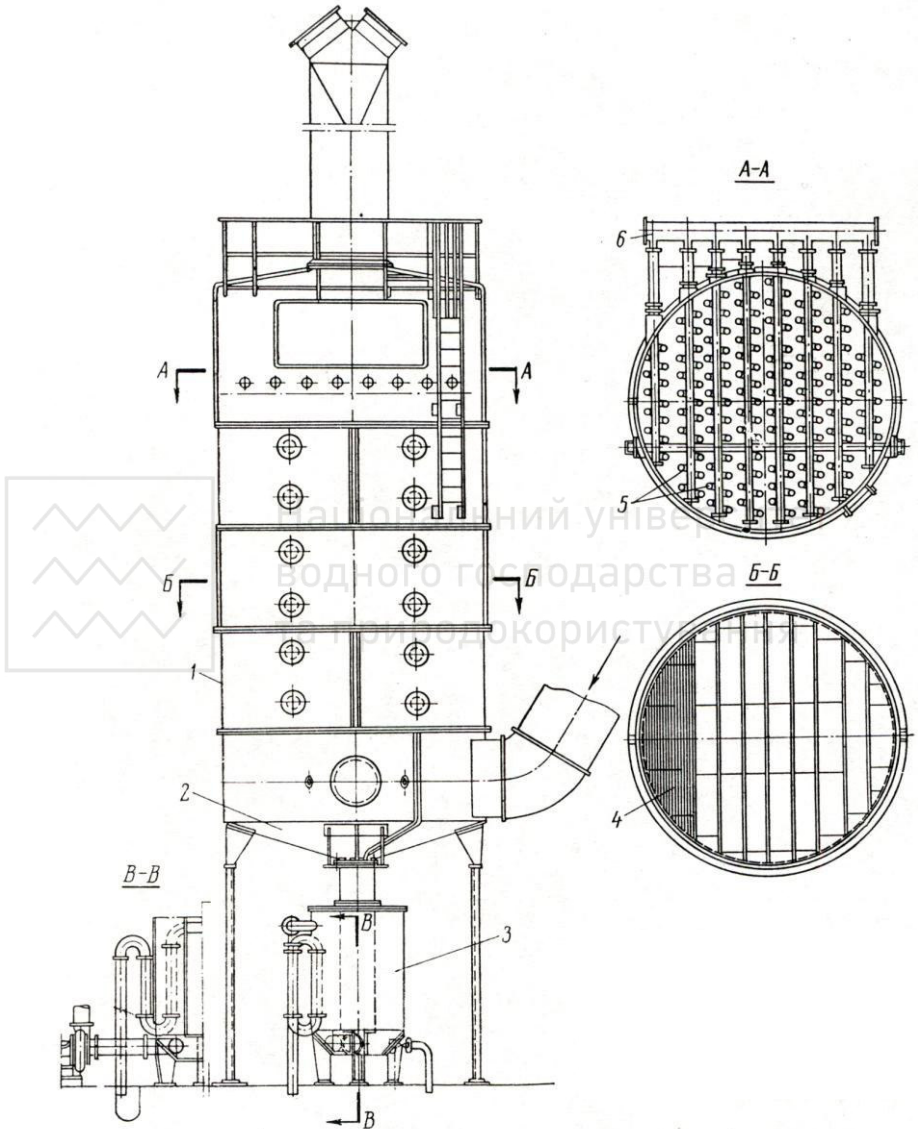


Рис. 5.3. Циліндричний скрублер:

- 1 – корпус; 2 – воронка; 3 – гідравлічний затвор; 4 – насадки;
5 – форсунки; 6 – трубопровід для шламової води

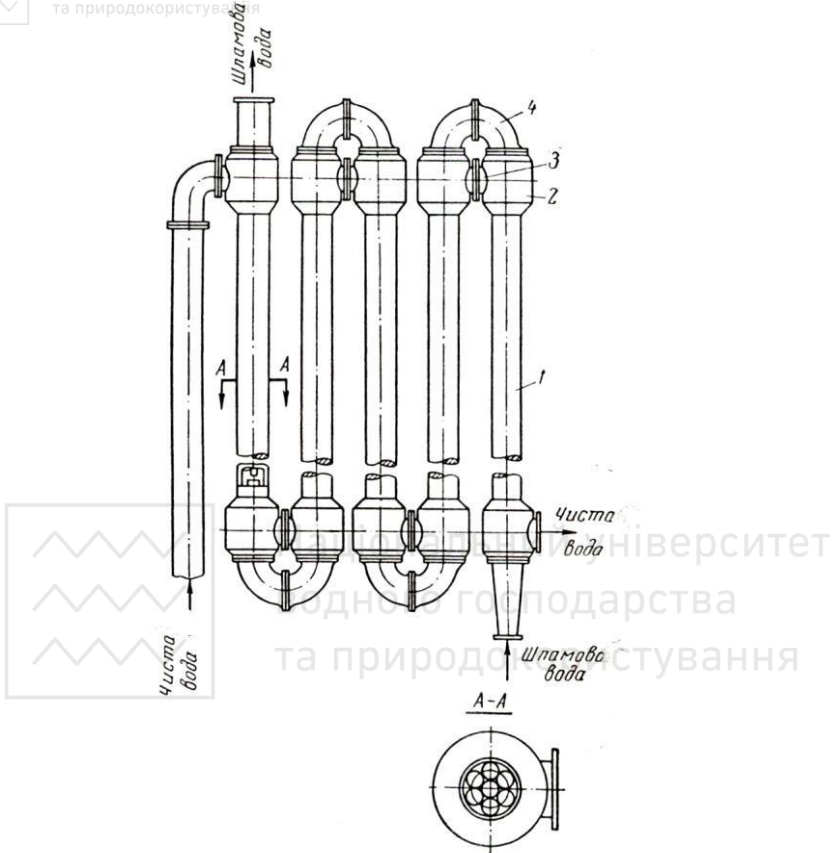


Рис. 5.4. Теплообмінник:

1 – корпус бойлера; 2 – з'єднувальна головка; 3 – бічний фланцевий патрубок;
4 – чавунні водопровідні відводи

Для забезпечення циркуляції води через теплообмінник та приєднані до нього апарати використовуються відцентрові насоси, які мають продуктивність $300 \text{ м}^3/\text{год}$. і створюють тиск 300 кПа при частоті обертання 1470 об./хв . Дослідження, проведені свого часу на пневмопароводяній сушильній установці торфозаводу „Тоотсі” (Естонія) показали, що к.к.д. теплообмінника становить близько 78% [6, с. 182, 185].



Пневмопароводяні сушарки Пеко успішно експлуатувались в Україні протягом кінця 40-х – 80-х років ХХ сторіччя. В умовах низьких тарифів на електроенергію в державній мережі практично всі торфобрикетні заводи, оснащені сушарками цього типу, відмовились від власного виробництва електроенергії як першого етапу використання енергії водяної пари. Це знизило коефіцієнт використання палива, але за часів планово-адміністративної економіки жодним чином не позначилось на економічних показниках діяльності торфобрикетних заводів. Не надто високі вимоги щодо забруднення довкілля стимулювали ще одне „спрощення” технологічної схеми: замкнена система циркуляції сушильного агента була замінена на розімкнену, при якій охолоджене в скрубєрі повітря не подається через калорифер до вентилятора, а викидається в атмосферу.

Перехід до ринкової економіки, що розпочався в 90-х роках ХХ ст., відмова від дотацій для ТБЗ, значне зростання тарифів на електроенергію поставили пневмопароводяні сушарки у невідгідне положення: значні питомі витрати електроенергії на сушіння торфу, віднесені до 1 кг випаруваної вологи ($30\div 40 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$) [3, с. 101], висока металоємність, а також значні капітальні затрати на будівництво, високі експлуатаційні витрати вступили в протиріччя з економічними реаліями. Зазначені чинники, а також виснаження сировинних баз (Замглайський та Бучманський ТБЗ) призвели до ліквідації торфобрикетних заводів з пневмопароводяними сушильними установками. На Озерянському заводі замість сушарок системи Пеко була встановлена пневмогазова шахтномлинна сушарка.

Слід зазначити, що при всіх вказаних недоліках сушарки Пеко містять грамотні інженерні рішення, які й сьогодні виглядають сучасними та актуальними, насамперед, з позицій створення енергозберігаючих технологій та підвищення якості продукції. Повернення до генерування власної електричної енергії, здійснене на декількох торфобрикетних заводах республіки Білорусь, суттєво покращило показники рентабельності виробництва. Ефективно працюють торфобрикетні заводи з сушарками Пеко також в Ірландії.

5.2. Пневмогазові сушарки

Метод безкалориферного сушіння матеріалів димовими газами був запропонований ще 1872 року інженером-поручиком М.П. Булигіним.



З тих пір ця ідея знайшла реалізацію в декількох конструкціях сушильних установок, які являють собою результати логічного розвитку цих технічних систем у напрямку їх удосконалення.

При всіх конструктивних відмінностях, які стали наслідками удосконалень, для всіх сушарок, що відносяться до класу пневмогазових, залишається спільним наступне: димові гази виконують роль транспортуючого засобу, є теплоносієм, який передає тепло матеріалу, що сохне, і сушильним агентом, який поглинає випарувану вологу.

Розглянемо конструкції пневмогазових сушарок і їх еволюцію.

Пневмогазові труби-сушарки. Це найпростіший сушильний пристрій (рис.5.5), який складається з наступних елементів:

- 1 – бункер сировини;
- 2 – шнек-живильник;
- 3- труба-сушарка; 4 та 5 – сухі пилоосаджуючі апарати;
- 6 – вентилятор;
- 7 - затвори-живильники;
- 8 – „блیمалка”; 9 – топка.

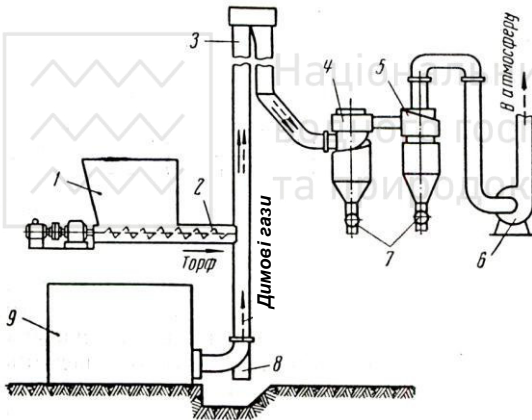


Рис.5.5. Схема пневмогазової труби-сушарки

Вся сушильна система працює під розрідженням. В подальшому, з метою підвищення продуктивності сушарки, діаметр труби збільшили, однак і сьогодні він не перевищує 1,1 м. Конкретне значення діаметра труби-сушарки залежить від її необхідної продуктивності: якщо продуктивність сушарки по випаруваній волозі становить W кг/год., а питомі витрати сухих газів на випаровування 1 кг вологи складають l кг/кг, то витрати сухих газів становитимуть

$$L = l W, \text{ кг/год.} \quad (5.1)$$



При густині димових газів ρ $\text{кг}/\text{м}^3$ їх об'єм дорівнює

$$V = \frac{L}{\rho}, \text{ м}^3 / \text{год.} \quad (5.2)$$

Оскільки, з другого боку,

$$V = 3600 \cdot v_{\Gamma} \cdot \frac{\pi D^2}{4}, \text{ м}^3 / \text{год.}, \quad (5.3)$$

де v_{Γ} – швидкість димових газів на вході до сушарки (залежить від швидкості витання частинок торффу, перевищує її в 1,3 – 1,4 рази і становить до 40-50 $\text{м}/\text{с}$); D – діаметр труби, м . З рівняння (5.3)

$$D = \sqrt{\frac{V}{900\pi v_{\Gamma}}} = 0,0188 \sqrt{\frac{V}{v_{\Gamma}}}, \text{ м} \quad (5.4)$$

Робоча довжина труби-сушарки розраховується через напруження одиниці об'єму сушильного простору по волозі, тобто

$$L_p = \frac{W}{A \cdot F_{TP}} = \frac{4 \cdot W}{A \cdot \pi \cdot D^2} = 1,274 \frac{W}{A \cdot D^2}, \text{ м}, \quad (5.5)$$

де W – продуктивність сушарки по випаруваній волозі, $\text{кг}/\text{год.}$; A – напруження об'єму сушарки по випаруваній волозі, яке, згідно з нормами технологічного проектування, рекомендується приймати $250 \text{ кг}/\text{м}^3 \cdot \text{год.}$ (при таких значеннях головних параметрів сушильного процесу: $t_1 = 500 - 700^\circ\text{C}$, $t_2 = 90^\circ\text{C}$, $w_1 = 50\%$, $w_2 = 12\%$, $g_1 = 20^\circ\text{C}$ (влітку), $g_1 = -10^\circ\text{C}$ (взимку), $g_2 = 70^\circ\text{C}$, $v_{\Gamma} = 30 \text{ м}/\text{с}$).

Тривалість знаходження частинки матеріалу в сушарці не перевищує однієї секунди. Крупні частинки за цей час нерідко не встигають висохнути до нормативної вологості, а дрібні – пересушуються. Це призводить до значної різниці у вологості частинок (так звана вологорізниця), що утворюють продукт, який називається сушонкою. Висушений торф зі значною вологорізницею частинок не забезпечує належної міцності брикетів. Це пояснюється тим, що брикети нормальної міцності формуються при температурі матричного інструменту $420 \div 470 \text{ К}$ [3, с.147], що відповідає $147 \div 197^\circ\text{C}$. І хоча температура власне торффу в матричному каналі преса приблизно на 100°C нижча, за таких умов волога, що залишилася в крупних частинках матеріалу,



інтенсивно випаровується, утворюючи мікрошпаринки, які в подальшому й стають джерелами руйнування брикету. Якщо сушильна установка системи Пеко, завдяки тривалому режиму сушіння і зустрічному руху сушильного агента, забезпечує вологорізницю в межах $2\div 3\%$ [3, с.103], то при використанні пневмогазових трубсушарок цей показник може перевищувати 9% [6, с.193]. Якраз остання обставина спонукала спеціалістів до удосконалення процесу сушіння і створення пневмогазової сушарки з мелючим вентилятором.

Пневмогазові сушильні установки з мелючим вентилятором були створені з метою покращання якості сушіння торфу, зменшення вологорізниці частинок висушеного торфу. Ідея полягала в наступному (рис. 5.6): фрезерний торф за допомогою роторно-гвинтового живильника *1* подається з бункера сировини *2* до труби-сушарки *3* і підхоплюється димовими газами, які утворюються в топці *9*. Переважна частина вологи випаровується в перших двох вітках сушарки, але, через підвищену вологість крупних частинок вологорізниця сушонки сягає $8\div 10\%$. У мелючому вентиляторі *8* відбувається подрібнення частинок торфу, оновлення поверхонь випаровування, завдяки чому видаляється ще $10\div 15\%$ вологи.

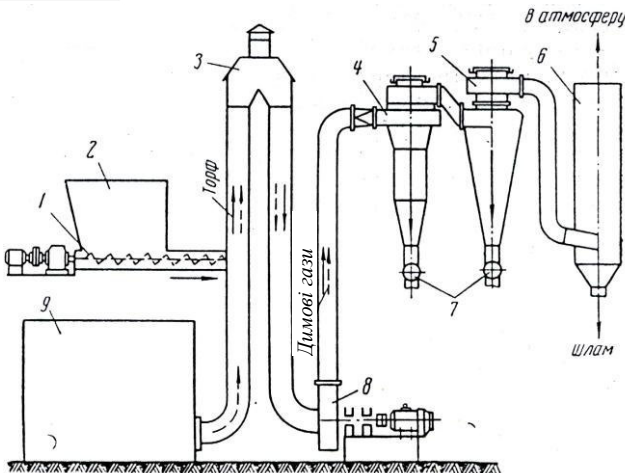


Рис. 5.6. Пневмогазова сушарка з мелючим вентилятором



Торфогозова суміш через третю вітку сушарки подається до циклонів першого (4) та другого (5) ступенів очищення, після чого близько 97% вловленої в названих циклонах торфової сушонки [3, с.105] через затвори-живильники 7 подається на пресування, а решта 3% висушеного торфу (переважно – пилоподібна фракція) вловлюється відцентровим скрубром 6.

Оцінка ефективності встановлення мелючого вентилятора неоднозначна. З одного боку, вже насичені водяною парою димові гази в мелючому вентиляторі і в третій вітці вбирають в себе у 18 разів менше вологи, ніж в перших двох вітках [6, с.200]. З іншої сторони, в мелючому вентиляторі, внаслідок подрібнення торфу, спостерігається зменшення вологорізності частинок з $8\div 10$ до $2\div 2,5\%$ [3, с.112], що сприяє зростанню міцності торфобрикету.

Суцільний помел торфу веде до невиправданих витрат енергії на подрібнення й маленьких частинок, викликає підвищене зношування деталей вентилятора, які (наприклад, деталі ротора) доводиться відновлювати щомісяця, або й частіше. Аналізуючи схему сушарки (див. рис. 5.6), варто звернути увагу також на те, що її третя вітка і вся система пилогазоочищення працюють не під розрідженням, а під тиском, що збільшує вибухонебезпечність експлуатації установки.

Перелічені чинники стали причиною поступової відмови від застосування пневмогазових сушарок з мелючим вентилятором на торфобрикетних заводах України. На тих заводах, де ці сушарки були передбачені проектом (приміром, Моквинський ТБЗ у Рівненській обл. та ін.), вони з часом були замінені на шахтномлинні. Найдовше пневмогазова сушарка з мелючим вентилятором працювала на Ірдинському (Черкаська обл.) торфобрикетному заводі.

Пневмогазові сушильні установки з шахтним млином скорочено ще називають шахтномлинними сушарками. В основу їх конструкції покладена відома ідея поєднання сушіння з розмелом матеріалу, яка добре апробована при виробництві цементу, алебастру, а також в енергетиці при підготовці палив до спалювання в пилоподібному стані. Однак застосування цього принципу для сушіння торфу надало процесу нову якість і помітні відмінності від сушіння в інших, попередньо вже розглянутих, пневмогазових сушарках.

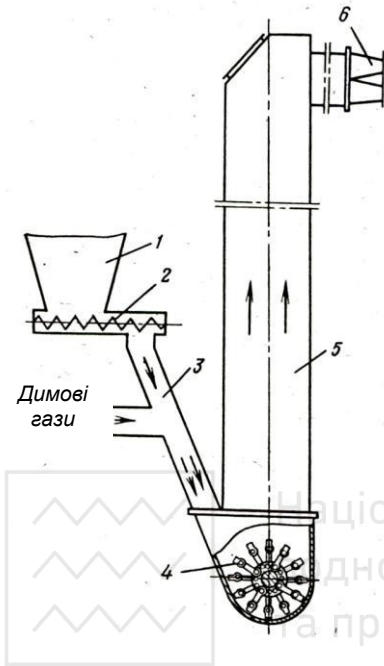


Рис. 5.7. Шахтномлинна сушарка

Фрезерний торф з бункера (1) подається шнековим живильником (2) у підсушуючий рукав (3), де змішується з димовими газами і спрямовується до млина (4), що розташований в нижній частині установки. Дрібні і відносно сухі частинки торфу, швидкість витання яких невелика, ще в підсушуючому рукаві стають складовою частиною торфогазової суміші, яка, майже не затримуючись в шахтному млині, рухається через сепараційну шахту (5) до газоходу (6).

У підсушуючому рукаві (3) випаровується 35÷50%, а в шахтному млині – 45÷60% від всієї кількості вологи, що випаровується в сушарці. На шахту припадає лише близько 5% випарованої вологи, і це пояснюється декількома причинами.

По-перше, найсвіжіший сушильний агент з найвищим потенціалом водовбирності і з температурою до 1000°C ще в підсушуючому рукаві ефективно видаляє вологу, майже повністю висушуючи торф дрібної фракції й суттєво підсушуючи крупніші частинки. Останні, висока швидкість витання яких не дозволяє їм рухатись у складі торфогазової суміші, затримуються в шахтному млині й піддаються подрібненню та додатковому сушінню. Віддавши надлишок вологи і суттєво втративши вагу, частинки виносяться газовим потоком у шахту, яка є своєрідним сепаратором, що відокремлює сухі частинки від вологих. Тому нерідко шахту називають сепараційною і такою, що виконує роль класифікатора. Шахта являє собою короб прямокутного перерізу, висотою 4 м, виготовлений з листової сталі товщиною 5÷6 мм. Розміри поперечного перерізу встановлюються залежно від продуктивності сушарки і мають забезпечувати

швидкість газового потоку в шахті 4 м/с. Сепараційна шахта встановлюється вертикально на корпус шахтного млина.

Шахтний млин (рис. 5.8) – це молоткова дробарка, пристосована для роботи в умовах високої температури, яку несуть димові гази (підшипники б охолоджуються).

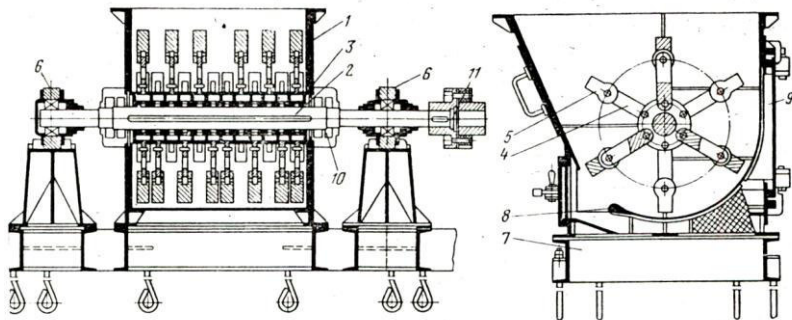


Рис. 5.8. Шахтний млин:

1 – корпус; 2 – вал; 3 – диск; 4 – билотримач; 5 – било; 6 – підшипник; 7 – рама; 8 – броня; 9 – люк; 10 – охолоджувальна камера; 11 – муфта

Внутрішня поверхня корпуса млина футерована броньовими плитами. Технічна характеристика шахтних млинів наведена в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Технічна характеристика шахтних млинів [5, с.494]

Показники	Типорозмір млинів		
	ШМТ1000/470	ШМТ1000/707	ШМТ1000/944
Ротор:			
діаметр, мм	1000	1000	1000
довжина, мм	470	707	944
площа активного перерізу, м ²	0,47	0,707	0,944
частота обертання, с ⁻¹	16,25	16,25	16,25
кількість бил, шт.	24	33	42
Номінальна продуктивність по вхідному торфу, т/год.	4,2	6,2	8,3
Споживана потужність, при встановленні 50% бил, кВт	10,5	15,7	21
Питомі витрати електроенергії, кВт·год./т	2,52	2,53	2,53
Маса без електродвигуна, т	3,4	3,8	4,2



Типова технологічна схема торфобрикетного заводу з шахтно-млинною сушаркою показана на рис. 5.9.

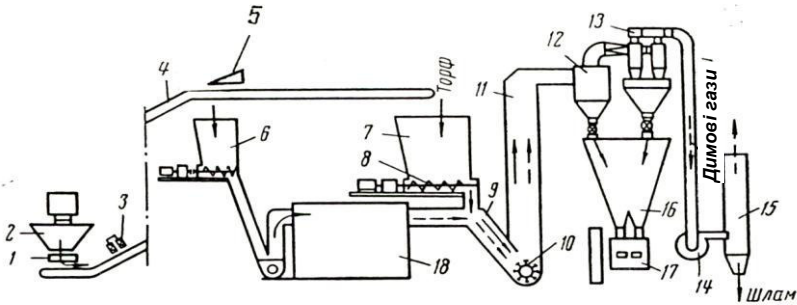


Рис. 5.9. Технологічна схема торфобрикетного заводу з шахтно-млинною сушаркою:

1 – живильник; 2 – бункер сировини; 3 – магнітний сепаратор; 4 – стрічковий конвеєр; 5 – плужковий скидач; 6 – бункер топки; 7 – бункер сушарки; 8 – шнекодозатор; 9 – підсушуючий рукав; 10 – шахтний млин; 11 – сепараційна шахта; 12 – перший ступінь сухого очищення; 13 – другий ступінь сухого очищення; 14 – вентилятор; 15 – скрубєр; 16 – бункер преса; 17 – торфобрикетний прес; 18 – топка

Фрезерний торф підвозиться на завод залізницею вузької колії (750 мм) у вагонах ТСВ-6, ТСВ-6А, або безрейковим транспортом – тракторними причепами чи автомобілями – і висипається в бункер. Живильником (1) торф з бункера (2) подається на стрічковий конвеєр (4), проходить під магнітним сепаратором (3), який звільняє торф від випадкових металевих предметів, і плужковим скидачем (5) розділяється на два потоки. Менша частка торфу спрямовується у бункер топки (18) і спалюється в ній, утворюючи димові гази. Більша частка торфу подається в бункер сушарки (7) і потрапляє в підсушуючий рукав, де зустрічається з димовими газами. Бункер топки і бункер сушарки оснащені живильниками гвинтового типу (шнеками), які забезпечують достатню герметичність системи і унеможливають підсмоктування повітря через живильники. Після проходження сушильного тракту висушений торф осаджується в циклонах (12, 13) і через спеціальні затвори, які призначені для подавання осадженого матеріалу при збереженні герметичності, зсипається в бункер преса (16) чи на розпо-



дільчий транспортер, якщо пресів декілька. Знепилювання відпрацьованих газів здійснюється в скрубєрі (15), що встановлений за радіальним вентилятором (14) і працює під тиском. В сушильному тракті заводу потужністю 30 тис. т на рік використовується вентилятор типу ВМ-40/760-ІІу продуктивністю 22 тис. м³/год. з напором 4410 Па.

Використання шахтномлинних сушарок дозволило максимально спростити технологію виробництва при збереження достатньо високої якості сушіння (вологорізниця - $2\div 4\%$ [6, с.204]) і прийнятній собівартості продукції.

Шахтномлинна сушарка виконує одночасно декілька функцій: сушіння, розмелювання і класифікацію матеріалу. Важливо те, що розмел здійснюється в процесі сушіння: це сприяє інтенсифікації тепло- і масообміну. Простота конструкції та експлуатації, порівняно невисока вартість, малі габарити сушарки, невеликі розміри виробничих приміщень – ці фактори також сприяли тому, що даний тип сушарок став провідним в Україні. Можна очікувати, що впровадження теплогенераторів замість технологічних топків (інформація про них буде надана в одному з наступних розділів) ще зміцнить лідируючу позицію заводів з шахтномлинними сушарками.

Пневмосепараційна сушарка являє собою подальше удосконалення пневмогазових сушарок. Поки що жодний торфобрикетний завод не оснащувався сушарками даного типу, і говорити про їх ефективність можна лише на підставі умоглядних висновків і результатів випробовування дослідного зразка на Московському філіалі ВНИИТП [5, с.490-493]. Тим не менше, сама ідея відокремлення (сепарації) некондиційних за вологістю частинок від загального потоку висушеного торфу та засоби реалізації цієї ідеї виглядають досить переконливими і не можуть не зацікавити.

Пневмосепараційна сушарка (рис. 5.10) також не потребує ретельної підготовки сировини (подрібнення і просіювання). Вона оснащена пневматичним сепаратором (рис. 5.11), який розділяє потік торфу на дві частини. Одна частина потоку складається з дрібних та сухих фракцій висушеного торфу і спрямовується на брикетування. Друга частина складається з підсушених найбільш крупних фракцій торфу і використовується як паливо в технологічній топці.

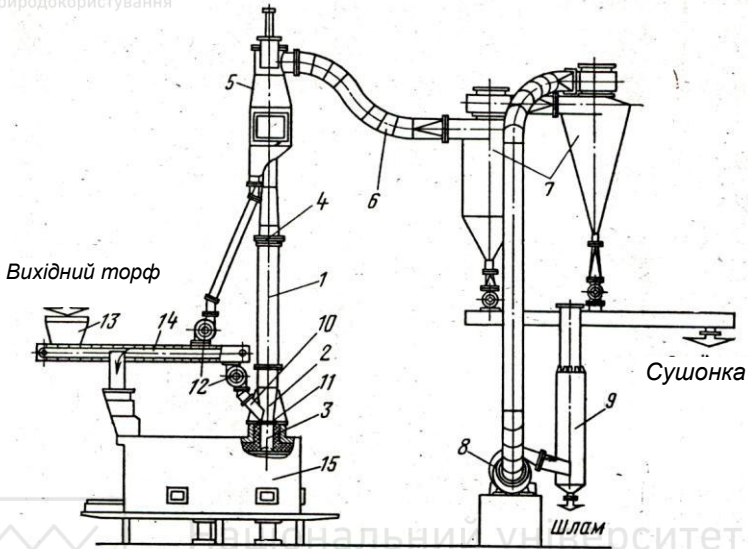


Рис. 5.10. Пневмосепараційна сушильна установка.

1 – труба-сушарка; 2 – розгінна ділянка; 3 – цоколь; 4 – компенсатор; 5 – пневматичний сепаратор; 6 – газохід; 7 – циклони I та II ступенів очищення; 8 – димосмок-вентилятор; 9 – скрубєр; 10 – завантажувальний рукав; 11 – шибер; 12 – шлюзовий живильник; 13 – бункер; 14 – скребковий живильник; 15 – топка

Сушарка працює в комплекті з топкою (15) системи Татищева (див. розділ 7 цієї книги) й встановлюється над її камерою опалювання на цоколі (3) висотою 1 м (див. рис. 5.10). Теплоносій і сушильний агент – димові гази з температурою близько 1000°C (1273 K). Продуктивність по випаруваній волозі – приблизно $4,35\text{ т/год}$.

Труба-сушарка має діаметр 700 мм і повинна виготовлятися з листової сталі товщиною 5 мм. Довжина труби становить 9,5 м. Розгінна ділянка (2) довжиною 1500 мм конусоподібна: діаметр знизу – 600 мм, зверху – 700 мм.

Торф подається до сушарки з бункера (13) нижньою віткою двохярусного скребкового конвеєра (14). Закидання торфу в трубу-сушарку здійснюється за допомогою відцентрового закидача – різновиду шлюзового живильника (12), який забезпечує введення матеріалу назустріч газовому потоку, що збільшує час перебування

торфу в зоні з найбільш високою температурою і сприяє поглибленню сушіння.

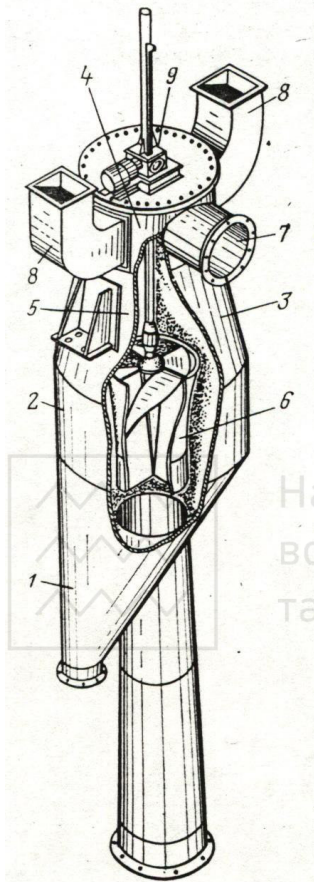


Рис. 5.11. Пневматичний сепаратор

Пройшовши через трубу-сушарку, торфогозова суміш надходить до пневматичного сепаратора (див. рис. 5.11), де зустрічається з відцентровим імпактором (6). Криволінійні лопатки змінюють напрям руху потоку, закручуючи його. На виході з імпактора торфогозовий потік потрапляє в порівняно простору конусоподібну частину корпусу (3) і втрачає швидкість. Найкрупніші і найважчі частинки торфу та деревних включень відокремлюються від потоку і падають у нижню конусну частину корпусу сепаратора (1), звідки за допомогою шлюзового затвору (12, рис. 5.10) верхньою віткою конвеєра (14) подаються в топку.

Решта частинок торфу (дрібніших і сухіших) через патрубок (7) спрямовується в систему пило-газоочищення, осаджуються в циклонах і йдуть на брикетування. Торфогозова суміш транспортується по сушильному тракту димосмоком-вентилятором ВВСМ-2у, встановленим перед скруббером ВТИ, який здійснює мокре очищення газів. За даними розробника, вологірність частинок не перевищує 3%.

Вибухобезпечність роботи пневмосепараційної сушарки забезпечується автоматичною системою протиаварійного вприскування води в трубу сушарки (рис. 5.12). Такі системи можуть використовуватись для попередження аварій на всіх різновидах пневмогазових сушарок.

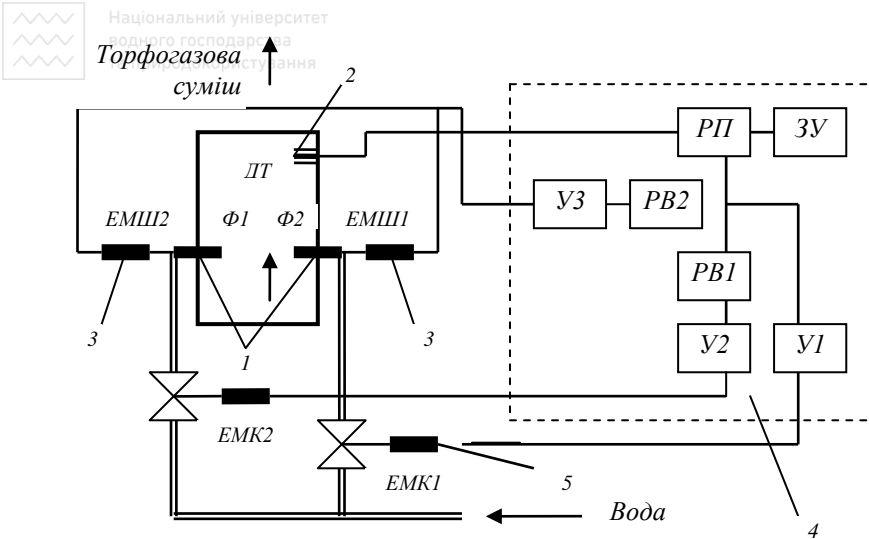


Рис. 5.12. Схема системи протиаварійного вприскування води в сушарку: 1 – форсунок $\Phi 1$ та $\Phi 2$; 2 – датчик температури ДТ; 3 – електромагнітні форсунок ЕМШ; 4 – регулюючий прилад РП; 5 – електромагнітний клапан ЕМК

Пневмосепараційну сушарку можна розглядати як перспективний сушильний апарат для торфобрикетного заводу потужністю 30 тис. т брикету на рік.

Парові трубчасті сушарки (їх ще називають сушарками „Цемаг” – за назвою німецької фірми-виробника) широко застосовуються в буровугільній брикетній промисловості, для сушіння вугілля на електростанціях та в хімічній промисловості для сушіння порошкоподібних матеріалів. В принципі, вони придатні й для сушіння торфу, однак насипна густина останнього не повинна бути меншою 250 кг/м^3 (див. табл. 2.6).

Парова трубчаста сушарка (рис. 5.13) являє собою барабан, який встановлений під кутом 10° до горизонту і обертається на цапфах. Всередині барабана, поздовж його осі, встановлені циліндричні трубки діаметром 100/108 мм. Кількість трубок залежить від діаметра барабана. Для сушіння фрезерного торфу найбільш прийнятними вважаються три типорозміри сушарок (табл. 5.2)

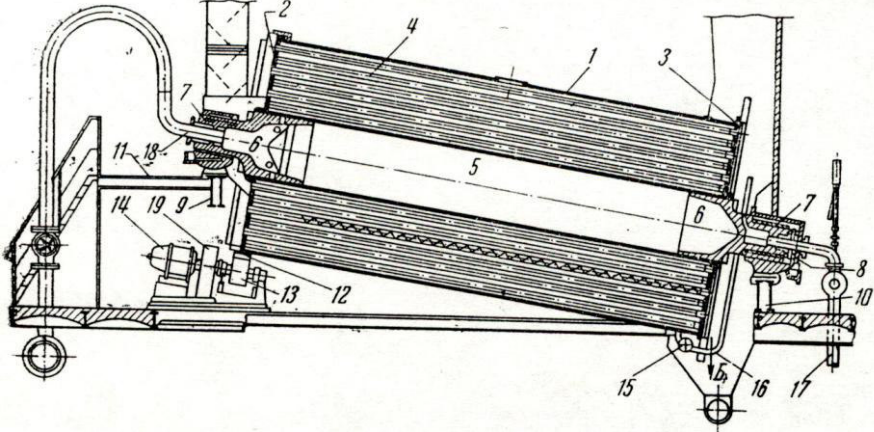


Рис. 5.13. Парова трубчаста сушарка (поздовжній розріз):

1 – корпус; 2 і 3 – трубні решітки; 4 – трубки; 5 – центральна труба; 6 – передня та задня цапфи; 7 – підшипники; 8 – упорний підшипник; 9, 10, 11 – опорні конструкції; 12 – зубчастий вінець; 13 – шестерня; 14 – електродвигун; 15 – конденсатозбірник; 16 – трубка для відведення конденсату до нижньої цапфи; 17 – трубопровід для відведення конденсату від цапфи; 18 – підвідний паропровід; 19 – редуктор; А – вхід торфу; В – вихід сушонки

Таблиця 5.2

Основні характеристики парових трубчастих сушарок [6, с. 151]

Найменування	Показники сушарок		
	I	II	III
Поверхня нагріву, m^2	1180	1820	2220
Діаметр барабана, m	3,15	3,75	4,0
Довжина барабана, m	8	8	8
Кількість трубок, $шт.$	468	720	890
Діаметр трубок, внутр./зовн., mm	100/108	100/108	100/108
Маса сушарки, t	65	100	120
Потужність встановленого електродвигуна, kWt	20,5	26	26

Залежно від вологості та щільності торфу, що піддається сушінню, швидкість обертання барабана регулюється в межах 4÷12 об./хв. Чим вище вологість і менше щільність, тим нижче частота обертання.



Регулювання (див. рис. 5.13) здійснюється шляхом зміни обер-тів електродвигуна (14) постійного струму або багатшвидкісного асинхронного електродвигуна, який через редуктор (19) обертає шестерню (13), що перебуває у зачепленні із зубчастим вінцем (12).

Суша насичена пара подається з котельної по паропроводу (18) через пустотілу цапфу (6) під тиском до 5 *ата* (0,5 МПа) в центральну трубу (5), яка має отвори для проходження пари в міжтрубний простір сушарки. Потрапивши в барабан, водяна пара віддає тепло трубкам, по яких рухається торф, і конденсується. Конденсат стікає в нижню частину барабана, звідки за допомогою трьох *U*-подібних трубок (один кінець яких введений в міжтрубний простір, а протилежний – у задню цапфу), направляється в конденсатопровід (17) і в збірний бак.

Завантаження сушарки торфом здійснюється неперервно за допомогою завантажувальних рукавів та полиць. Матеріал подається з бункера на полиці і зслизає з них в трубки сушарки, після чого просувається ними до вивантажувальної камери. Оскільки трубки розташовані на різній відстані від осі обертання барабана, вони природно, мають різну швидкість: вона зростає від центру до периферії. Відповідно й швидкість просування торфу неоднакова: в трубках, розташованих ближче до центра, вона менша, і торф сохне довше, ніж в периферійних трубках, де швидкість просування більша. По-різному рухаються всередині трубки й частинки різного розміру: крупні проходять швидше, ніж малі. Все перелічене веде до нерівномірного сушіння матеріалу, збільшує вологорізницю частинок і негативно впливає на якість брикетів.

Сушильним агентом є повітря, яке береться з приміщення і переміщується по трубках сушарки паралельно з матеріалом. Відпрацьований сушильний агент потребує очищення через забрудненість дрібною фракцією торфу, яка уноситься повітрям в процесі сушіння.

В Україні були побудовані два торфобрикетних заводи з паровими трубчастими сушарками: «Кремінне» (введений в експлуатацію наприкінці 1973 р.) та «Сойне» (травень 1983 р.). Останній успішно працює протягом багатьох років, однак симптоматичним є те, що на підприємстві виконаний комплекс робіт, що дозволяє, при потребі, швидко ввести в дію сушарку іншого типу: просту, дешеву й невибагливу в експлуатації шахтномлину.



6. ПРЕСУВАННЯ ТОРФУ

Пресування висушеного в сушильних установках фрезерного торфу (сушонки) здійснюється без додавання в'язучих речовин. Існували декілька гіпотез (бітумна, капілярна, колоїдна, гуміновокислотна та молекулярна), які по-різному пояснювали властивість торфу перетворюватись у брикети лише під дією тиску. Найбільш ранньою та умоглядно “очевидною” була бітумна гіпотеза, за якою утворення брикетів пояснювалося тим, що під дією тиску й температури в матричному каналі преса з торфу виділяються бітуми, які “склеюють” між собою частинки матеріалу. Однак після того, як доволі міцні брикети були одержані з торфу, в якому бітумів практично не було (вони були видалені з нього шляхом екстракції), ця гіпотеза втратила переконливість.

Певні проблеми виникають також при спробах застосування інших гіпотез. Так, приміром, капілярна гіпотеза, яка відводить воді капілярів провідну роль в утворенні сил зв'язку між частинками, не може пояснити одержання брикетів з пересушеного торфу, коли води капілярів явно недостатньо. Колоїдна гіпотеза була висунута як додаток до капілярної та гуміново-кислотної. Остання фактично була спростована після того, як міцні брикети були виготовлені з торфу, з якого попередньо видалили гумінові кислоти. Найбільш повною, теоретично обґрунтованою й підтвердженою експериментально є запропонована проф. В.М. Наумовичем молекулярна гіпотеза брикетування торфу, заснована на термодинамічній теорії прилипання. За цією гіпотезою величина сил молекулярної взаємодії залежить переважно від природи й величини контактуючих поверхонь частинок матеріалу. Цікаво те, що вологовміст, тиск пресування, швидкість деформації та температура розглядаються як чинники, які мають опосередкований вплив на формування сил зчеплення частинок. Певною мірою ця опосередкованість підтверджується тим, що брикети отримують в різних пресах з різними ж значеннями вказаних параметрів. З іншої сторони, цей факт показує, що шлях до розуміння процесу пресування на можна вважати завершеним.

Розглянемо вплив найбільш важливих і детально досліджених чинників – води і повітря, що містяться в торфі, на процес пресування останнього.



6.1. Вплив води і повітря, що містяться в торфі, на процес його пресування

В розділі 2.3 цієї книги показаний негативний вплив вологості торфу на теплоту згорання цього палива. Однак це зовсім не означає, що в процесі штучного сушіння торфу ми повинні прагнути до його повного висушування. Справа в тому, що торфобрикет, залежно від температури та відносної вологості повітря, в процесі зберігання може зменшувати або й збільшувати свою вологість, прагнучи до досягнення її рівноважного значення. Зрозуміло, що здійснювати штучне сушіння торфу до значень вологості, які менше рівноважної, недоцільно, оскільки використання продукції (брикетів) здебільшого відбувається після певного строку їх зберігання, тобто – після досягнення ними вологості, близької до рівноважної. В межах вологості 12÷16% зміною маси брикетів, зумовленою процесами сорбції та десорбції вологи з повітря (тобто – зволоженням чи підсиханням брикетів) практично можна знехтувати [1, с.182]. Через це встановлену ДСТУ 2042-92 гранично допустиму вологість брикету торфового паливного в розмірі 20% можна вважати верхньою межею близького до оптимального значення вологості.

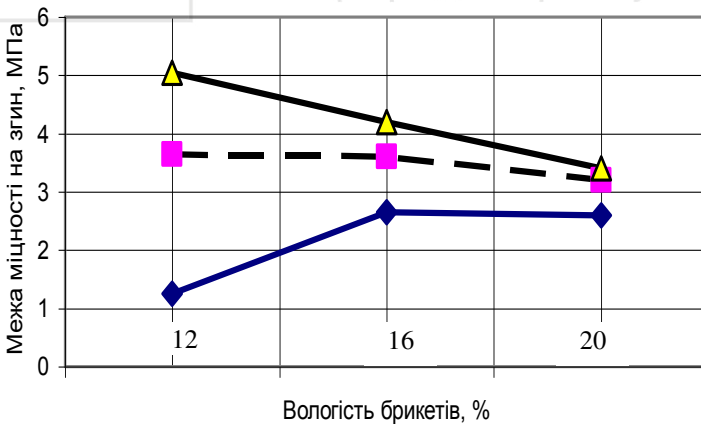


Рис. 6.1. Залежність межі міцності брикету на згин від вологості (торф осоковий, ступінь розкладу 25%, розмір частинок 0 ± 3 мм): Δ – тиск пресування 110 МПа (1100 кг/см^2); \square – тиск пресування 85 МПа (850 кг/см^2); \diamond – тиск пресування 60 МПа (600 кг/см^2)



Побудовані за даними М.Г.Булінка та Є.Є.Петровського [1, с.183] залежності межі міцності брикету на згин від вологості (рис. 6.1) показують, що вплив такого фактору як тиск пресування тим менший, чим більша вологість матеріалу. І з цієї точки зору нормативний граничний показник вологості брикету також можна визнати вдалим. Важливо тільки пам'ятати, що запорукою високої механічної міцності і водостійкості брикету є якнайменша вологорізнця між дрібними і крупними частинками торфу. В умовах, коли в брикеті одночасно знаходяться частинки, здатні сорбувати вологу і такі, пори яких заповнені водою, вологіші частинки створюють дефекти структури брикету, знижуючи цим його механічну міцність.

Сорбована вода відрізняється за властивостями від води звичайної. Вона більше нагадує тверду (квасітверду) речовину. Тому з точки зору фазового стану сушонка є двофазною системою, що складається з полідисперсної твердої речовини і газоподібної фази (повітря) при практичній відсутності рідкої фази (вільної води).

Газоподібна фаза (повітря торфу) також неоднорідна. Крім звичайного повітря, що заповнює пори торфу, в останньому міститься також і сорбоване повітря. Його кількість, при вологості торфу 10÷20%, може перевищувати 25% від загального об'єму повітря, яке заповнює пори та проміжки між частинками. Кількість сорбованого повітря зменшується при зростанні температури і зниженні тиску, але зростає з підвищенням вологості торфу. Цю обставину можна пояснити тим, що молекули сорбованої води здатні самі сорбувати повітря, утворюючи своєрідні вторинні центри сорбції.

Роль повітря при пресуванні торфу розглядається як однозначно негативна. Воно перешкоджає контактам частинок, послаблює сили молекулярної взаємодії. Запресоване в брикети повітря розширюється після зняття тиску і частково руйнує їх структуру. Повітря погіршує умови заповнення камери пресування торфом і цим зменшує продуктивність штемпельного пресу. Наявне у висушеному торфі повітря (в процесі швидкої евакуації з простору перед штемпелем) уносить з собою сушонку. Примусове відведення повітря з прес-форми може дати певний позитивний ефект, але не дає змоги відвести сорбоване повітря оскільки максимальне розрідження повітря в прес-формах не перевищує 5÷7 мм рт. ст. Тим не менш відсмоктування повітря може сприяти не лише зростанню механічної міцності брикетів, а й інтенсифікації їх виробки. Величина оп-

тимального розрідження (вакууму) залежить від вологості матеріалу, що брикетується. В табл. 6.1 наведені експериментальні дані [1, с.180] величини оптимального вакууму при температурі пресування 80°C для торфів різної вологості.

Таблиця 6.1

Вплив вакуумування на міцність брикету

Вологість торфу, %	Оптимальний вакуум, мм рт. ст.	Відносне зростання міцності брикету на згин, %	Вологість торфу, %	Оптимальний вакуум, мм рт. ст.	Відносне зростання міцності брикету на згин, %
Очеретяний торф			Осоковий торф		
0	700	0,4	0	700	2,7
5	500	25,0	5	500	20,0
9	500	36,8	10	300	30,8
15	300	35,8	15	300	25,6
19	300	45,0	20	100	31,2
23	100	51,6	25	100	31,6
27	100	60,0	30	100	55,0

Як видно з даних таблиці, вакуумування процесу пресування сухого торфу не має сенсу. Це пояснюється тим, що з пониженням вологості висушеного торфу кількість сорбованого ним повітря зменшується. Зі зростанням вологості ефективність вакуумування збільшується, а значення оптимального вакууму зменшується.

6.2. Пресування торфу

Пресування торфу здійснюється в штемпельних пресах за принципом пресування матеріалу без жорсткого упору. Сушонка стискається порціями між торцем штемпеля і групою (стрічкою) брикетів у матричному каналі, які створюють рухомий упор. Необхідний для пресування протитиск утворюється за рахунок сил тертя брикетів в каналі і частково – в охолоджувальному лотку. Робочий цикл при цьому складається з чотирьох операцій (рис. 6.2):

- 1) переміщення сушонки із завантажувальної камери в матричний канал;
- 2) пресування;



- 3) проштоухування брикетів по матричному каналу на величину H_2 (товщина брикету);
- 4) заповнення сушонкою об'єму перед штемпелем.

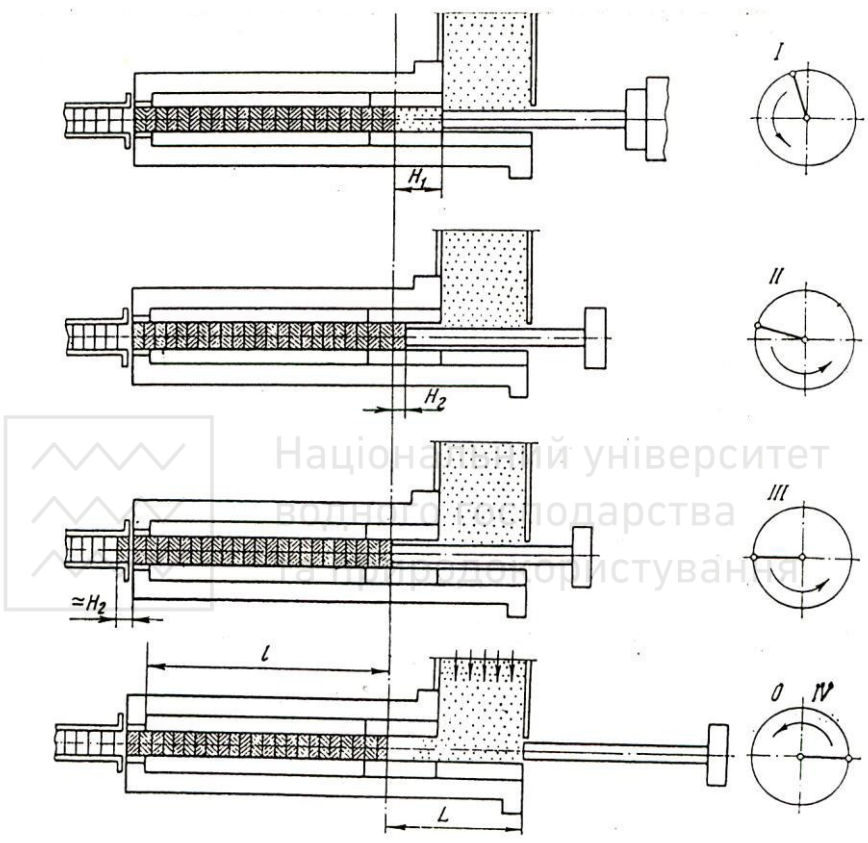


Рис. 6.2. Поопераційна схема роботи брикетного пресу:

I-переміщення сушонки з завантажувальної камери у матричний канал; *II*- пресування; *III*- проштоухування брикетів по матричному каналу на величину H_2 ; *IV*- заповнення сушонкою простору перед штемпелем

Матеріал, що пресується, із сипкого з товщиною H_1 перетворюється в брикет товщиною H_2 . Відношення H_1 до H_2 називається коефіцієнтом ущільнення K_1 матеріалу.



Пресування торфу відбувається на відрізку шляху $H_1 - H_2$ (див. рис. 6.2). Тут переміщення штемпеля супроводжується інтенсивним нарощуванням тиску, який зрівноважується опором брикетів в матричному каналі. Про величину витрат енергії на пресування торфу можна судити по площі діаграми пресування (рис. 6.3), яка обмежена кривою AB , ординатою B_1B і абсцисою B_1A .

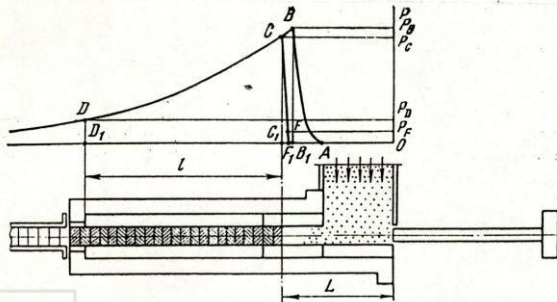


Рис. 6.3. Діаграма пресування

Площа діаграми, обмежена кривою BC , ординатами BB_1 та CC_1 і абсцисою C_1B_1 пропорційна витратам енергії на проштовхування брикетів по матричному каналу і охолоджувальних лотках.

При зворотному ході штемпеля на відрізку C_1F_1 має місце пружне розширення групи брикетів, що знаходяться в матричному каналі. Залишковий тиск в момент відриву штемпеля від поверхні брикету становить $F F_1 = p_F$.

Пульсації тиску діють на брикет протягом всього часу його перебування в матричному каналі. При цьому величина максимального тиску змінюється по кривій CD . Найбільш результативними є перші шість-вісім циклів. По мірі просування брикету по матричному каналу вплив навантажень на міцність брикетів слабшає.

У поздовжньому перерізі розміри матричного каналу рекомендується робити непостійними. Приблизно на відстані $1/3$ довжини верхньої його частини влаштовується звужування, яке називають *прямим букелем*. В зоні прямого букеля відбувається не лише фронтальне деформування брикетів штемпелем, а й бічне їх стискання, викликане звуженням матричного каналу. Розмір букеля характеризують величиною звуження форми по висоті і довжиною частини матриці, що звужується. Наприклад, розмір 3×200 мм відповідає



звуженню форми на 3 мм на довжині 200 мм (рис. 6.4). Вибір розмірів букеля здійснюється шляхом підбору, головним чином залежно від вологості і насипної щільності торфу.

Для плавного зменшення внутрішніх напружень в матеріалі, що пресується, виготовляється так званий *обернений букель* – поступове розширення матричного каналу. Між прямим і оберненим букелями довжиною l_6 (див. рис. 6.3) знаходиться так звана *зона витримки* брикетів під тиском – призматична частина каналу довжиною l_6 , в якій відбувається стабілізація брикетоутворюючих зв'язків в процесі переходу пружних деформацій у пластичні.

Індикаторна діаграма $ABCDEF F_1$ (див. рис. 6.4) дозволяє простежити за характером зміни тиску пресування по довжині матричного каналу.

Ділянка AB описує два одночасних процеси, що відбуваються при порівняно малих значеннях тиску: відокремлення від торфу газоподібної фази – вільного повітря і певне руйнування крупних частинок торфу і агрегатів.

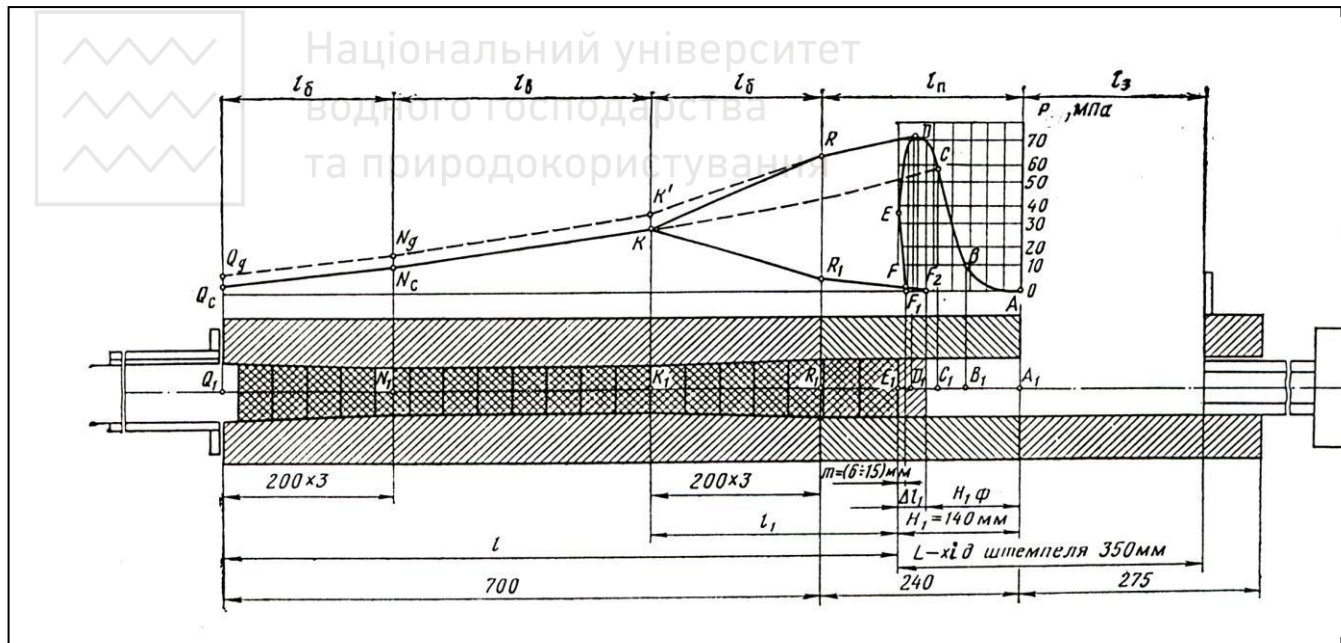
Ділянка індикаторної діаграми BC демонструє суттєве зростання тиску пресування. Тут має місце пружна деформація каркасу щойно утвореного брикету і так само пружне стискання групи брикетів в прямому букелі на величину Δl_1 .

Точка K умовно характеризує переріз матричного каналу, в якому при відході штемпеля назад має місце рівновага системи зліва і справа.

На ділянці CD починається проштовхування брикетів за рахунок їх деформації на відрізу l_1 . При цьому тиск пресування зі сторони рухомого упору досягає максимального значення (крива DRK на рис. 6.4).

На завершальному етапі руху штемпеля вперед відбувається проштовхування всього рухомого упору поздовж матричного каналу. При русі штемпеля назад на ділянці l_1 відбувається пружне розширення всієї групи брикетів, яке досягає величини $\Delta l_1 = (0,10 \div 0,15) H_1$. Зворотне переміщення штемпеля до моменту його відриву від поверхні брикету досягає 15 мм [3, с.142].

Про характер процесів, що супроводжують формування торфових брикетів можна дещо опосередковано судити по зміні межі щільності брикету на згин по мірі просування по матричному каналу.





Перед букелем міцність брикету на згин становить $2,0 \div 2,3$ МПа. При входженні в букель відбувається певне переформування матеріалу, і показник міцності зменшується. Однак, просуваючись по прямому букелю, брикет плавно зміцнюється, межа його міцності на згин зростає до 6 МПа. Між прямим букелем і призматичною ділянкою матричного каналу матеріал знову переформовується, а показник міцності зменшується до 4,3 МПа, але наприкінці зони витримки зростає до 10 МПа. Остаточну свою міцність брикети набувають в оберненому букелі, при русі по охолоджуючих лотках і при зберіганні на складі. Процес зміцнення брикетів триває близько доби.

Охолоджуючі лотки (на торфобрикетних заводах їх здебільшого називають „кулеринами” – вірогідно від англійського *cool* – охолоджувати) певною мірою впливають на величину протитиску, зумовлюючи 8 – 10 % максимального тиску пресування. Свого часу на ТБЗ „Кремінне” автор став учасником дослідження роботи торфобрикетного пресу при довжині охолоджуючих лотків 47, 30 і 15 м. При роботі з короткими лотками було відмічено пом’якшення роботи пресу, а спостереження за амперметром показало невелике (до 10%) зменшення струму, що споживався електродвигуном пресу. Щоправда при довжині охолоджуючих лотків 15 м брикет перестав відповідати вимогам стандарту стосовно його міцності. Однак вважається [3, с.143], що на зусилля пресування значно потужніше впливає, приміром, температурний режим, тому головне призначення охолоджуючого лотка – поступове зняття тиску і охолодження брикетів.

На процес формування брикету в пресі найбільшою мірою впливають такі фізико-механічні властивості торфу, як вологість, зольність та насипна густина. Значна роль і технологічних параметрів: тиску, температури, швидкості руху штемпеля. Розглянемо їх детальніше.

Тиск пресування визначає ту роботу, яка необхідна для руйнування і деформації частинок торфу, подолання сил внутрішнього та зовнішнього тертя матеріалу, для створення контактних поверхонь.

Тиск пресування помітно впливає на міцність брикетів, причому характер цього впливу непростий. Зі збільшенням тиску до певного значення міцність брикетів зростає, але після перевищення цього значення міцність погіршується, має місце так зване „перепресу-



вання” матеріалу. Тиск, при якому одержуються найміцніші брикети, вважається оптимальним. Його величина залежить насамперед від вологості сушонки. В свою чергу вологість, при якій досягається найвища міцність брикетів, також називається оптимальною. Зі збільшенням тиску пресування оптимальна вологість зменшується.

Механізм впливу ступеня розкладу торфу на міцність брикетів і величину оптимального тиску наступний. З пониженням ступеня розкладу модуль пружності торфу також зменшується. Зростає частка пластичних деформацій і порівняно легко виникають великі площі контактів між частинками, утворюються структури переплетіння. Тому для пресування торфу зі ступенем розкладу 15–20 % достатньо тиску 50–60 МПа [3, с.144]. Але в Україні чимало родовищ низинного торфу з високим ступенем розкладу. При пресування такого торфу частка пружних деформацій значно вища, тому необхідний тиск пресування сягає 80–120 МПа.

Подрібнення торфу з високим ступенем розкладу однозначно підвищує міцність брикетів. Але варто пам’ятати, що дрібнодисперсний торф легше виноситься повітрям, яке виходить з матричного каналу при русі штемпеля вперед.

Бажання збільшити швидкість руху штемпеля зрозуміле: зростає продуктивність пресу. Але з’являються принаймні дві проблеми. Одна з них (винос частинок торфу) вказана в попередньому абзаці. Другим негативним наслідком швидкого руху штемпеля є „запресування” повітря в брикет, через що продукція втрачає міцність.

При ступені розкладу торфу до 30÷35 % температура сушонки (від 40 до 90°C) майже не впливає на міцність брикетів. При більших значеннях ступеня розкладу зростання температури у вказаних межах сприяє зміцненню брикетів, оскільки прогресують пластичні деформації і утворюються нові поверхні контакту між частинками.

Температура матричного інструменту має бути дещо вищою. Нормальні за міцністю брикети одержуються при температурі прямого букеля 150÷200° С. Глянцева плівка – наслідок термічного розкладу поверхневого шару брикетів – починає утворюватись при температурі понад 100° С. Вона міцно зв’язана з брикетом і знижує його вологосемність та покращує товарний вигляд продукції. Однак при нагріванні матричного інструменту понад 200° С плівка відшаровується й руйнується в лотках та на складі.



6.3. Енергетика пресування

В літературі [1, 3, 5 та ін.] наведені формули, які характеризують взаємозалежність між тиском на кінці штемпеля і тиском на рухомому упорі (формула Убеллоде) та бічним тиском. Класифікуються витрати енергії за призначенням: на пресування, на проштовхування брикетної стрічки, на пружне розширення брикетів (останні повертаються в систему приводу штемпеля). Ці формули дозволяють краще зрозуміти процес брикетування, але навряд чи корисні для більшості практичних розрахунків енергетики процесу пресування.

Як відомо з курсу фізики, величина потужності, необхідної для здійснення механічних процесів, знаходиться в прямій залежності від зусилля на робочому органі і від швидкості його руху. Для процесу пресування торфу в штемпельному брикетному пресі характерна велика нерівномірність значень обох параметрів. Вкрай нерівномірна величина тиску і зусилля на кінці штемпеля (див. рис. 6.3) в сукупності зі зворотно-поступальним рухом штемпеля, коли його швидкість при робочому ході зменшується до нуля і знову зростає, але вже в протилежному напрямі при зворотному ході (рис. 6.5) не дозволяють використати силовий метод („метод P ”) для визначення необхідної потужності електродвигуна приводу преса.

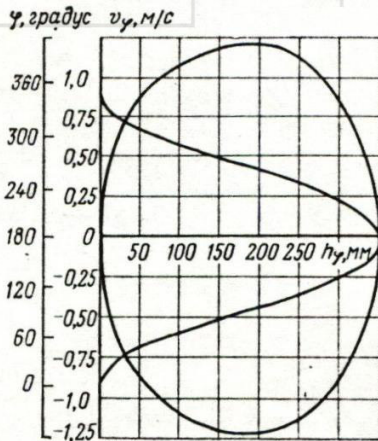


Рис. 6.5. Діаграма швидкостей штемпеля V_φ та кутів повороту кривошипу φ залежно від переміщення штемпеля h_φ

В пригоді стає енергетичний метод розрахунку потужності – „метод A ”, за яким потужність приводу преса в попередніх розрахунках може визначатись за формулою

$$N_{II} = \frac{A_0 \cdot M}{\eta} K, \text{ кВт} \quad (6.1)$$

де A_0 – питомі витрати енергії на пресування торфу, приймаються $22 \div 25 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{т}$; K – коефіцієнт запасу потужності, приймається $1,10 \div 1,15$; η – к.к.д. трансмісії преса, приймається $0,70 \div 0,85$; M – фактична продуктивність преса, $\text{т} / \text{год}$. [5, с. 518].



Фактична продуктивність преса M визначається заміром його виробки за допомогою лічильника, який вимірює довжину виробленої стрічки брикетів по кожному лотку (L) за час T . Знаючи середню масу m брикетної стрічки довжиною 1 м, розраховуємо продуктивність за формулою

$$M = \sum_1^n \frac{L \cdot m}{T \cdot 10^3}, \text{ м/год.} \quad (6.2)$$

де n – кількість штемпельів преса (преси Б8232 та Б9032 двоштемпельні).

Для розуміння головних чинників, що визначають продуктивність торфобрикетного штемпельного преса, корисно знати й методику розрахунку його теоретичної продуктивності:

$$M = 6 \cdot 10^{-2} \cdot F(l_1 + 0,5 \cdot b \cdot \text{ctg } \alpha) \cdot \gamma_1 \cdot K_3 \cdot n \cdot m, \text{ м/год.}, \quad (6.3)$$

де F – площа поперечного перерізу камери пресування, м^2 ; l_1 – довжина завантажувальної камери, м ; b – висота матричного каналу, м ; α – кут природного укосу сушонки, град. ; γ_1 – насипна густина сушонки, кг/м^3 ; K_3 – коефіцієнт заповнення камери пресування; n – кількість штемпелювань за хвилину; m – кількість штемпельів.

Величина коефіцієнту заповнення камери пресування залежить від швидкості штемпеля (числа штемпелювань за хвилину n) та від розміру частинок торфу, що пресується (діаметр сушонки d_{cp}).

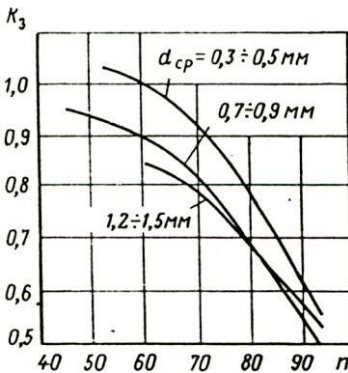


Рис. 6.6. Залежність коефіцієнта заповнення камери пресування від числа штемпелювань і середнього діаметра сушонки

Знаючи густину брикету γ_2 , кг/м^3 та товщину стислого брикету H_2 , м , теоретичну продуктивність преса також можна розрахувати за формулою

$$M = 6 \cdot 10^{-2} \cdot F H_2 \cdot \gamma_2 \cdot n \cdot m, \text{ м/год.} \quad (6.4)$$

Як видно з наведених формул і графічних залежностей, підвищення швидкохідності пресу викликає зростання його продуктивності лише в певних межах. Тому при визначенні раціонального числа штемпелювань за 1 хв. доцільно скористатися рекомендаціями, наведеними в табл. 6.2.



Рекомендовані значення числа штемпельовань
від насипної щільності висушеного торфу [1, с.199]

Насипна щільність висушеного торфу, $кг/м^3$	Число штемпельовань за 1 хв.
Менше 200*	50 – 60
200 – 250	60 – 70
250 – 350	70 – 80
Понад 350	80 – 100

6.4. Штемпельні брикетні преси

На торфобрикетних заводах нашої країни продовжують експлуатуватися штемпельні брикетні преси виробництва Рязанського заводу важкого ковальсько-пресового обладнання (Росія) Б8232 та Б9032, які практично не відрізняються один від одного.

На рис. 6.7 показана кінематична схема преса Б8232.

Зі схеми зрозуміло, що від електродвигуна 1 через муфту 2 обертання передається на ведучий шків 3, звідки десятьма клиновими пасами 4 спрямовується на маховик 5 діаметром 1800 мм, всередині якого вмонтований фрикційний запобіжний пристрій 6, призначенням якого є захист преса від різких перевантажень.

На приводному валу 7 встановлені дві косозубчасті шестерні 8 ($z_1=19$, $m_H=20$ мм, $\beta=14^\circ 57'$), які взаємодіють із зубчастими колесами 9 ($z_2=70$). Для подовження терміну експлуатації такого дорогого й масивного вузла, як колінчастий вал 10, останній виконаний симетричним відносно осі преса, що дозволяє при ремонті перевернути його, вводячи цим в роботу незношені протилежні сторони зубів коліс і шатунних шийок вала. Передбачена також можливість семиразового (дискретно, через 45°) переустановлення зубчастих коліс 9 відносно бічних щік колінчастого вала, що також дозволяє подовжити термін їх служби за рахунок введення в роботу незношених ділянок ободів.

* Державним стандартом України передбачено, що насипна густина фрезерного торфу має бути не менше 200 $кг/м^3$ (див. табл. 2.6 даної книги).

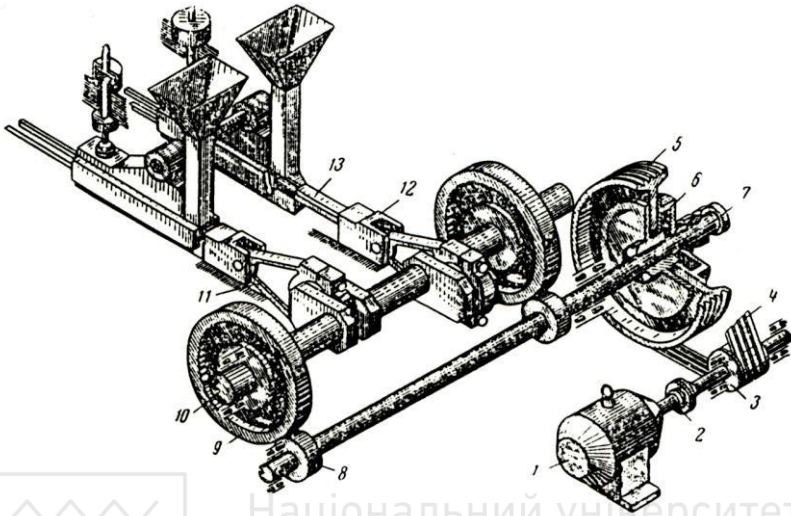


Рис. 6.7. Кінематична схема преса Б8232: 1 – електродвигун; 2 – пружна муфта; 3 – ведучий шків клинопасової передачі; 4 – клинові паси; 5 – маховик; 6 – фрикційний запобіжний пристрій; 7 – приводний вал; 8 – косозубчасті шестерні; 9 – зубчасті колеса; 10 – колінчастий вал; 11 – шатунно-кривошипний механізм; 12 – повзун; 13 – штемпель

Через шатунно-кривошипний механізм 11 повзуни 12 одержують зворотно-поступальний рух з довжиною ходу 350 мм. Такий самий рух здійснюють прикріплені до повзунів штемпелі 13.

Комплект матричного інструменту преса складається з деталей основного і допоміжного призначення. Деталі основного призначення – це ті, що безпосередньо беруть участь у формуванні торфу в брикет (формуючі деталі). До них відносяться (рис. 6.8) штемпель 1, дві довгі 2 та дві короткі матриці 3, матриця направляюча 4 і бічні планки 5. Допоміжні деталі – це клин 6, боковина 7, тримачі верхній 8 та нижній 9 і дві утримуючі планки 10 з кріпленням.

Штемпелі, литі чи зварні з декількох частин (матеріал – сталь 35Л), по формі та розміру торця відповідають встановленому формату брикету. Матриці виготовляються зі сталевих поковок чи відливок і розділяються на чотири типи: матриці довгі, матриці направляючі (сталь 35), матриці короткі, матриці короткі з вирізом (Ст.3).

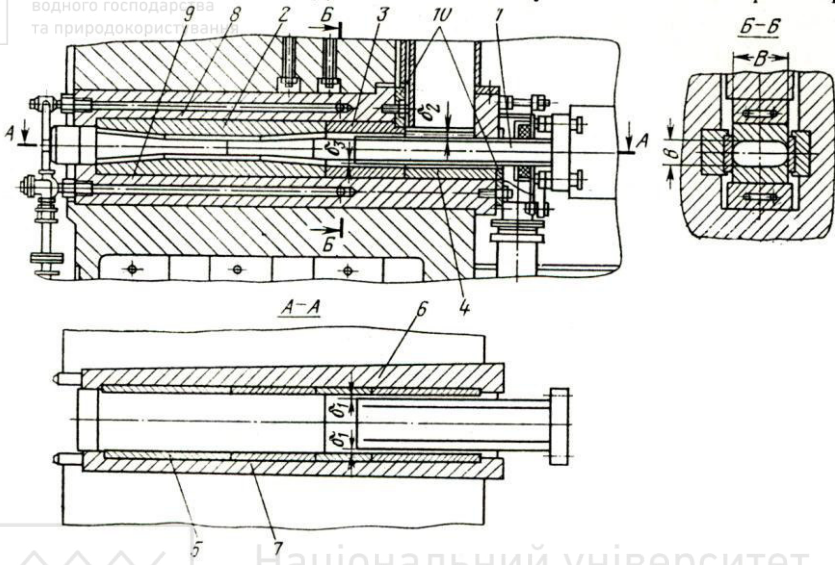


Рис. 6.8. Матричний інструмент штемпельного преса [5, с.512]:

- 1 – штемпель; 2 – матриці довгі; 3 – матриці короткі; 4 – матриця направляюча;
5 – планки бічні; 6 – клин; 7 – боковина; 8 – тримач верхній; 9 – тримач нижній;
10 – планка утримуюча

Тримачі виготовляються з поковок. Обидва верхні тримачі однакові, а нижні – симетричні (дзеркально) і розділяються на правий і лівий. Для підігріву тримачів чи, навпаки, їх охолодження в тілі тримачів виконуються отвори, в яких на різьбі встановлюються перехідні штуцери, через які подається вода або водяна пара.

Клин і боковина виготовляються з поковок. Зі сторони каналу їх робочі поверхні захищені змінними закладними деталями – бічними планками, виготовленими з легованої сталі Сталь 65Г.

В головці преса матричні набори фіксуються від зміщення вперед уступами в хвостовій частині тримачів і стопоряться клином. Штемпель підбирається таким чином, щоб зазори становили (див. рис. 6.8): $\delta_1=0,5\pm 0,9$ мм, $\delta_2\approx 1$ мм, $\delta_3=0\pm 0,25$ мм [5, с.512]. Штемпель встановлюється з нахилом за рахунок прокладки, що вставляється під верхню опорну частину п'яти.

Робоча поверхня коротких матриць і штемпельів, а часом – і букельна частина довгих матриць направляються твердим сплавом.



Найкращі результати дає наплавлення формуючого інструменту електродом X-5: термін служби комплексу досягає 1500 год. чистої роботи [3, с. 163]. Застосовується також наплавлення електродами КХБ-45, ВСН-8, Т-590 та ін.

Технічна характеристика преса Б8232 наведена в табл. 6.3.

Таблиця 6.3

Технічна характеристика преса Б8232

Показник	Значення	Показник	Значення
Розрахункове зусилля пресування, <i>кН</i>	1600	Система змащування:	Циркуляційна під тиском 0,1-0,2 МПа
Номінальний формат брикету, <i>мм</i>	182×74	Об'єм бака для мастил, <i>м³</i>	1,4
Штемпель:		Маслонасос	Г11-24
- площа торця, <i>см²</i>	120	Потужність електродвигуна насоса, <i>кВт</i>	2,2
- довжина ходу, <i>мм</i>	350	Електродвигун преса:	
- число ходів за 1 хв.	70	- потужність, <i>кВт</i>	160
Регулятор тиску пресування:		- частота обертання, <i>об./хв.</i>	985
- тип	Неавтоматичний з жорстким упором. Гідравліч.	Розміри преса, <i>мм</i> :	
- привод		- довжина (без лотків)	7550
- розрах. зусилля по натискному елементу, <i>кН</i> .	1000	- ширина	7835
- діапазон регулювання, <i>мм</i>	8	- висота	2130
		Діаметр маховика, <i>мм</i>	1800
		Маса маховика, <i>кг</i>	4800
		Маса преса(без лотків), <i>т</i>	54
		Номінальна продуктивність, <i>т/год.</i>	4,2

6.5. Регулювання параметрів процесу пресування

Регулювання головних параметрів пресування в брикетних пресах здійснюється шляхом застосування автоматичних регуляторів тиску, живильників і підпресувачів.

Автоматичні регулятори тиску пресування бувають: пружинно-гідравлічні та пружинно-важільні. Їх призначення – оптимізація умов пресування в широкому діапазоні фізико-механічних властивостей сушонки. Принцип дії регуляторів базується на залежності бічного тиску від навантаження по штемпелю.



Бічне зусилля N , яке передається на верхній комплект матриць в момент створення штемпелем найбільшого зусилля

$$N = \frac{BF}{\mu S} (p_B - p_D), \quad M_n \quad (6.5)$$

де B – ширина матричного каналу, м; F – площа торця штемпеля, м²; p_B – максимальний тиск на торці штемпеля, МПа; S – периметр торця штемпеля, м; μ – коефіцієнт тертя торфових брикетів по верхній матричному каналу.

По мірі просування штемпеля вперед тиск в каналі зростає. На ділянці прямого букеля брикети приймають форму клину, тому при проштовхуванні рухомого упору верхній набір матриць сприймає значне зусилля, яке дозовано піднімає цей набір. При зворотному русі штемпеля тиск в каналі падає і верхній набір матриць повертається в положення, яке забезпечує контакт з брикетною стрічкою, деформуючи при цьому брикети на ділянці прямого букеля. Механізм реалізації зазначених операцій залежить від конструкції регулятора тиску.

Пружинно-гідравлічний регулятор входить до складу головки преса (рис. 6.7). Вона має два горизонтальних канали, в яких встановлені деталі формуючого пристрою. Нижня частина головки 1 складає одне ціле зі станиною і в поперечному перерізі має Ш-подібну форму. Кришка 2 головки преса має форму скоби, яка охоплює бокові стінки нижньої частини і з'єднана з нижньою частиною головки колонами 3 .

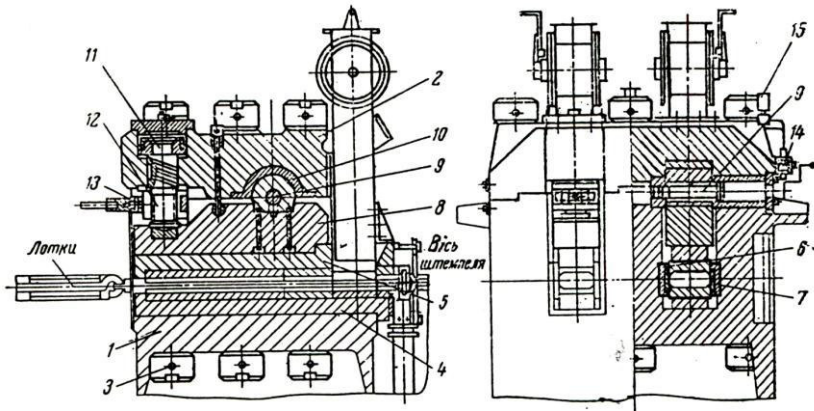


Рис. 6.9. Головка торфобрикетного преса [1, с.222]



Ці колони встановлюються з термічною затяжкою, що запобігає виникненню зазорів між нижньою і верхньою частинами головки.

Регулятор являє собою систему двох гідроциліндрів, зв'язану з пружинним амортизатором.

Нижній тримач 4 вкладений на дно каналу й своїм заднім уступом впирається в задню стінку нижньої частини головки преса. Верхній тримач 5, коротший за нижній 4, прилягає до нижньої площини язика 8 й своїм заднім уступом впирається у відповідний паз в тілі язика. На тримачах є змінні деталі, що утворюють верхню та нижню частини матричного каналу. Бокові площини цього каналу утворені змінними деталями, закріпленими з однієї сторони в бічній плиті 6, а з другої – в бічному клині 7.

Язык 8 встановлений у матричному каналі на пальці 9 й своєю розвиненою циліндричною поверхнею впирається у вкладиш 10 кришки 2. Натискне зусилля на язык 8 передається гідравлічним домкратом 11, на шток якого 12 накручена упорна гайка 13. Робоча рідина подається в домкрат 11 за допомогою ручного насосу 14. Максимальний тиск (до 25 МПа або 250 кг/см²) контролюється манометром 15. Гідравлічні домкрати використовуються тільки для установки язиків у певне положення, яке фіксується упорною гайкою. Після гідравлічного піджаття язика 8 упорна гайка 13 закручується до упору в кришку 2 і в подальшому сприймає зусилля, що діє на передню опору язика.

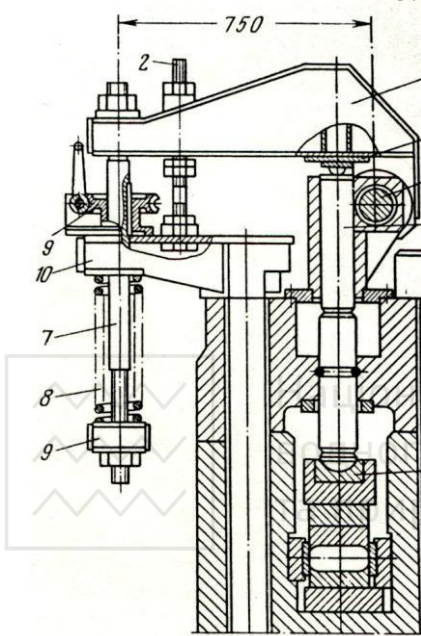
Пружинні амортизатори, маслобак, трубопроводи, вентилі і манометри змонтовані в колонці управління (на рис. 6.9 не показана). Зусилля пружин на верхні рухомі матриці, які прилягають до язика, передається через гідросистему, плунжер малого циліндра і поршень головного циліндра.

Наявні вентиль і фіксуюча гайка дозволяють експлуатувати регулятор тиску пресування і в неавтоматичному режимі. Максимальне розрахункове зусилля по натискному елементу регулятора становить близько 0,7 МН. Тиск робочої рідини в гідросистемі може становити від 6 до 16 МПа (60÷160 кг/см²)

Завдяки рухомості верхніх довгих матриць (на 3÷4 мм по натискному елементу від горизонталі) вони в момент пікового навантаження дещо піднімаються, полегшуючи цим проходження брикету по матричному каналу. Але вже через частку секунди, в момент початку зворотного руху штемпеля, акумульована пружинами ком-

пенсатора енергія через гідросистему вертається, і верхня довга матриця опускається, здійснюючи деформування брикету у вертикальній площині.

Пружинно-важільний регулятор дещо простіший за попереднього (рис. 6.10).



В момент найбільшого тиску на торці штампеля зусилля від верхнього комплекту матричного набору через нижню кульову опору 3 і натискний шток 1 передається на рухомий важіль 5, на тязі 7 якого встановлений пружинний компенсатор 8. Деформуючись (скорочуючись), пружина дає змогу верхній кульовій опорі 4 дещо піднятися при одночасному повороті рухомого важеля 5 довкола шарніра 6. При цьому верхні деталі матриці мають можливість переміститись у вертикальній площині, збільшуючи цим висоту матричного каналу. При зворотному русі штампеля тиск в каналі падає, і верхній набір матриць під дією своєї ваги і енергії, накопиченої в пружинному компенсаторі 8, знову входить у контакт зі стрічкою брикету, деформуючи їх у прямому букелі.

Рис. 6.10. Пружинно-важільний регулятор тиску пресування:

- 1-натискний шток; 2- жорсткий упор; 3- нижня кульова опора; 4- верхня кульова опора; 5-рухомий важіль; 6- шарнір важеля; 7-тяги; 8- пружинний компенсатор; 9-черв'ячний привод попереднього навантаження; 10-жорстка консоль

Як бачимо, характер впливу обох регуляторів тиску пресування на стрічку брикету в матричному каналі аналогічний і відрізняється тільки механізмом реалізації.

Автоматичне регулювання тиску пресування значно змінює характер залежності між міцністю брикетів та вологістю сушонки



(рис. 6.11). Замість явного максимуму міцності при оптимальній вологості (криві 3 та 4), після встановлення автоматичного

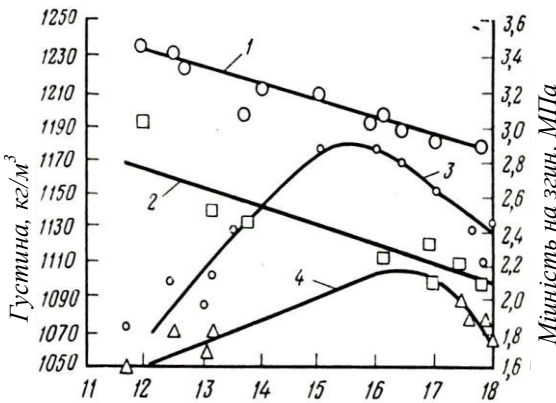


Рис. 6.11. Залежність густини γ і міцності σ_z брикетів від вологості w висушеного торфу: 1 та 2 – відповідно межа міцності та густина брикетів при автоматичному регулюванні тиску; 3 та 4 – те саме, але при роботі преса без автоматичного регулювання тиску

спеціальних прийомів* і практично унеможливають утворення заторів** у матричному каналі.

Залишається пошкодувати, що на більшості торфобрикетних заводів України автоматичні регулятори тиску пресування належним чином не працюють. Зниження енергоємності пресування, підвищення міцності брикету – достатня мотивація для використання резерву, яким є автоматичне регулювання тиску пресування. Краща якість і нижча собівартість продукції – це загальновідомі і ефективні важелі конкурентної боротьби на ринку будь-яких товарів і палив – також.

* Приміром – заповнення матричного каналу преса ломом брикету, просоченого відпрацьованими машинними мастилами.

**Неблагозвучне слово „козел” давно стало неофіційним, але загальновідомим в середовищі брикетників синонімом-професіоналізмом затору торфу в матричному каналі преса.

регулятора тиску починає спостерігатись пряmolінійна залежність між σ_z та w у всьому діапазоні, що досліджувався (лінії 1 та 2).

Автоматичні регулятори тиску знижують максимальний тиск та енергоємність процесу пресування на 30÷35%, сприяють зростанню міцності брикетів, захищають прес від перевантажень, дозволяють запуснути його без



Технічна характеристика автоматичних регуляторів преса Б8232

Показники та одиниці фізичних величин	Тип регулятора	
	пружинно-гідравлічний	пружинно-важільний
Розрахункове зусилля по регулятору, <i>H</i>	$7 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^5$
Робочий діапазон переміщення натискного елемента (від горизонталі), <i>мм</i>	3 ÷ 4	3 ÷ 4
Установочні дані: -- попереднє затягування пружин компенсатора, <i>мм</i> -- кількість пружин	50 ÷ 60 5	30 ÷ 50 5
Привод попереднього навантаження	Насос Г-250	Черв'ячний механізм
Маса комплекту на прес, <i>кг</i>	662	1000

Живильники штемпельних пресів бувають пасивними і активними. Доволі важкі низинні торфи родовищ нашої країни дозволяють досить успішно експлуатувати пасивні живильники з шиберною засувкою. Однак простота таких живильників, на жаль, є чи не єдиною їх перевагою: ними неможливо чітко регулювати подачу сушонки, вони не забезпечують надійної герметизації завантажувальної камери преса, тому повітря, яке виходить з-під штемпеля в процесі його просування вперед, відводиться не тільки через систему обезпилювання, а й через течку й розподільчий конвеєр, погіршуючи цим санітарно-гігієнічний стан виробництва. Непоодинокі й випадки зависання сушонки і утворення склепін над шиберною засувкою. При цьому продуктивність преса падає, а після руйнування й падіння склепіння – піково зростає, але міцність брикетів при цьому знижується. Активні живильники неперервної дії з регульованим подаванням матеріалу до завантажувальної камери преса дозволяють усунути вказані в попередньому абзаці недоліки. Одним з таких живильників є живильник барабанного типу, який ще називають комірковим (рис.6.12).

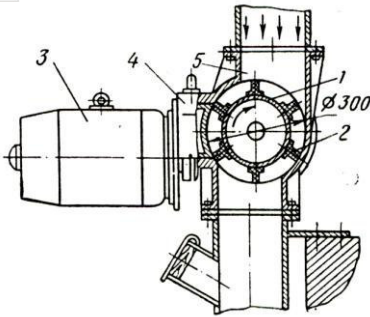


Рис. 6.12. Комірковий живильник з регульованим приводом: 1-ротор; 2-гнучкі лопаті; 3-електродвигун; 4- редуктор; 5- корпус

Коміркові живильники встановлюються над кожною завантажувальною камерою, причому керування здійснюється окремо кожним з пульта. Блокування електродвигунів живильників з електроприводом пресу узгоджує їх роботу і не допускає заваду преса висушеним торфом після зупинки штемпеля.

Технічна характеристика коміркового живильника наведена в табл. 6.5.

Таблиця 6.5
Технічна характеристика коміркового живильника

Параметр	Одиниці	Значення
Ротор:		
Діаметр ротора	мм	300
Кількість комірок	шт.	6
Місткість однієї комірки	л	1,28
Частота обертання ротора	c^{-1}	0,062 – 0,620
Привод:		
Тип приводу		ПМУ5М13
Потужність електродвигуна приводу	кВт	
Частота обертання електродвигуна	c^{-1}	2,5 – 25,0
Редуктор:		
Тип редуктора		РЧУ-80А
Передаточне число редуктора		40
Висота живильника по фланцях	мм	440
Довжина	мм	930
Ширина	мм	730
Загальні дані:		
Маса з приводом	кг	200
Продуктивність*	кг/год.	4350

*При щільності сушонки 250 кг/м³.



Комірковий живильник забезпечує надійну герметизацію завантажувальної камери, а при належному регулюванні дозволяє стабілізувати швидкість руху брикетної стрічки в межах $3,8 \div 4,2$ м/с, при цьому середня швидкість зростає приблизно на 10%.

При зменшенні насипної густини висушеного торфу товщина брикету зменшується. Логічним в цьому випадку є збільшення подачі сушонки в завантажувальну камеру шляхом прискорення обертання ротора живильника. Тому суть регулювання роботи живильника для забезпечення сталої продуктивності преса при зміні насипної густини сушонки якраз і полягає у забезпеченні тотожності

$$n_1 \gamma_1 = n_2 \gamma_2, \quad (6.6)$$

де n_1 та n_2 – частота обертання ротора при відповідних значеннях γ_1 та γ_2 .

Заміна пасивних живильників активними з регульованою частотою обертання ротора сприяє не лише підвищенню продуктивності преса, а й покращує якість брикетів.

Розмір завантажувальної камери і розміри штемпеля для преса даного типу є постійними. Практично стабільна й частота штемпелювань. Тому продуктивність штемпельного преса безпосередньо залежить від насипної маси сушонки, яка пресується. Особливо помітне зниження продуктивності має місце при густині сушонки до 200 кг/м^3 : крім того, що зменшується маса матеріалу в завантажувальній камері, суттєво зростає ефект виносу сушонки з камери пресування повітрям, що відходить при русі штемпеля вперед.

Збільшити масу матеріалу в завантажувальній камері можна шляхом його попереднього підпресування. Ця задача розв'язується шляхом впровадження так званих **підпресувачів**. Вони не лише ущільнюють висушений торф в завантажувальній камері, а й руйнують грубодисперсні залишки, покращуючи умови пресування.

Критерієм оцінки роботи підпресувача прийнятий коефіцієнт ефективності K_E

$$K_E = \frac{Q_{\Pi} \cdot k}{Q}, \quad (6.7)$$

де Q_{Π} та Q – відповідно продуктивність преса з підпресувачем і без нього, т/год. ; k – коефіцієнт, який враховує додаткові витрати, пов'язані з встановленням підпресувача ($k < 1$).

Підпресувачі бувають періодичної та неперервної дії. Підпресувачі періодичної дії – переважно плунжерного і секторного типів – не знайшли широкого застосування оскільки мають суттєвий недолік: їх робочий орган, жорстко зв'язаний з кінематичною схемою преса, працює в постійному режимі незалежно від насипної густини сушонки.

Більш досконалими визнаються підпресувачі неперервної дії. Наприклад, підпресувач неперервної дії ПНД* має шнековий робочий орган, виконаний у вигляді спіралі, яка встановлена у завантажувальній камері преса (рис. 6.13) [3, с. 174]

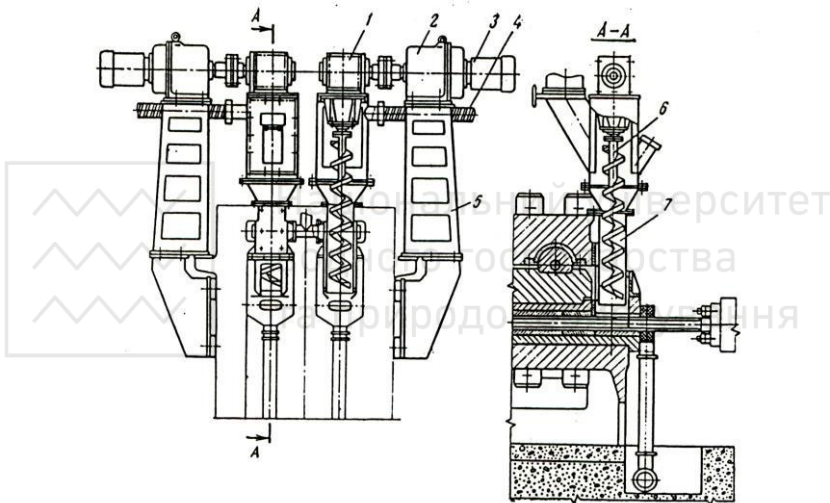


Рис. 6.13. Підпресувач неперервної дії ПНД: 1 – кінцевий редуктор; 2 – планетарний редуктор; 3 – електродвигун; 4 – відсмоктувач повітря; 5 – опорна метало-конструкція; 6 – спіраль; 7 – завантажувальна камера преса

Сушонка подається в приймальну частину корпусу, звідки спіраллю 6 переміщується вниз у завантажувальну камеру 7. Викид сушонки під штампель відбувається не лише завдяки осьовій подачі гвинта 6, а й через пружне осьове випрямлення спіралі та пружне ж розширення власне сушонки, яка перед цим одержала ущільнення в спіралі.

* Конструкція Московського філіалу ВНДІТП (Росія).



Технічна характеристика підпресувача ПНД

Параметр	Одиниці	Значення
Спіраль:		
- діаметр зовнішній	<i>мм</i>	185
- діаметр внутрішній	<i>мм</i>	155
- частота обертання	<i>с⁻¹</i>	1,83
Потужність приводу	<i>кВт</i>	7,5
Встановлена потужність на прес	<i>кВт</i>	15
Маса комплексу на прес	<i>кг</i>	1700
Продуктивність	<i>т/год.</i>	2,75

Продуктивність преса після оснащення його підпресувачом ПНД зростає, залежно від насипної густини сушонки, на 30÷80%. При цьому питомі витрати електроенергії, незважаючи на додатковий привод підпресувача (див. табл. 6.6), знижуються на 16÷28%.

При переробці сушонки густиною понад 350 кг/м³ може виникнути перевантаження приводу преса, тому в конструкції передбачений як електричний, так і механічний захист, який забезпечує автоматичне вимкнення приводу підпресувача.

Звичайно, найбільший ефект від роботи підпресувача спостерігається при пресуванні торфів з низькою насипною густиною. Тому найкращу перспективу підпресувачі мають на тих торфобрикетних заводах, сировинною базою яких є родовища, сформовані торфами невисокого ступеня розкладу, з покладами перехідного, змішаного чи навіть верхового типів. Але й при пресуванні „важких” торфів їх попереднє ущільнення все одно ефективне, а застосування підпресувачів спільно з активними живильниками дозволяє стабілізувати роботу преса на продуктивності, що близька до оптимальної.

Таким чином, описані в даному підрозділі технічні рішення є вагомим (і поки що повною мірою не використаним) резерв підвищення ефективності роботи українських торфобрикетних заводів.

Окремо постає питання про необхідність оптимізації розмірів брикетів і про виробництво в Україні власних пресів, спроможних виробляти високоякісну паливну продукцію з мінімальними експлуатаційними витратами.



7. СИСТЕМИ ГАЗООЧИЩЕННЯ

Як вже вказувалось, сушіння торфу відбувається у газовому або повітряному потоці. Тому відокремлення частинок висушеного матеріалу від димових газів чи повітря є обов'язковою операцією технологічного процесу виготовлення брикетів. Крім того, необхідність звільнення повітря або димових газів від торфових частинок диктується й санітарно-гігієнічними міркуваннями: потребою забезпечувати належну чистоту повітря в робочих зонах виробничих приміщень та дотриманням вимог щодо чистоти газів, які викидаються в атмосферу.

Залежно від призначення використовують різні види систем газоочищення із застосуванням апаратів, параметри яких повинні якомога повніше відповідати вимогам, що пред'являються до конкретної стадії очищення.

7.1. Параметри апаратів газоочищення

Головними параметрами, які достатньо повно і всебічно характеризують роботу апаратів газоочищення, є коефіцієнт корисної дії (ступінь очищення), гідравлічний (аеродинамічний) опір, принцип роботи, продуктивність.

Коефіцієнт корисної дії (ступінь очищення) – це відношення маси вловленого матеріалу ($M_{ВЛ}$) до маси матеріалу, що поступив до апарату ($M_{ВХ}$), виражене в частках одиниці чи у відсотках

$$\eta = \frac{M_{ВЛ}}{M_{ВХ}} \text{ або } \eta = \frac{M_{ВЛ}}{M_{ВХ}} 100\% = \frac{M_{ВХ} - M_{ВИН}}{M_{ВХ}} 100\%, \quad (7.1)$$

де $M_{ВЛ}$ – маса матеріалу, що осаджується в апараті протягом одиниці часу; $M_{ВХ}$ – маса матеріалу, що потрапляє до апарату за цей же час; $M_{ВИН}$ – маса матеріалу, що виноситься з апарату разом з газом протягом одиниці часу.

Для покращання якості очищення газів нерідко застосовують послідовне встановлення декількох апаратів. В цьому випадку підсумковий ступінь очищення в частках одиниці розраховується за формулою

$$\eta = 1 - (1 - \eta_1)(1 - \eta_2) \dots (1 - \eta_n), \quad (7.2)$$

де $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n$ – ступінь очищення в окремих послідовно встановлених апаратах, виражений в частках одиниці.



Природно, потрібно прагнути до якомога повного очищення газового потоку від наявних в ньому частинок матеріалу. Для цього використовуються найбільш ефективні апарати, практикується послідовне їх встановлення, коли очищений у попередньому апараті газовий потік не викидається у довкілля, а спрямовується у вхідний патрубок наступного апарату. Однак все зазначене призводить до зростання гідравлічного (аеродинамічного) опору системи газоочищення і, відповідно, до підвищення витрат електроенергії на привод вентиляторів чи вентиляторів-димосмоків.

Гідравлічний опір апаратів газоочищення визначається різницею повних напорів газу на вході та на виході з них ($\Delta p = p_{вх} - p_{вих}$) і розраховується за формулою

$$\Delta p = \xi \frac{\rho \cdot v^2}{2}, \text{ Па}, \quad (7.3)$$

де ξ – коефіцієнт гідравлічного опору апарату, який наводиться в характеристиці апарату; ρ – густина газу, в технічних розрахунках приймається $1,2 \text{ кг/м}^3$; v – швидкість газового потоку на вході до апарату, м/с .

З формули (7.3) видно, що гідравлічний опір прямо пропорційний динамічному тиску.

Величина коефіцієнта гідравлічного опору значною мірою залежить від конструкції апарата і принципу його роботи.

Принцип роботи покладений в основу розподілу апаратів на чотири групи:

1. Сухі або механічні апарати, в яких завислі частинки матеріалу відокремлюються від газу під дією механічної сили.

2. Мокрі пиловловлювачі, що осаджують частинки шляхом промивання запиленого газу рідиною, яка змочує і підхоплює завислі частинки.

3. Фільтри у вигляді пористих перегородок.

4. Електрофільтри, робота яких базується на відокремленні завислих частинок від газу під дією електричних сил.

Існують також комбіновані пиловловлювачі, в яких сполучаються різні методи очищення.

На торфобрикетних заводах України використовують апарати, що відносяться до першої та другої груп. Це, відповідно, циклони та скрубери.



Продуктивність апаратів газоочищення здебільшого визначається в $m^3/год$. Об'єм газів, який проходить через трубопровід протягом години, може бути розрахований за формулою

$$Q = 3600 \cdot v \cdot \frac{\pi D^2}{4}, m^3/год., \quad (7.4)$$

де v – швидкість газового потоку, m/c ; D – діаметр труби, m .

Вибираючи той чи інший типорозмір апарату, потрібно в першу чергу визначити, чи відповідає потребі його продуктивність. Часом практикують паралельне встановлення декількох апаратів меншої продуктивності замість одного більш продуктивного. Більш конкретно порядок вибору апаратів потрібного типорозміру буде викладений нижче.

7.2. Циклони

Циклони – це найбільш розповсюджені, прості й дешеві апарати газоочищення, в яких реалізується механічний принцип очищення з використанням відцентрової сили для відокремлення частинок матеріалу від газового потоку.

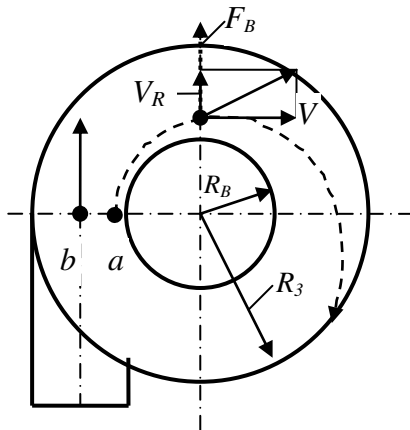


Рис. 7.1. Схема руху частинок матеріалу в циклоні під впливом дії відцентрової сили



Існують циклони різних конструкцій, які відрізняються один від одного розмірами і формою елементів. Однак всі вони працюють за аналогічним принципом і мають подібну будову. Частинка матеріалу потрапляє до циклону через вхідний патрубок. Рекомендована швидкість газового потоку у вхідному патрубку становить $10 \div 22$ м/с [6, с.225]. У найбільш несприятливій для осадження позиції знаходяться частинки, що знаходяться ближче до вихлопної труби (частинка a на рис. 7.1): їх шлях до стінки корпусу найдовший. Оскільки торфо-газова суміш змінює рух з прямолінійного на обертальний, на частинку матеріалу починає діяти відцентрова сила F_B , під дією якої частинка з радіальною швидкістю V_R починає наближатися до внутрішньої стінки корпусу циклону, торкається його, додатково гальмується силами тертя і потрапляє у пилівідвідний патрубок. На торфобрикетних заводах застосовуються здебільшого циклони чотирьох моделей (збережена російськомовна аббревіатура, яка є офіційною назвою циклонів): ВТИ (розробник – колишній Все-

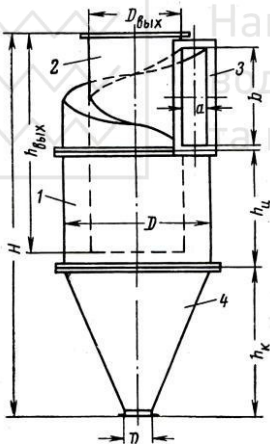


Рис. 7.2. Циклон ВТИ: 1 - циліндрична частина корпусу; 2 - вихлопна труба; 3 - вхідний патрубок; 4 - конічна частина

Циклон ВТИ (рис. 7.2) має вкорочену циліндричну частину, вхідний патрубок прямокутного перерізу зі співвідношенням сторін $b/a=4$. Відстань від стінки циліндричної частини до вихлопної труби (ширина робочої частини) дорівнює ширині вхідного патрубку a .

союзний теплотехнический институт – рос.), ЛИОТ (розробник – колишній Ленинградский институт охраны труда – рос.), СИОТ (розробник – колишній Свердловский институт охраны труда – рос.) та НИИОГаз (розробник – Научно-исследовательский институт очистки газа – рос.).

Найчастіше на першій стадії осадження частинок торфу застосовують циклони ВТИ та ЛИОТ. Для другої стадії очищення газового потоку використовують циклони НИИОГаз.



При виборі циклона визначальним параметром є кількість газів, які підлягають очищенню. Потрібний циклон можна вибрати за нормаллю ВТИ, наведеною в табл. 7.1.

Коефіцієнт гідравлічного опору для циклонів ВТИ усіх розмірів приймається $\xi=6$. Ефективно осаджуючи крупні частинки, циклони ВТИ не забезпечують належного очищення газового потоку від дрібнодисперсних частинок матеріалу, тому ці циклонні апарати встановлюють виключно на першій стадії системи газоочищення.

Циклон ЛІОТ теж є апаратом першої стадії газоочищення.

Особливостями цих циклонів є подовжена циліндрична частина і глибоке введення вихлопної труби, а також наявність завітки, який забезпечує горизонтальне відведення газів при порівняно невеликих втратах тиску на вихроутворення.

Рекомендована швидкість газового потоку у вхідному патрубку циклона ЛІОТ становить 15-18 м/с [6, с.228]. Наслідком застосування завітки є суттєве зменшення коефіцієнту гідравлічного опору: для циклонів ЛІОТ приймається $\xi=2,5$.

Вибирають циклони ЛІОТ за технічними характеристиками, наведеними в табл. 7.2. На підставі відомого значення необхідної продуктивності циклона визначають його номер і знаходять діаметр вхідного патрубка d . Решта розмірів циклона розраховуються в частках від d за формулами, вказаним на рис. 7.3.

Випробування циклонів ЛІОТ показали, що їх к.к.д. при осадженні частинок розміром $0\div 10\mu\text{м}$ складає лише 13,2% [6, с.229], тому їх використання також доцільне лише на першій стадії газоочищення.

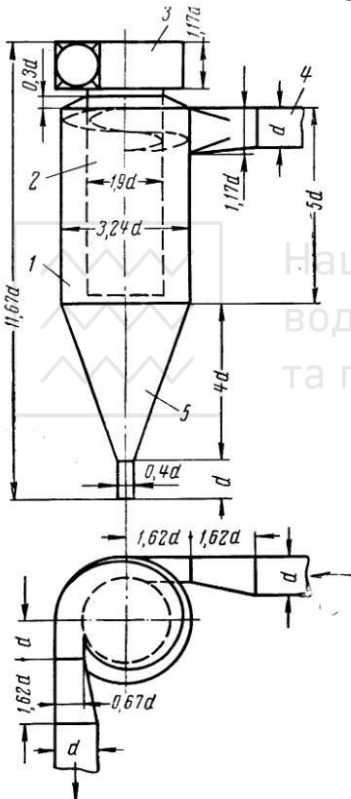


Рис. 7.3. Циклон ЛІОТ: 1-циліндрична частина корпусу; 2-вихлопна труба; 3-завіток; 4-вхідний патрубок; 5-конічна частина корпусу.

Основні розміри циклонів ВТИ

Таблиця 7.1

Номер циклона	Продуктивність, $m^3/год.$	Діаметр, мм			Висота, мм				Вхідний патрубок			Товщина стінок δ , мм	Маса M , кг
		циліндрич- ної частини, D	вихлопної труби, $D_{вих}$	спускної труби, $D_{сп}$	загальна, H	циліндрич- ної частини, $h_{ц}$	конічної ча- стини, $h_{к}$	вихлопної труби, $h_{вих}$	площа поп. перерізу, $F_{вх}, m^2$	ширина a , мм	висота b , мм		
1	150-230	175	112,5	35	500	140	190	262,5	0,0036	30	120	1,5	6,5
2	200-300	200	129	40	560	160	211,5	300	0,0046	34	136	1,5	8,5
3	300-470	250	162	50	670	200	264,5	375	0,0072	42,2	170	1,5	12,5
4	450-670	300	195	60	820	240	307,5	450	0,0104	51	204	1,5	17,0
5	610-920	350	228	70	945	280	350	525	0,0141	59,5	238	1,5	22,0
6	800-1200	400	261	80	1080	320	403	600	0,0185	68	272	1,5	31,5
7	1010-1515	450	294	90	1205	360	446	675	0,0234	76,5	306	1,5	39,0
8	1250-1870	500	327	100	1330	400	489	750	0,0289	85	340	1,5	46,5
9	1800-2700	600	392	120	1585	480	586	900	0,0416	102	404	2	83,0
10	2500-3670	700	458	140	1835	560	670,5	1050	0,0566	119	476	2	109,5
11	3200-4800	800	524	160	2080	640	756	1200	0,0739	136	544	2	138,0
12	4050-6070	900	590	180	2325	720	842	1350	0,0936	153	612	2	167,5
13	5000-7500	1000	655	200	2590	800	938	1500	0,1156	170	680	2,5	268,0
14	7200-10785	1200	787	240	3080	960	1109,5	1800	0,1664	204	816	2,5	370,5
15	9790-14680	1400	919	280	3570	1120	1281	2100	0,2265	238	952	2,5	493,0
16	12780-19200	1600	1050	320	4080	1280	1464	2400	0,2959	272	1088	3	747,5
17	16380-24570	1800	1182	360	4570	1440	1634	2700	0,3791	306	1224	3	933,0
18	20000-30000	2000	1314	400	4980	1600	1716	3000	0,4624	340	1360	3	1122
19	30000-46800	2500	1642	500	6340	2000	2264,5	3750	0,7225	425	1700	4	2343
20	45000-67500	3000	1872	600	7570	2400	2693,5	4500	1,0404	510	2040	4	3035



Технічні характеристики циклонів ЛІОТ

Номер циклона	Діаметр, мм		Швидкість у вхідному патрубку, м/с	Продуктивність по вологому газу	
	циліндричної частини $d_{ц}$	вхідного патрубку d		м ³ /год.	м ³ /с
1	555	170	15	1250	0,35
			18	1500	0,42
2	765	245	15	2500	0,69
			18	3000	0,83
3	970	300	15	3750	1,04
			18	4500	1,25
4	1115	345	15	5000	1,39
			18	6000	1,67
5	1230	385	15	5830	1,62
			18	7500	2,08
6	1330	410	15	7080	1,97
			18	8500	2,36
7	1445	445	15	8330	2,31
			18	10000	2,78
8	1600	495	15	10410	2,89
			18	12500	3,47
9	1765	545	15	12500	3,47
			18	15000	4,17
10	1890	585	15	14560	4,04
			18	17500	4,87

Циклон СИОТ легко відрізнити від решти циклонних апаратів: в нього відсутня циліндрична частина, а вхідний патрубок в місці примикання до корпусу циклону має трикутну форму перерізу (рис. 7.4). Інститут – розробник даного циклона рекомендував його використання на першій стадії очищення. Однак на торфобрикетних заводах України циклони цього типу частіше можна зустріти на другій стадії газоочищення. Як пояснити цей парадокс? Відповідь криється у формі корпусу. Як відомо, величина відцентрової сили прямо пропорційна масі частинки (m), квадрату швидкості газового потоку (V) і обернено пропорційна радіусу обертання (R).



$$F = \frac{m \cdot V^2}{R}. \quad (7.5)$$

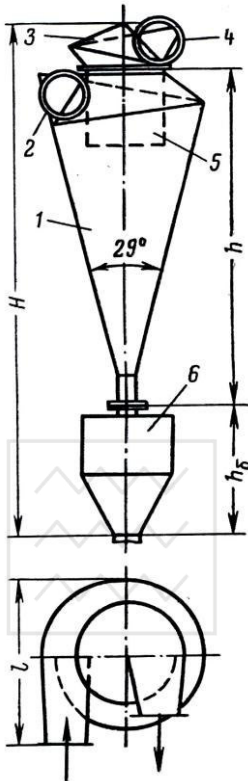


Рис. 7.4. Циклон СИОТ:
1-корпус; 2-вхідний патруб-
ок; 3-розкручувач; 4-
вихідний патрубок; 5-
вихлопна труба; 6-
пилосбірний бункер

Ефективна робота циклонів СИОТ можлива лише за умови герметичності апарату взагалі і процесу розвантаження пилосбірного бункера зокрема.

Інтенсивне зношування стінок циклона СИОТ вимагає застосування зносостійких матеріалів або його виготовлення з листової сталі більшої товщини (5-6 мм).

Основні характеристики циклонів СИОТ наведені в таблиці 7.3.

Зменшення радіуса корпусу в нижній частині апарату призводить до інтенсифікації обертання газового потоку. Це сприяє збільшенню гальмівної сили і покращує процес пилоосадження. Через це циклон СИОТ непрямо, але досить ефективно використовують для тонкого доочищення газового потоку на другій стадії процесу. На жаль, зростання сили притискання частинок до корпусу тягне за собою й підвищене зношування стінки циклону.

Рекомендована швидкість газів у вхідному патрубку – 15÷18 м/с [6, с.230].

Викидання газу в атмосферу здійснюється через розкручувач (див. рис. 7.4), що певною мірою зменшує опір циклона. Діаметр вихлопної труби рекомендується приймати в 1,9 рази більшим за діаметр вхідного патрубка.

Коефіцієнт гідравлічного опору циклона СИОТ має найвище значення серед циклонів першої стадії очищення: $\xi = 4,2$ [7, с.203]. Ця обставина створює додаткову мотивацію для застосування таких циклонів на другій стадії газоочищення, де концентрація торфу в аеросуміші (чи торфогазовій суміші) і, відповідно, втрати тиску менші.



Технічні характеристики циклонів СИОТ

Номер циклона	Продуктивність по вологому газу, $m^3/год.$	Висота, mm			Найбільший розмір біля основи конусу, l, mm	Маса циклону з бункером, kg
		загальна H	циклона h	пилосбірного бункера h_B		
1	1500	2535	1460	865	700	65
2	3000	3455	2105	1060	1000	110
3	4500	4115	2577	1185	1230	160
4	6000	4640	2965	1275	1420	200
5	7500	5115	3307	1360	1580	240
6	8500	5410	3520	1415	1690	300
7	10000	5800	3820	1465	1835	340
8	12500	6385	4250	1565	2040	407
9	15000	6975	4680	1670	2250	477
10	17500	7435	5020	1740	2410	540

Циклони НИИОГаз призначені для застосування на другій стадії очищення. Особливо ефективно вони вловлюють частинки торфу розміром понад 10 μm , а циклони меншого діаметра осаджують і частинки від 5 μm . Тому для успішного вловлювання дрібних частинок декілька невеликих циклонів об'єднують в батареї (з паралельним підключенням двох, трьох, чотирьох, шести чи восьми циклонів) замість одного циклона великого діаметра. При цьому якість очищення газового потоку покращується.

Існують певні вимоги до температури димових газів, які потрапляють до системи газоочищення. Їх температура не повинна перевищувати 400° С, інакше циклони першої стадії очищення будуть швидко виходити з ладу. Температура димових газів на другій стадії очищення суттєво нижча і не загрожує працездатності циклонів. Але існує інша небезпека: при надмірному охолодженні насичених водяною парою димових газів просто в циклоні може відбутися процес конденсації, який призведе до повторного зволоження щойно висушеного торфу і викликатиме корозію циклона. Тому температура газів має бути на 20÷25° С вищою за точку роси. Для виконання цієї умови сушильний процес розраховується так, щоб відпрацьований сушильний агент мав температуру не нижче 80°С, циклони теплоізолюються.

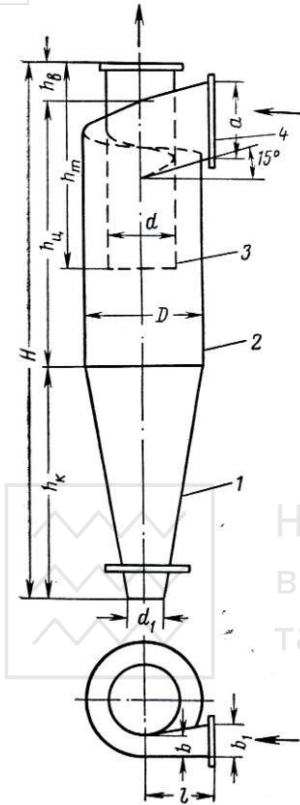


Рис. 7.5. Циклон НИИОГаз:
1-конусна частина корпусу; 2-циліндрична частина; 3-вихлопна труба; 4-вхідний патрубок

На українських торфобрикетних заводах циклони ЦН-15 найбільш розповсюджені в системах другої стадії газоочищення.

Розроблений вкорочений варіант циклона ЦН-15, який маркується ЦН-15у. Він має меншу габаритну довжину, але забезпечує дещо гіршу якість очищення газового потоку.

Основні розміри циклонів ЦН-15 наведені в таблиці 7.4.

Особливістю циклонів НИИОГаз є похиле розташування кришки та вхідного патрубка. Прийняті три кути нахилу: 11, 15 і 24°. Відповідно їм позначення трьох груп циклонів НИИОГаз наступні: ЦН-11, ЦН-15 і ЦН-24. При вході до циклону з малим кутом нахилу вхідного патрубка (ЦН-11) торфогазова суміш рухається по траєкторії з малим кроком витків. Це збільшує тривалість процесу осадження, підвищує вірогідність досягнення частинками торфу стінки корпусу циклона і покращує якість очищення навіть при розмірі частинок матеріалу близько 5 мкм, але, на жаль, збільшує значення гідравлічного опору циклона. Втрати тиску в циклоні з великим кутом нахилу вхідного патрубка (ЦН-24) майже втричі менші, але й ефективність щодо осадження дрібних частинок значно нижча. ЦН-24 рекомендують для вловлювання частинок матеріалу розміром понад 20 мкм. Своєрідною „золотою серединою” є циклони ЦН-15, які поєднують достатню ефективність пилоосадження з прийнятним значенням гідравлічного опору.

Таблиця 7.4

Основні розміри циклонів НИИОГаз ЦН-15 (розміри вказані в мм)

Внутрішній діаметр циклона, D	Зовнішній діаметр вихлопної труби, d	Внутрішній діаметр пилю випускного отвору, d_1	Висота вхідного патрубку, a	Ширина вхідного патрубка циклона, b	Ширина вхідного патрубка біля фланця, b_1	Довжина вхідного патрубка, l	Висота вихлопної труби з фланцем, h_T	Висота циліндричної частини циклона, $h_{ц}$	Висота конусу циклона, h_k	Висота зовнішньої частини вихлопної труби, h_3	Загальна висота циклона, H
40	24	12-16	27	8	10,5	24	100	90	80	42	212
60	36	18-24	40	12	16	36	134	136	120	48	304
80	48	24-32	53	16	21	48	170	181	160	54	394
100	60	30-40	66	20	26	60	204	226	200	60	486
150	90	45-60	99	30	39	90	290	340	300	65	715
200	120	60-80	132	40	52	120	348	452	400	70	912
250	150	75-100	165	50	65	150	435	565	500	75	1140
300	180	90-120	198	60	78	180	522	678	600	90	1368
350	210	105-140	231	70	91	210	610	790	700	105	1595
400	240	120-160	264	80	104	240	696	905	800	120	1825
450	270	135-180	297	90	117	270	783	1017	900	135	2052
500	300	150-200	330	100	130	300	870	1130	1000	150	2280
550	330	165-220	363	110	143	330	957	1242	1100	165	2510
600	360	180-240	396	120	156	360	1045	1356	1200	180	2736
650	390	195-260	430	130	169	390	1130	1470	1300	195	2966
700	420	210-280	462	140	182	420	1218	1582	1400	210	3192
750	450	225-300	495	150	195	450	1305	1695	1500	225	3420
800	480	240-320	528	160	208	480	1392	1808	1600	240	3648

Вибір розміру і кількості циклонів НИИОГаз здійснюється на підставі даних про об'єм газів, які підлягають очищенню. Але в табл. 7.4 дані про продуктивність циклонів відсутні. Визначальним розміром є внутрішній діаметр циліндричної частини D . Якщо відома необхідна продуктивність циклона $V_{ц}$, то діаметр D одиночного циклона може бути розрахований за формулою¹ [6, с.235]

$$D = 0,949 \cdot \sqrt[4]{\frac{V_{ц} \cdot \rho \cdot \xi}{\Delta p}}, \text{ м}, \quad (7.6)$$

де $V_{ц}$ – продуктивність циклона, $\text{м}^3/\text{с}$; ρ – густина газів, що підлягають очищенню, приймається $1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$; ξ – коефіцієнт гідравлічного опору циклона, віднесений до швидкості газів у циліндричній частині; Δp – гідравлічний опір циклона, Па .

Необхідно внести деякі пояснення щодо використання формули (7.6) у практичних розрахунках.

По перше, потрібно зауважити, що коефіцієнт гідравлічного опору (ξ) циклонів НИИОГаз віднесений до швидкості газів у *циліндричній частині* циклона, а не до вхідної швидкості (у вхідному патрубку), як в циклонах ВТИ, ЛИОТ та СИОТ. Тому значення цього параметра, наведені в таблиці 7.5, значно, на порядок, відрізняються від коефіцієнтів гідравлічного опору зазначених апаратів.

Таблиця 7.5

Коефіцієнти гідравлічного опору циклонів НИИОГаз [6, с.234]

Циклон	Для одиночних циклонів діаметром $D \geq 400 \text{ мм}$		Для типових груп циклонів НИИОГаз		
	при роботі на вихлоп	при роботі в мережі	без дифузора	з дифузором	з розкручувачем
ЦН-11	250	245	300	270	255
ЦН-15	160	155	200	180	170
ЦН-15у	170	165	210	190	185
ЦН-24	80	75	-	-	-

¹ Формула відрізняється від наведеної в першоджерелі коефіцієнтом, оскільки за одиницями фізичних величин приведена у відповідність до системи СІ.



Національний університет
водного господарства
та природокористування



Національний університет
водного господарства
та природокористування



Другим важливим моментом, який ускладнює використання формули (7.6), є невизначеність гідравлічного опору Δp . В пригоді стає експериментально одержане оптимальне значення відношення гідравлічного опору до густини газів ($\Delta p/\rho$) в межах $540 \div 736$ н·м/кг.

Таким чином, для визначення діаметра циклона НИИОГаз за формулою (7.6) достатньо знати його потрібну продуктивність $V_{ц}$, вибрати з табл. 7.5 значення ξ і підставити в знаменник під знак кореня число з діапазону $540 \div 736$. По одержаному значенню діаметра D з табл. 7.4 вибирають циклон необхідного розміру.

Варто нагадати, що існують типові схеми батарей з двох, трьох, чотирьох, шести й восьми циклонів НИИОГаз діаметром від 400 до 800 мм. Тому необхідна продуктивність другого ступеня системи газоочищення може досягатись шляхом паралельного з'єднання циклонів меншої продуктивності в батарею.

7.3. Гідравлічні пиловловлювачі

При роботі в оптимальному режимі циклони другого ступеня очищення забезпечують коефіцієнт очищення 80-90% [6, с.234]. Здебільшого це відповідає технологічним вимогам, але недостатньо для дотримання допустимих норм викидів торфового пилу в атмосферу. Сухі механічні апарати здебільшого неспроможні ефективно осаджувати дрібнодисперсний пил в умовах промислового виробництва. Тому третьою стадією є мокре очищення газу від завислих частинок матеріалу шляхом його промивання водою.

На торфобрикетних заводах найбільш розповсюджені скрубери – статичні апарати для промивання газів шляхом розбризкування рідини в замкненому об'ємі, через який проходить газовий потік. Ці апарати обов'язково охолоджують гази нижче точки роси оскільки при конденсації пари осідають навіть найменші частинки матеріалу, які в даному випадку виконують роль центрів конденсації.

На торфобрикетних заводах України найчастіше зустрічаються відцентрові скрубери ВТИ (рис. 7.6). Принципово скрублер нагадує циклон, внутрішні стінки якого зрошуються водою. Однак вихлопна труба відсутня. Гази входять в нижню частину скрубера через тангенційно розташований вхідний патрубок і виходять через верхній отвір корпусу. Промивна вода подається в скрублер через систему форсунок у верхній частині циліндричного корпусу.

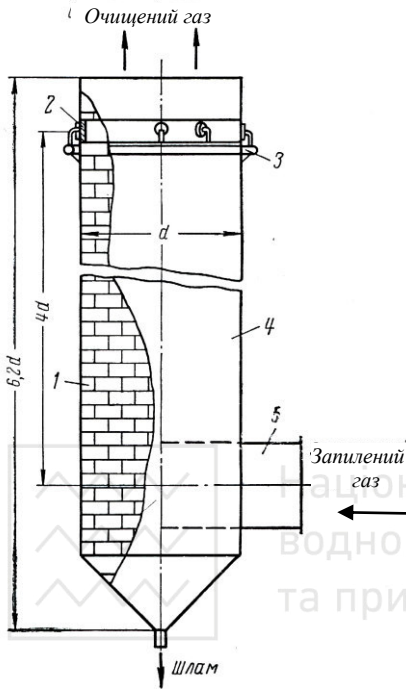


Рис. 7.6. Відцентровий скрублер ВТИ:
1-футеровка; 2-чавунна обичайка; 3-
водопідвідний трубопровід; 4-
циліндричний корпус; 5-вхідний патрубок

виготовляється з листової сталі товщиною 5 мм, його внутрішня поверхня футерується кислототривкою плиткою чи покривається шаром спеціальної гуми. На рівні зрошувальних сопел замість футеровки встановлюється чавунна обичайка [6, с.236].

Скрублери ВТИ виготовляються діаметром 600÷1700 мм і можуть мати як ліве, так і праве обертання димових газів. Як і для циклонів, скруберам при збільшенні їх діаметра притаманне зниження ефективності пиловловлювання. Розмір скрублера вибирається виходячи з об'єму газів, що підлягають очищенню за одиницю часу (табл. 7.6).

Запиленый газ потрапляє до скрубера і набуває обертального руху, піднімаючись при цьому знизу догори. Частилки торфу, яких відцентрова сила відкидає до зрошеної водою стінки корпусу, змочуються водяною плівкою і через конусне дно видаляються зі скрубера у вигляді шламу. Очищений газ через відкриту верхню частину корпусу виходить в атмосферу.

Швидкість газового потоку на вході в скрублер не рекомендується більше 23 м/с, а в циліндричному корпусі – до 6 м/с. За цих умов гідравлічний опір скрублера становитиме близько 470÷490 Па (48÷50 мм вод. ст.). Витрати води для створення рівномірного зрошення скрублера мають складати 0,1÷0,2 л/м³·с, а тиск води – не менше 12 Па (1,2 ата). Корпус скрубера



Основні характеристики відцентрових скрубєрів ВТИ

Макс. продуктивність по вологовому газу, м ³ /с	Діаметр скрубєра, мм		Висота скрубєра, мм	Розміри вхідного патрубєка		Витрати води на зрошування скрубєра, м ³ /год.	Умовний коефіцієнт опору
	зовнішній	внутрішній		Площа поперечного перерізу в частєках внутрішнього діаметра	Довжина, мм		
1,10	600	510	3830	0,8d·0,275 d	809	0,70	46,5
1,35	650	560	4070		856	0,80	44,5
1,60	700	610	4310		902	0,90	42,8
1,85	750	660	4550		948	1,00	41,4
2,15	800	710	4790		995	1,10	40,3
2,50	850	760	5030		1040	1,20	39,4
2,85	900	810	5270		1087	1,30	38,3
3,20	950	860	5510		1133	1,40	37,8
3,55	1000	910	5750		1180	1,50	37,3
4,00	1050	960	5990		1226	1,60	36,9
4,40	1100	1010	6230		1272	1,70	36,6
4,85	1150	1060	6470		1319	1,80	36,2
5,30	1200	1110	6710		1364	1,90	35,8
5,80	1250	1160	6950		1411	2,00	35,4
6,30	1300	1210	7160		1457	2,10	35,2
6,85	1350	1260	7430		1503	2,20	34,9
7,40	1400	1310	7670		1550	2,35	34,7
8,00	1450	1360	7910		1595	2,50	34,4
8,60	1500	1410	8150		1643	2,65	34,1
9,20	1550	1460	8390		1689	2,80	33,9
9,85	1600	1510	8630	1735	2,95	33,8	
10,50	1650	1560	8870	1780	3,10	33,6	
11,20	1700	1610	9110	1827	3,25	33,5	

Гідравлічний (аеродинамічний) опір скрубєра визначається за

формулою
$$\Delta p = \xi \frac{\rho}{2} \left(\frac{4 \cdot V_{CP}}{\pi d^2} \right)^2, \text{ Па}, \quad (7.7)$$



де ξ – умовний коефіцієнт опору скрубера (див. табл. 7.6); ρ – густина газів, що підлягають очищенню (можна приймати $1,2 \text{ кг/м}^3$); V_{CP} – середній об'єм газів, які проходять через скрубера, $\text{м}^3/\text{с}$; d – внутрішній діаметр скрубера, м .

Для мокрого очищення газів оглянемо й інші апарати, які поки що не застосовуються в торфобрикетному виробництві.

Одним з таких апаратів є **скрубера ВТИ з додатковим зрошенням газового потоку у вхідній камері** (мокропрутковий скрубера). Зрошувальна решітка (3 – 4 ряди розташованих у шаховому порядку корозійно стійких прутків діаметром 16 мм) встановлена у вхідній камері і завихрює газовий потік. Частинки матеріалу при цьому змочуються водою, що розбризкується. В іншому скрубера працює аналогічно вже розглянутому звичайному скрубера ВТИ. Мокропруткові скрубери рекомендують використовувати для очищення димових газів від золи.

Колишній Ленінградський НДІ охорони, встановивши на верхній частині корпусу тангенційний патрубков для відведення очищених газів, одержав **циклон ЛИОТ з водною плівкою**.

Для осадження пилу, що погано змочується, застосовуються **пінні апарати**, в яких рідина переводиться в стан рухомої піни. Це забезпечує більшу поверхню контакту і краще вловлювання частинок пилу. Хоча торфовий пил також поверхнево гідрофобний, подібні апарати на торфобрикетних заводах не застосовуються.

Одним з досконалих способів осадження дрібнодисперсного пилу є електричний, який реалізується за допомогою **електрофільтрів**: їх к.к.д. сягає 99%, при цьому гідравлічний опір і витрати електроенергії невеликі. Український дослідник В.Ю. Дещенко* підтвердив ефективність електрофільтрів третьої стадії очищення газів на торфобрикетних заводах, визначив оптимальні параметри процесу осадження торфового пилу в полі коронного розряду: напруга на -

* Володимир Юрійович Дещенко (1937-1986) – колишній викладач кафедри технології торфодобування Українського інституту інженерів водного господарства (м. Рівне) – детально дослідив роботу електрофільтрів, практично завершив дисертацію на тему „Інтенсифікація процесу осадження торфового пилу в полі коронного розряду”. Передчасна смерть перервала продуктивну діяльність В.Ю. Дещенка, який не встиг втілити в життя результати своїх досліджень і здійснити багато творчих задумів.

коронуючих електродах 38 кВ, швидкість газового потоку до 1 м/с, концентрація торфового пилу 18 г/м³, розмір частинок – до 0,063 мм [8].

Однак електрофільтри поки що не знайшли застосування на торфобрикетних заводах нашої країни. Певну роль тут грає страх стосовно вибухонебезпечності електрофільтрів, хоча В.Ю. Дещенко детально опрацював заходи з забезпечення пожежо- та вибухобезпечної роботи цих апаратів. Не останнє значення має й порівняно висока вартість електрофільтрів при не надто жорстких нормах гранично допустимих концентрацій торфового пилу в газових викидах.

Електричне очищення газів в торфобрикетній промисловості (при належній мотивації) може знайти застосування замість мокро-го пиловловлювання. Непрямим підтвердженням цього припущення є успішна робота електрофільтрів на буровугільних брикетних заводах.

7.4. Радіальні вентилятори

Радіальні (або відцентрові) вентилятори є невід'ємною частиною сушильних установок, оскільки забезпечують штучну (примусову) циркуляцію сушильного агента, транспортують у складі аеросуміші (торфо-газової суміші) матеріал, що сохне, подають відпрацьований сушильний агент до системи газоочищення.

Схема радіального вентилятора та його загальний вид (один з численних варіантів) показані на рис 7.7 та 7.8 [18].

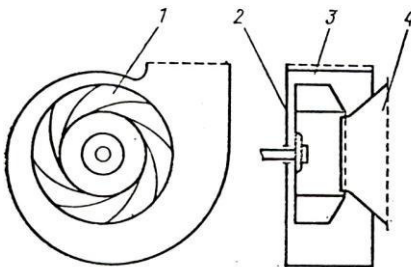


Рис. 7.7. Схема радіального вентилятора: 1-лопаткове колесо; 2-спіральний корпус; 3-вихідний отвір; 4-вхідний отвір.

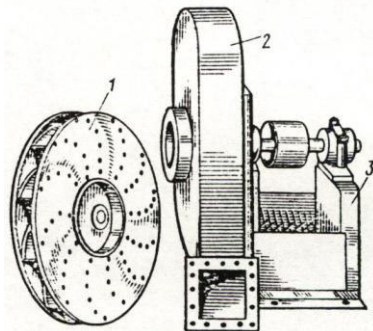


Рис. 7.8. Вид радіального вентилятора (варіант): 1-лопаткове колесо; 2-спіральний корпус; 3-станина



При обертанні робочого лопаткового колеса повітря, яке надходить через вхідний отвір, потрапляє в канали між лопатками колеса, під дією відцентрової сили (звідси назва „відцентровий вентилятор”) пересувається по цих каналах, збирається спіральним корпусом (який нерідко називають кожухом чи завітком) і спрямовується у вихідний отвір. Вихід повітря відбувається під кутом 90° до осі обертання робочого колеса, звідки виникла інша назва вентилятора – радіальний. Вентилятори бувають лівими та правими (скорочені позначення відповідно Л та Пр). Якщо дивитись на вентилятор зі сторони всмоктування, то правим (Пр) є вентилятор, робоче колесо якого обертається за годинниковою стрілкою, а лівим (Л) – проти годинникової стрілки.

Про всяк випадок корисно знати, що при обертанні коліс у протилежному напрямку продуктивність радіального вентилятора різко знижується, але реверсування, тобто зміни напрямку руху повітря на протилежний, не відбувається.

Вентилятори, пристосовані для переміщення повітря разом з механічними домішками називають *пиловими вентиляторами*, а призначені для роботи з димовими газами – *димососами*. В пилових вентиляторах лопатки робочого колеса розташовуються консольно, передній диск відсутній. Бувають робочі колеса й без заднього диска (так зване відкрите колесо). Димососи, що працюють з гарячими газами, насиченими хімічно агресивною випаруваною вологою і абразивними частинками, мають підсилені деталі робочого колеса та броньований лист по твірній завітка. Корпуси опорних підшипників виготовляються у вигляді литих або зварних коробок і заповнені мастилом, що охолоджується проточною водою.

Гідравлічні (аеродинамічні) опори у вентиляторі та у підшипниках вала робочого колеса забирають частину енергії. Корисно спожита частина енергії, тобто та, що передається газу, оцінюється повним к.к.д. вентилятора. Підбираючи вентилятор, потрібно прагнути, щоб величина його повного к.к.д. η була не менше $0,9 \eta_{\max}$.

Для вибору вентилятора потрібно знати його необхідну продуктивність Q і загальний опір системи H . В умовах виробництва майже немінучі підсмоктування повітря через нещільності, які утворюються внаслідок корозії трубопроводів, зношення труб і їх стиків та ін. Тому для забезпечення надійності роботи заводу продуктивність і тиск, що створює вентилятор, доцільно збільшити на 10%:



$$Q_P = 1,1 \cdot Q, \text{ м}^3/\text{год.}, \quad (7.8)$$

$$H_P = 1,1 \cdot H, \text{ кПа} \quad (7.9)$$

Необхідна встановлена потужність електродвигуна приводу вентилятора визначається за формулою

$$N_E = k \frac{Q_P \cdot H_P}{3600 \cdot \eta_B \cdot \eta_{II}}, \text{ кВт}, \quad (7.10)$$

де k – коефіцієнт запасу потужності електродвигуна, здебільшого приймається 1,1. Але при установці гідромуфти чи інших пристроїв для плавного збільшення кількості обертів при пуску значення k приймають 1; η_B – к.к.д. вентилятора, приймається з аеродинамічної характеристики; η_{II} – к.к.д. приводу вентилятора, при безпосередній посадці робочого колеса вентилятора на вал електродвигуна $\eta_{II} = 1$ (рис. 7.9а), при з'єднанні вала вентилятора з валом електродвигуна за допомогою муфти $\eta_{II} = 0,98$ (рис. 7.9б), при застосуванні клинопасової передачі $\eta_{II} = 0,95$ (рис. 7.9в) [6, с. 253].

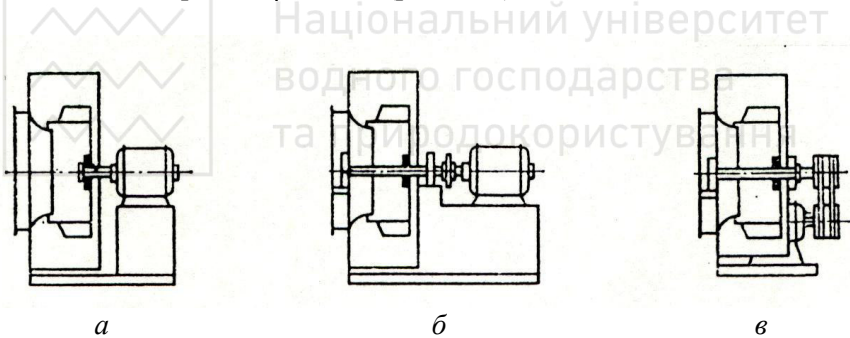


Рис. 7.9. Найбільш розповсюджені способи з'єднання радіальних вентиляторів з електродвигунами: а-безпосередньо; б-через муфту; в-через пасову передачу

Одержане за формулою 7.10 значення потужності дозволяє вибрати в каталозі відповідний електродвигун (найближчий більший за потужністю).

Типовим є розміщення вентилятора після циклонів перед скруббером (рис. 7.10). У цьому випадку доволі агресивна парогазова суміш, що виходить зі скруббера, не потрапляє у вентилятор і не викликає корозії металу.

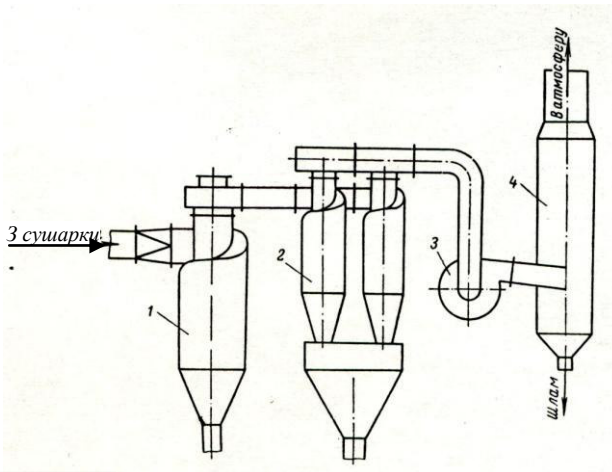


Рис. 7.10. Схема розташування пилоосаджувачів і вентилятора:
1-циклон першого ступеня очищення; 2-батарея циклонів другого ступеня
очищення; 3-вентилятор; 4-скрубер

7.5. Аспіраційні системи торфобрикетних заводів

Призначення аспіраційних систем торфобрикетних заводів полягає у зменшенні запиленості виробничих приміщень і у створенні нормальних санітарно-гігієнічних умов на робочих місцях.

На розповсюджених в Україні торфобрикетних заводах з пневмогазовими сушарками потрібно мати принаймні три автономні системи пиловловлювання:

- від штемпелів торфобрикетних пресів;
- від зівів пресів (в зоні виходу з преса брикетної стрічки);
- від скребкового конвеєра над пресами (у пресовому відділенні).

Викидання частинок висушеного торфу з повітрям, що виходить з матричного каналу у завантажувальну камеру при русі букеля вперед може суттєво погіршити санітарно-гігієнічні умови в пресовому відділенні, понижує продуктивність пресу. По мірі зношування матричних деталей втрати зростають. Система обезпилювання штемпельного преса має таку будову (рис. 7.11):

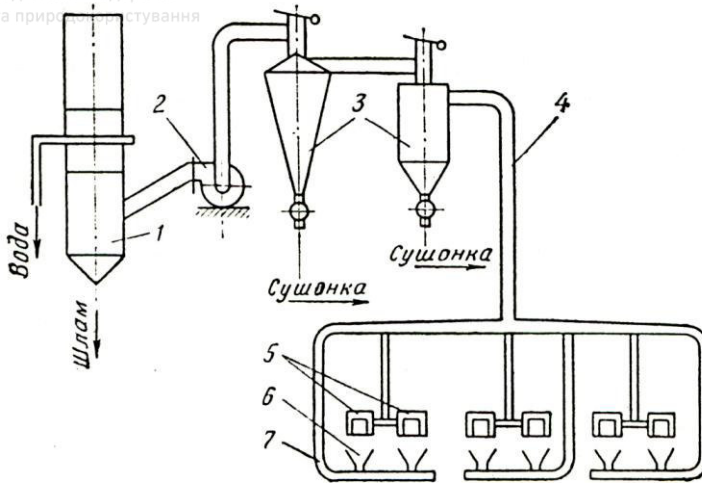


Рис. 7.11. Схема системи обезпилювання штемпельного преса:

- 1-скрубєр; 2-вентилятор; 3-циклони; 4-збірний колектор; 5-вузли пилозйому;
- 6-приймні пристрої під ушіленнями штемпельів;
- 7-трубопроводи

Залежно від ступеня зношення матричних деталей, штемпеля і стану сальникової набивки викид пилу з-під штемпеля при його русі вперед становить від 5 до 65 кг/год. [3, с.177]. Цей пил потрапляє до вузла пилозйому 5 та прийомних пристроїв 7, розрідження в яких створене вентилятором 2 продуктивністю 2200÷2400 м³/год. (на один прес). З швидкістю 20÷30 м/с запилене повітря рухається по трубопроводу 7 у збірний колектор 6, звідки подається до послідовно з'єднаних циклонів 3. Осаджений в циклонах торф знову повертається на брикетування. Після проходження через вентилятор 2 механічно очищене, але все ще запилене повітря подається до мокрого скрубєра 1, де відбувається останній етап вже гідралічного очищення.

Зі сторони зіву преса разом з брикетом виходять пара вологи, а також летючі продукти термічного розпаду торфу на поверхні брикетів. Ці викиди утворюють в повітрі виробничого приміщення туман. Тому система відведення вказаних продуктів одержала назву „система обезтуманювання”. Вона встановлюється спільна на групу з декількох пресів (рис.7.12).

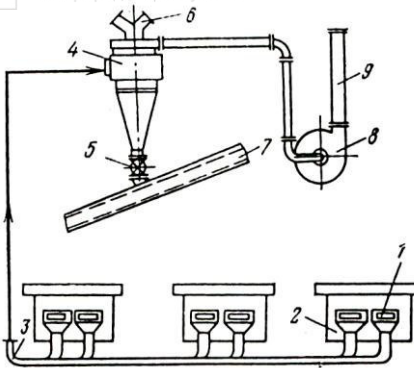


Рис. 7.12. Схема системи обезтуманювання штемпельних пресів: 1-відсмоктувальна камера; 2-штемпельний прес; 3-пилловий колектор; 4-циклон; 5-шлюзовий затвор; 6-вибуховий клапан; 7-скребковий конвеєр пилу й лому; 8-вентилятор; 9-вихлопна труба

Третя аспіраційна система призначена для обезпилювання скребкового конвеєра над пресами. Приклад такої системи для заводу потужністю 30 тис. т брикету на рік показаний на рис.7.13.

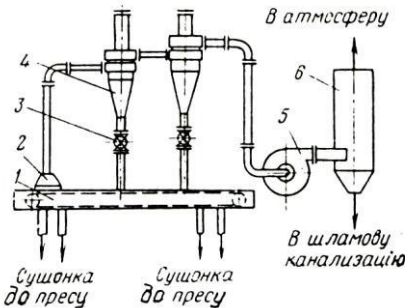


Рис. 7.13. Схема системи обезпилювання конвеєра над пресами: 1-скребковий конвеєр; 2-камера пилівідсмоктування; 3-шлюзовий затвор; 4-циклон; 5-вентилятор; 6-скрубєр

Відсмоктувальні камери 1 встановлюються біля зіву пресу (в зоні виходу кожної брикетної стрічки) і вловлюють викиди (водяну пару, пил та окалину), які з потоком повітря потрапляють до пилового колектору 3 і спрямовуються в циклон 4. Вловлені циклоном частинки пилу та лому (окалини) конвеєром 7 транспортуються в бункер-накопичувач, розташований ззовні, а очищене повітря через вентилятор 8 і вихлопну трубу 9 викидається в атмосферу.

Пил відсмоктується з однієї точки скребкового конвеєра 1, осаджується в двох послідовно змонтованих циклонах 4 типу ЦН-15 і через шлюзові затвори 3 повертається на конвеєр 1. Повітря, яке через вихлопну трубу виходить з циклона, радіальним вентилятором високого тиску 5 марки ВВД-9 подається у відцентровий скрубєр ВТИ (позиція 6) і після проходження мокрого очищення виходить назовні.



7.6. Головні умови безпечної роботи торфобрикетного заводу

Торфовий пил – це не тільки головний фігурант системи газоочищення, а й основне джерело небезпек при роботі брикетного заводу. Торфобрикетне виробництво є вибухо- та пожеженобезпечним. Завислий у повітрі торфовий пил може вибухнути в сушильному та пресовому відділеннях, в сушарках, апаратах і трубопроводах системи газоочищення.

Самозаймання торфового пилу (при тих кількостях, в яких він накопичується на доглянутих торфобрикетних заводах), а тим більше його самочинного вибуху не спостерігається*. Неодмінною умовою виникнення загоряння чи вибуху є наявність зовнішнього джерела вогню. Тому заходи пожежної безпеки являють собою перший і вкрай важливий елемент комплексу засобів забезпечення безаварійної роботи виробництва.

Температура займання торфового пилу знаходиться в межах $220\div 240^{\circ}\text{C}$, а найбільша небезпека вибуху має місце при вологості частинок торфу менше 20% і їх розмірі до 0,15 мм [3, с.242].

Суттєва роль концентрації пилу в повітрі, а також складу й вологовмісту повітря: вірогідність вибуху значно зростає, якщо концентрація становить $1000\div 5000\text{ мг/м}^3$, вміст кисню досягає 16 %, а вологовміст повітря менше 280 г/кг [3, с.242]. В той же час варто пам'ятати, що навіть при концентрації $13\div 16\text{ кг/м}^3$ торфо-повітряна суміш залишається вибухонебезпечною [6, с.266]. Таким чином, в умовах торфобрикетних заводів аеросуміш газових трактів завжди перебуває у вибухонебезпечному стані.

На торфобрикетних заводах України, оснащених пневмогазовими шахтномлинними сушарками, головним джерелом зовнішнього вогню є технологічні топки. При порушенні регламенту їх роботи розжарені частинки палива разом з димовими газами можуть потрапити в сушильну систему і ініціювати вибух суміші. Оптимізація роботи технологічної топки передбачає також одержання димових газів потрібної температури без надмірного її перевищення, оскільки подальше вимушене (для пониження температури газів) додавання холодного повітря неминуче призводить до збільшення вміс-

* На заводах з паровим сушінням торфу можливе самозаймання торфового пилу, що накопичується в „мертвих просторах”.



ту кисню і підвищує небезпеку вибуху. Нагадаємо, що при вмісті O_2 в газовому потоці менше 16 % вибух не відбувається.

Для розробки заходів щодо мінімізації шкоди, яку завдає вибух, необхідно знати механізм цього явища. Процес вибуху пилу торфу – це інтенсивне горіння газифікованих летючих речовин, що входять до складу цієї корисної копалини. Швидкість розповсюдження фронту полум'я при цьому досягає $30\div 35$ м/с [6, с. 261]. Інтенсивне горіння пилу призводить до місцевого підвищення тиску, утворюється вибухова хвиля, яка рухається безпосередньо за фронтом полум'я. Вона може зруйнувати в першу чергу віконні та двірні прорізи, слабкі місця покрівлі і навіть стіни. Описаний процес можливий при великих відкладеннях дрібнодисперсного торфового пилу. Виникнення подібних відкладень при дотриманні правил експлуатації торфобрикетних заводів не допускається.

Більш звичайним є загорання місцевого значення. Але й воно може викликати невеликий хлопок, який ініціює розвиток подій за дещо іншим сценарієм.

Хлопок збуджує хоча й невеликі, але наближені до нього відкладення пилу, переводить пил у завислий стан з утворенням концентрацій, які можуть викликати більш потужний вибух. В цьому випадку ударна хвиля йде попереду фронту полум'я і в процесі руху піднімає нові порції пилу, створюючи цим поживне середовище для розповсюдження полум'я. Ефект вибуху при цьому зростає.

В момент вибуху торфо-повітряної суміші максимальний тиск в замкненому просторі не перевищує 350 кПа ($3,5$ *атм** - [6, с. 262]). Головною загрозою здоров'ю і життю людей, що опинилися в зоні вибуху, вважається полум'я.

Зрозуміло, що пріоритетними є питання недопущення виникнення умов, які сприяють небезпеці вибуху.

Так на заводах з пневмогазовими сушарками особлива увага приділяється герметичності системи, недопущенню підсмоктування повітря через нещільності, оскільки при цьому вміст кисню в димових газах може перевищити вибухобезпечну норму.

* Застаріла одиниця надлишкового (избыточного – *рос.*) тиску, яка часом використовується виробничниками і зустрічається в написах на старому обладнанні, в його технічних характеристиках та ін. $1 \text{ атм} = 98066,5 \text{ н/м}^2 \approx 100 \text{ кПа} \approx 0,1 \text{ МПа}$.



Важливим є оснащення сушильно-топкових установок контрольно-вимірювальними приладами для реєстрації температури і складу димових газів.

З метою недопущення накопичування торфового пилу внутрішні стіни приміщень мають виготовлятися рівними, без виступів, їх слід фарбувати світлою фарбою або облицювати кахельною плиткою. Кут нахилу підвіконь – не менше 50° , всі місця можливого осідання пилу мають бути легкодоступними для прибирання. Якщо це не загрожує електробезпеці, практикують вологе прибирання, фактично змивання торфового пилу струменем води, для чого підлога має водостоки і виготовляється з водостійкого матеріалу.

Трубопроводи сушильної системи як правило не повинні мати горизонтальних ділянок, рекомендований кут їх нахилу до горизонту – не менше 45° .

Для уникнення завалу пневмогазової сушарки торфом необхідно забезпечити автоматичне вимкнення живильника бункера сировини у випадку аварійної зупинки вентилятора. Зрозуміло, що й «ручні» вимикачі, приміром – стрічкового конвеєра, який подає торф з бункерної сировини, також повинні бути у справному стані.

Слід рекомендувати автоматичне впрыскування води в сушарку у випадку надмірного підвищення температури газового потоку замість поспішного підмішування холодного повітря: водяна пара, яка утворюється при подаванні води, збільшує вологовміст газів вище нормативної межі і робить їх вибухобезпечними.

Відомі два принципи пасивного захисту сушильних установок від вибуху. Перший полягає в тому, що всі елементи установки виготовляються настільки міцними, що витримують і ударну хвилю, і полум'я вибуху. Однак цей принцип потребує великих матеріальних витрат як на виготовлення, так і на експлуатацію обладнання. Тому на торфобрикетних заводах знайшов застосування другий принцип, який полягає у використанні запобіжних клапанів, через які видаляються газоподібні продукти вибуху для врівноваження тиску з атмосферним. Клапан має спрацьовувати в тому випадку, коли надлишковий тиск досягає значення 40 кПа ($0,4 \text{ атм}$). Сумарна площа поперечного перерізу всіх запобіжних клапанів при вищевказаному розрахунковому надлишковому тиску в сушарці приймається не менше $0,04 \text{ м}^2$ на 1 м^3 об'єму сушарки [6, с. 271].

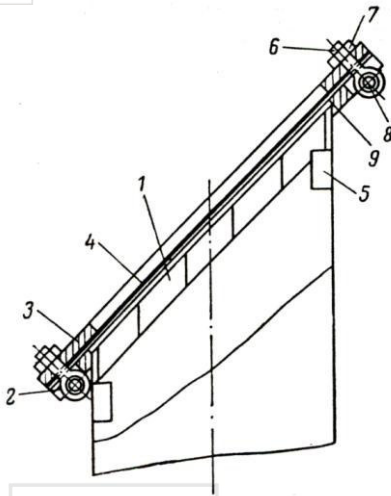


Рис. 7.11. Похилий запобіжний клапан: 1-решітка; 2-фланець нижній; 3-фланець верхній; 4-діафрагма; 5-упор; 6-болт відкідний; 7-гайка; 8-вісь; 9-прокладка

Розрахунковий надлишковий тиск в циклоні приймається 150 кПа ($1,5 \text{ атм}$), і переріз запобіжного клапана має становити не менше $0,025 \text{ м}^2$ на 1 м^3 об'єму циклона.

На бункерах висушеного торфу переріз клапанів приймається з такого розрахунку: $0,0025 \text{ м}^2$ на 1 м^3 об'єму бункера, але не менше $0,5 \text{ м}^2$.

В трубопроводах переріз кожного клапана має бути не менше 70 % перерізу труби (газоходу, з'єднувального трубопроводу).

Розроблені похилі і горизонтальні вибухові клапани (рис. 7.11 та 7.12).

Запобіжні клапани мають розташовуватись з таким розрахунком, щоб не створювати небезпеки на робочих місцях і в проходах.

Якщо ж не вдається розмістити клапани так, щоб не піддавати небезпеці персонал, доводиться використовувати відвідні трубопроводи. Нерідко клапани виносяться за межі будівлі, при цьому трубопроводи, що відводять вибухові гази, розташовуються або вертикально, або під кутом до горизонту не менше 45° (див. рис. 7.11).

Запобіжні клапани виготовляються з жерсті завтовшки до $0,5 \text{ мм}$, діаметром до 1 м . Якщо діафрагма алюмінієва, то її товщина може бути $0,5 \div 1,0 \text{ мм}$, а по середній лінії робиться надріз на половину товщини (див. рис. 7.12, вид *B-B*). Матеріалом клапана може бути й азбест, якщо клапан знаходиться в приміщенні, а діаметр діафрагми не перевищує 400 мм .



Горизонтальні вибухові клапани використовуються переважно на пневмогазових сушарках.

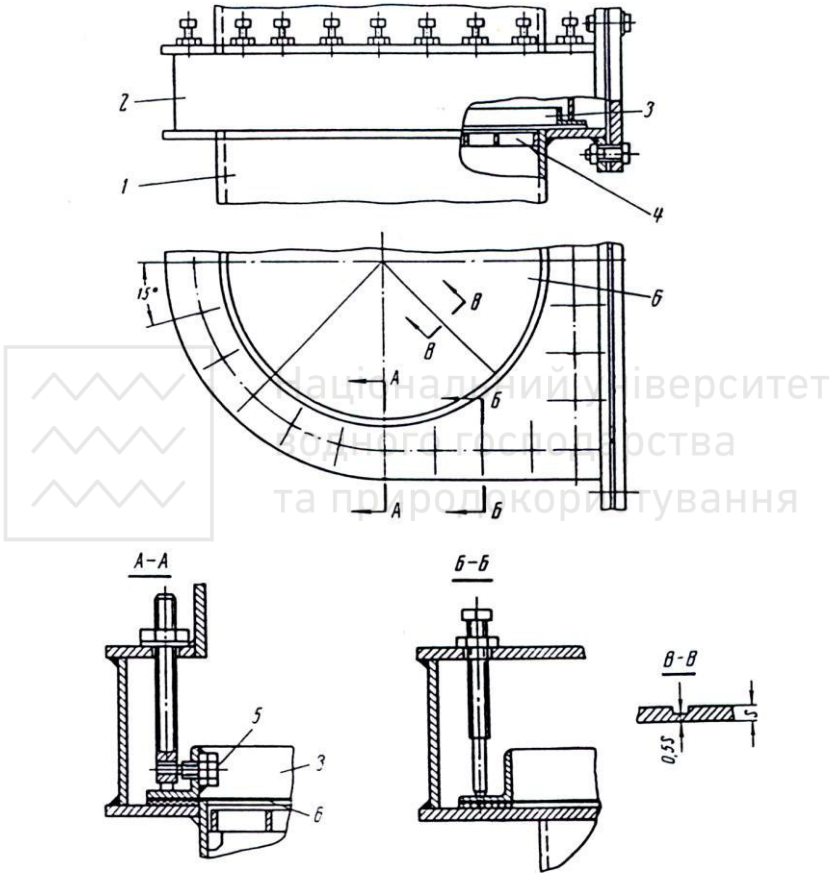


Рис. 7.12. Горизонтальний вибуховий клапан: 1-труба сушарки; 2-корпус вибухового клапана; 3-рамка кріплення діафрагми; 4-решітка; 5-фіксатор; б-діафрагма



При спрацюванні вибухових клапанів в установках миттєво утворюється розрідження. Тому атмосферне повітря прагне потрапити всередину установки, несучи з собою небезпеку повторних вибухів, оскільки первинний підіймає в повітря і підпалює нові порції пилу, яка при зустрічі зі свіжим повітрям може вибухнути ще потужніше.

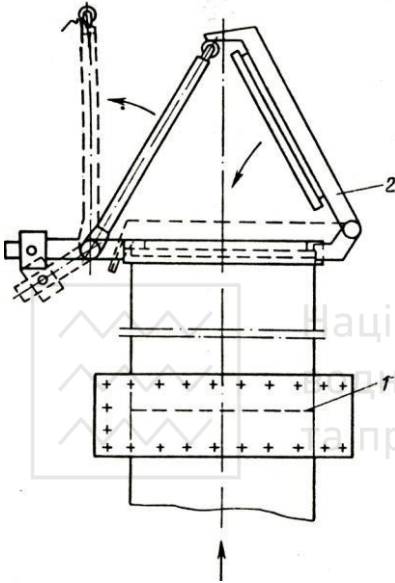


Рис. 7.13. Запобіжний клапан зі зворотним клапаном: 1-горизонтальний запобіжний клапан; 2-зворотний клапан; 3-упор

Цим самим перекривається надходження в сушарку повітря і унеможливується виникнення вторинного вибуху.

Для ділянок сушильних систем, які працюють під розрідженням, можуть бути рекомендовані рухомі запобіжні клапани (рис. 7.14).

Для запобігання повторним вибухам рекомендується створювати такі конструкції клапанів, які б виключали можливість засмокткування повітря після евакуації продуктів вибуху. Для цього можна використати зворотний клапан, який унеможливує потрапляння зовнішнього повітря до сушарки безпосередньо після первинного вибуху.

В конструкції Белдіпроторфу при штатній роботі сушарки зворотний клапан 2 (рис. 7.13) перебуває у піднятому положенні, спираючись на упор 3. В момент вибуху упор виходить з зачеплення, і кришка зворотного клапана 2 під дією власної ваги займає положення, показане пунктиром, і перекриває верх відводу.

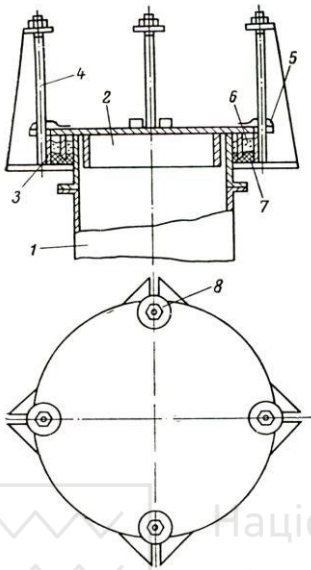


Рис. 7.14. Рухомий запобіжний клапан: 1- труба; 2-клапан; 3-корпус (обичайка); 4- направляюча стійка; 5-пружина; 6-пісок; 7- шлаковата; 8-шайба

приміщення ударна хвиля. Для сушильного і пресового відділень площа віконних прорізів приймається з розрахунку $0,03 \text{ м}^2$ на 1 м^3 об'єму приміщення.

З метою недопущення накопичення пилу на східцях і майданчиках всередині приміщення вони виготовляються решітчастими.

Для попередження загорання і вибуху торфового пилу торф, який залишився в сушарці перед її ремонтом, має бути обов'язково прибраним, а важкодоступні для огляду місця повинні бути залити-ми водою.

Зрозуміло, що запорукою безпечної роботи торфобрикетного заводу є дисциплінованість персоналу щодо паління і використання відкритого вогню, фахова підготовленість працівників, їх уважність та обережність.

Вони мають рухомий диск з привареним до нього запірним кільцем, що входить в кільцевий канал, заповнений шлаковатою і піском. Це створює достатню герметичність між рухомою і нерухомою частинами пристрою. В момент вибуху клапан рухається по стійках вгору, відкриває отвір, випускає продукти вибуху після чого під дією власної ваги опускається на своє місце, знову перекриваючи відвід.

Для недопущення руйнування стін внаслідок вибуху рекомендується мати достатню площу віконних прорізів, через які вийде з



8. ТЕХНОЛОГІЧНІ ТОПКОВІ ПРИСТРОЇ

8.1. Загальна характеристика топкового процесу

Газовий теплоносіє-сушильний агент одержується на торфобрикетних заводах в спеціальних технологічних топках. Характер горіння палива в них має характерні особливості. Факел полум'я безпосередньо не контактує з поверхнями, що сприймають теплове випромінювання (приміром – з трубами, як це має місце в парових котлах, чи ін.), тому температура ядра факела виявляється дещо вищою і концентрується в порівняно невеликому об'ємі. З цієї ж причини зростає небезпека шлакування золи, тому аеродинамічні процеси режиму горіння мають бути ретельно обґрунтовані.

Перебіг топкового процесу достатньо повно характеризується трьома показниками:

- температурою одержаних димових газів;
- об'ємом димових газів;
- коефіцієнтом корисної дії топки.

Температура сушильного агента на вході в сушарку практично може дорівнювати температурі горіння палива, якщо виключити розбавлення топкових газів повітрям і втрати теплоти у довкілля.

В реальних топкових пристроях без прямого віддавання теплоти температура димових газів (в градусах Цельсія) становить

$$T = \frac{Q_H^P \cdot \eta_T + \alpha \cdot V^o \cdot c_{п.п.} \cdot T_{п.п.} + c_T \theta}{V_{п.з.} \cdot c_{п.з.} + V^o (\alpha - 1) \cdot c_{п.п.}}, \quad (8.1)$$

де Q_H^P - нижча теплота згорання робочої маси палива, Дж/кг;

η_T - к.к.д. топкового пристрою; α - коефіцієнт надлишку повітря; V^o - теоретично необхідний об'єм сухого повітря для повного згорання палива, м³/кг; $c_{п.п.}$ - теплоємність повітря з початковою температурою $T_{п.п.}$, Дж/(м³·град.); c_T - теплоємність торфу як палива, Дж/кг·град.; θ - початкова температура палива, °С; $V_{п.з.}$ - об'єм продуктів згорання, м³/кг; $c_{п.п.}$ та $c_{п.з.}$ - відповідно теплоємність повітря та продуктів згорання при температурі продуктів згорання. Останні два параметри визначаються по таблиці 8.1 [3, с.80]



Теплоємність повітря і продуктів згорання, $\text{Дж}/\text{м}^3 \cdot \text{град}$

Температура, °С	Сухе повітря	Складові частини димових газів і їх теплоємність					
		O ₂	N ₂	CO	CO ₂	H ₂ O	SO ₂
0	1.2971	1.3059	1.2946	1.2992	1.5998	1.4943	1.733
100	1.3004	1.3176	1.2958	1.3017	1.7003	1.5042	1.813
200	1.3071	1.3352	1.2996	1.3071	1.7873	1.5223	1.888
300	1.3172	1.3561	1.3067	1.3167	1.8627	1.5424	1.955
400	1.3289	1.3775	1.3163	1.3289	1.9297	1.5654	2.018
500	1.3427	1.3980	1.3276	1.3427	1.9887	1.5897	2.068
600	1.3565	1.4168	1.3402	1.3574	2.0411	1.6148	2.114
700	1.3708	1.4344	1.3536	1.3720	2.0884	1.6412	2.152
800	1.3842	1.4499	1.3670	1.3862	2.1311	1.6680	2.181
900	1.3976	1.4645	1.3796	1.3996	2.1692	1.6957	2.215
1000	1.4097	1.4775	1.3917	1.4126	2.2035	1.7229	2.236
1100	1.4214	1.4892	1.4034	1.4248	2.2349	1.7501	2.261
1200	1.4327	1.5005	1.4143	1.4361	2.2638	1.7769	2.278
1300	1.4432	1.5106	1.4252	1.4465	2.2898	1.8028	-
1400	1.4528	1.5202	1.4348	1.4566	2.3136	1.8280	-
1500	1.4620	1.5294	1.4440	1.4658	2.3354	1.8527	-

Теоретично необхідний об'єм повітря для повного згорання палива, коефіцієнт надлишку повітря – поняття, які вже розглядалося в розділі 4 цієї книги (див формули 4.14, 4.17 та 4.59). Однак розрахунок топкових пристроїв має свої особливості.

Так, приміром, теоретично необхідний об'єм повітря для повного згорання палива визначається не в $\text{кг}/\text{кг}$, а в $\text{м}^3/\text{кг}$ і через елементний склад торфового палива розраховується за формулою [3, с.81]

$$V^o = 0.089(C^p + 0.375 \cdot S^p) + 0.265 \cdot H^p + 0.033 \cdot O^p, \text{ м}^3/\text{кг} \quad (8.2)$$

Об'єм продуктів згорання (димових газів), що утворюються при згоранні 1 кг торфу, складається з трьох компонентів: об'ємів сухих трьохатомних газів $V_{RO_2}^o$, азоту $V_{N_2}^o$ та водяної пари $V_{H_2O}^o$:

$$V_{\text{ПЗ}} = V_{RO_2}^o + V_{N_2}^o + V_{H_2O}^o \text{ м}^3/\text{кг} \quad (8.3)$$

В свою чергу $V_{RO_2}^o = 1,886 \cdot (C^p + 0,375 \cdot S^p) / 100$;

$$V_{N_2}^o = 0,79 \cdot V^o + 0,8 \cdot N^p / 100;$$

$$V_{H_2O}^o = 0,111 \cdot H^p + 0,0124 \cdot W^p + 0,016 \cdot V^o.$$

**Коефіцієнт корисної дії** топкового пристрою

$$\eta_T = 100 - (q_3 + q_4 + q_5) / 100, \quad (8.4)$$

де q_3 та q_4 – втрати теплоти від хімічної та механічної неповноти горіння, %; q_5 – втрати теплоти від випромінювання у довкілля через обмурівку топки, %. К.к.д. топкових пристроїв у відкритому виконанні становить $\eta_T = 0,90 \div 0,95$ [3, с.82].

Важливою вимогою до топкових пристроїв є можливість забезпечити якомога повніше згорання палива при найменшому коефіцієнті надлишку повітря. При цьому, по перше, досягається вища температура топкових газів і, по друге, знижується вибухонебезпечність процесу. Торфоповітряна суміш стає вибухонебезпечною при концентрації твердих частинок в ній від $0,16 \div 0,18$ до $13 \div 16$ кг/м³, тиску $0,30 \div 0,35$ МПа і вмісті кисню понад 16%. Тому коефіцієнт надлишку повітря має бути таким, щоб вміст O_2 в продуктах згорання не перевищував вказаного значення. Такий інертний теплоносії одержується при спалюванні торфу з коефіцієнтом надлишку повітря не більше $\alpha = 2,5 \div 3,9$ залежно від вологості палива. Достатньо інформативним показником вибухонебезпечності процесу є температура димових газів на вході до сушарки: при вологості торфу 30 – 50 % вона має бути в межах $550 - 700^\circ\text{C}$ [5, с.498].

8.2. Технологічні топки

На українських торфобрикетних заводах найбільшого розповсюдження набули факельно-шарові топки системи проф. С.В. Татищева. Це зумовлено простотою конструкції топки, її достатньо високою економічністю і здатністю спалювати торф підвищеної вологості з деревними включеннями в широкому діапазоні навантажень.

Факельно-шарова топка (рис. 8.1) складається з таких найважливіших елементів: двох паливних живильників 6, двох шахт для підсушування 7, двох розподільних столів 8, двох сопел пневмозакидачів 9, шурувальної планки 10, колосникової решітки 12, шлакового бункера із затвором 13, задньої гірки 3 з соплом відсічного дуття 14, сопел вторинного дуття 15 та інших елементів, показаних на рис. 8.1.

Спалювання торфу в топці відбувається наступним чином. Двома паливними живильниками 6 фрезерний торф з бункера 5 подається через дві шахти на розподільні столи 8. За час проходження шахтою 7 торф підсушується теплом газів, які ежектуються з топки. Їх температура сягає 1000°C .

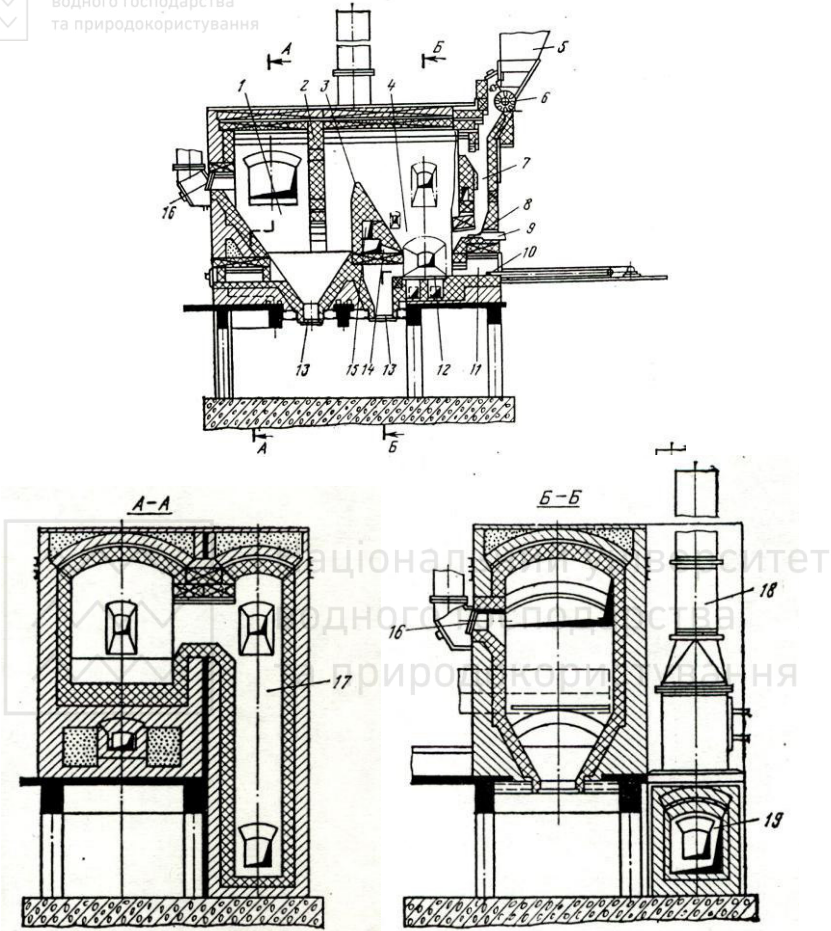


Рис. 8.1. Схема факельно-шарової топки системи С.В. Татищева

З розподільних столів 8 паливо здувається повітрям, що подається через сопла пневматичних закидачів 9. Підсушені та розігріті дрібні частинки торфу відвіюються газоповітряним потоком і спрямовуються в топковий простір камери згорання 4, де швидко згорають у завислому стані.



Крупніші ж фракції торфу розподіляються по колосниковій решітці 12 наступним чином: найкрупніші – неподалік від стола 8 пневмозакидача 9, а дещо менші – на певній віддалі від нього. Основна маса палива потрапляє на шар, що горить, тому процес горіння є стійким, з ефективним вигоранням горючих елементів торфу. Інтенсивне виділення теплоти з шару створює сприятливі умови для підготовки палива як під час польоту частинок, так і в самому шарі. Шлак, що утворюється на колосниковій решітці 12, видаляється шурувальною планкою 10 в шлаковий бункер (на рис. показаний затвор 13 цього бункера). Планка періодично розшуровує шар палива на решітці і у випадку виникнення завалів розриває їх. В такий спосіб на колосниковій решітці підтримується порівняно рівний шар палива, що горить. Оскільки планка має сталу довжину ходу і не доставає кінця решітки на 300 мм, на останній ділянці решітки накопичується шлак (у вигляді невеличкої гірки), що сприяє найкращому вигоранню з шлаку горючих елементів.

Кількість палива, що подається в топку, регулюється шляхом зміни швидкості обертання двигуна приводу паливних живильників 6, а дальність його закидання – зміною тиску перед соплом пневмозакидача 9 шляхом відкривання чи закривання засувки.

Регулювання повітря, яке подається в топку, виконується направляючим апаратом, а при його відсутності – засувкою вентилятора (на рис. не показані). Шибєрні засувки є й на повітропроводах, і ними регулюється кількість повітря, що подається в ту чи іншу точку топку.

Режим роботи топку відстежується за допомогою контрольно-вимірвальних приладів, встановлених на пульті. Вони контролюють:

- температуру продуктів згорання при проходженні газоходами;
- вміст трьохатомних газів (RO_2) в продуктах згорання;
- тиск повітря по різних вводах (тягонапірміри);
- розрідження в топці (тягоміри).

Для контролю за навантаженням електродвигунів використовують амперметри, а для контролю тиску повітря перед соплами – V-подібні манометри, які встановлюються на фронті топку.

Технічна характеристика топку наведена в таблиці.



Технічна характеристика технологічної топки системи
проф. С.В.Татищева

Показник	При продуктивності заводу <i>тис. т брикету/рік</i>	
	30	60
Тип топки	Факельно-шарова	Факельно-шарова
Тепловиділення топки, <i>МДж/год.</i>	16,7	33,5
Габарити топки (внутрішні), <i>мм</i> :		
- ширина	2190	2190
- глибина	2000	2200
- висота	3300	5100
Об'єм топки, <i>м³</i>	19,4	33,3
Площа колосникової решітки, <i>м²</i>	2,50	3,11
Кількість пневмозакидачів	2	2
Висота розташування пневмозакидувачів над решіткою, <i>мм</i>	1000	1000
Площа перерізу вихідного отвору сопла пневмозакидувача, <i>м²</i>	0,0129	0,0129
Висота перерізу вихідного отвору сопла, <i>мм</i> :		
максимальна	70	70
мінімальна	35	35
Площа перерізу підсушувальної шахти, <i>м²</i>	0,165	0,270
Кількість паливних живильників	2	2
Кількість комплектів шурувальної планки	1	1

Головною умовою нормальної роботи топки є створення розрідження в верхній частині топкової камери не менше 40÷50 Па, інакше спостерігатиметься димлення, яке буде ускладнювати роботу топки і її обслуговування.

Широка розповсюдженість топок системи Татищева пояснюється декількома їх перевагами: повною механізацією процесів спалювання палива і золовидалення, підвищеною теплонапругою, і, як наслідок, меншим об'ємом і меншими витратами на спорудження. Спалювання торфу без попереднього подрібнення знижує питомі витрати електроенергії, а понижений винос золи сприяє меншому зазоленню сушонки.



В цей же час необхідно визнати, що топка С.В.Татищева являє собою складну капітальну споруду масою понад 407 т (без живильника і вентилятора), що складається з 387 т вогнетривкої цегли (діамова та шамотна цегла) та понад 20 т металоконструкцій. Спорудження таких топок вимагає великих капітальних затрат і висококваліфікованого персоналу. Успішна й тривала експлуатація топок системи С.В.Татищева можлива лише при їх постійній роботі в стабільному режимі, без значних коливань температури в топці і, зрозуміло, без швидких зупинок і пусків.

Сучасні реалії торфобрикетного виробництва роблять технологічні топки найбільш вразливою ланкою всього технологічного ланцюга: при неритмічному збуті брикету і відносно невеликих об'ємах складів готової продукції заводи нерідко змушені суттєво знижувати потужність або й зупинитись. Наступний пуск топки і виведення її на штатний режим потребують значного часу, призводять до непродуктивних економічних втрат і негативно відбиваються на тривалості експлуатації вогнетривкого шару топки. Вимушена підтримка роботи топки у звичайному чи у «черговому» режимі призводить до непродуктивних витрат технологічного палива (фрезерного торфу) та електроенергії (електроприводи вентиляторів та живильників), оскільки завод не випускає нормативної кількості продукції.

Розроблені в Білоруському інституті БелНИИТоппроект теплогенератори ТЦВС-3 значною мірою позбавлені перелічених недоліків: при аналогічній топці Татищева теплопродуктивності (також достатній для роботи торфобрикетного заводу потужністю 30 тис. т брикету на рік) їх маса у 13,5 рази менша, а маса вогнетривкої цегли менша майже у 16 разів! Теплогенератор виводиться на штатний режим роботи лише за одну годину, при належній підготовці персоналу може без руйнівних наслідків і економічних втрат не тільки суттєво змінювати продуктивність, а й швидко зупинитись, що дозволяє регулювати роботу заводу з урахуванням поточного попиту на брикет і уникати непродуктивних витрат технологічного палива та електроенергії. Позитивним є також те, що теплогенератори можуть виготовлятися централізовано, персоналом достатньої кваліфікації, який також буде забезпечувати монтаж практично готового генератора на тому чи іншому торфобрикетному заводі.



Порівняльні технічні характеристики факельно-шарової топки системи Татищева та теплогенератора ТЦВС-3 для торфобрикетних заводів продуктивністю 30 тис. т брикету на рік

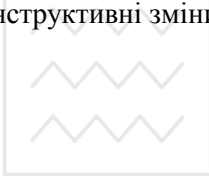
Параметр	Числові значення параметру	
	топка Татищева	теплогенератор ТЦВС-3
1. Теплова потужність, $MВт$ ($Gкал/год.$)	4,6 (4,0)	3,7 (3,2)
2. Об'єм активного топкового простору, $м^3$	19,4	7,4
3. Теплова напруга об'єму топкового простору, $кВт/м^3$	244	500
4. Площа колосникової решітки, $м^2$	2,50	1,65
5. Коефіцієнт корисної дії, %	90-95	95-96*
5. Габаритні розміри, $мм$:		
довжина, $мм$	8940	4280
ширина, $мм$	5475	3440
висота, $мм$	6100	4650
6. Маса (без живильника і вентилятора), $т$	407,6	30,4
в т.ч. вогнетривких матеріалів, $т$	387	23,0

Завдяки зусиллям керівництва державного підприємства „Рівне-торф”, при допомозі Державного комітету України з енергозбереження від розробника теплогенератора – Білоруського науково-дослідного і проектного інституту паливної промисловості – одержані технічна документація і ліцензія на право виготовлення ТЦВС-3 в Україні. Щоправда, перш ніж виготовляти і встановлювати теплогенератори на українські торфобрикетні заводи з шахтно-млинними сушарками, важливо обміркувати деякі принципові моменти. Справа в тому, що при експлуатації ТЦВС-3 рекомендована номінальна продуктивність димососа-вентилятора становить 23-25 тис. $м^3/год.$ Така продуктивність забезпечує високу швидкість димових газів, достатню для золовидалення. При експлуатації теплогенератора з пневмогазовими трубами-сушарками (а в Білорусі це саме так) висока швидкість торфо-газової

* За інформацією, наданою розробником у тендерній пропозиції.



суміші є штатним режимом роботи сушильної установки. Додаткове зазолування сушонки золою палива при цьому, за розрахунками автора, не перевищує 3 %. При опрацюванні питання придбання технічної документації ТЦВС-3, в чому автор також брав участь, українській стороні була продемонстрована висока ефективність теплогенераторів на декількох торфобрикетних заводах Білорусі (Кобринський, Глинка), оснащених пневмогазовими трубами-сушарками. Однак для розповсюджених в Україні пневмогазових сушарок з шахтним млином надто висока швидкість торфогазового потоку може стати неприпустимою, оскільки й вологі частинки не затримуватимуться в зоні шахтного млина, а сама шахта при цьому втратить функцію сепаратора. Остаточна відповідь на питання щодо доцільності й ефективності застосування ТЦВС-3 на заводах з шахтно-млинними сушарками може бути одержана після ретельного інженерного аналізу всього комплексу подібних нюансів. Не виключено, що для реалізації незаперечних переваг теплогенератора в наших умовах доведеться піти й на певні конструктивні зміни в сушильних установках.





9. СКЛАДУВАННЯ ТА ЗБЕРІГАННЯ БРИКЕТІВ

Склад готової продукції торфобрикетного заводу призначений для виконання трьох корисних функцій: витримки, зберігання і відвантаження брикетів споживачам.

Як вже вказувалось в розділі 6, при виході з пресу брикети мають високу температуру і недостатню міцність. Їх зміцнення відбувається в процесі охолодження, яке відбувається як в охолоджувальних лотках, так і на складі. Тривалість стабілізації міцності та водовбирності брикетів (за даних умов) і визначає мінімально необхідний час витримки та мінімальну місткість складу.

Звісно, інтенсивність охолодження значною мірою визначається зовнішніми чинниками: різницею температур поверхні брикету та навколишнього повітря і коефіцієнтом конвективної тепловіддачі. Орієнтовно можна вважати, що охолодження брикетів до температури довкілля завершується на складі протягом 8 – 11 годин, а стабілізація міцності триває протягом 20 – 24 годин [3, с. 196].

Торфові брикети мають бути захищені від атмосферних опадів і ґрунтових вод, оскільки під впливом води вони можуть набрякати і руйнуватись.

На складі брикети зберігаються навалом у спеціальних бункерах (будуть показані нижче) або на майданчиках з твердим покриттям. За певних умов маркетингового характеру прогресивним може стати пакування брикетів на піддони і в спеціальні контейнери.

9.1. Охолоджувальні лотки

Про охолоджувальні лотки («кулерини») була згадка в розділі 6 цієї книги. Торфові брикети виходять з матричного каналу пресу в стислому стані і з температурою на поверхні до 100-130°C. Тому головне призначення лотків – забезпечити поступове охолодження і запобігти швидкому розширенню торфобрикету, внаслідок чого в останньому можуть утворюватись глибокі поздовжні шпарини, які суттєво знижують міцність продукції. Зрозуміло, що другою функцією охолоджувальних лотків є транспортування брикету в напрямку складу.



Охолоджувальні лотки збираються з окремих секцій й встановлюються або горизонтально, або з підйомом по плавній кривій під кутом $3 - 4^\circ$. Приклади конструкції лотків показані на рис. 9.1. Безпосередньо до преса приєднуються важкі секції лотків (рис. 9.1а) в кількості двох-трьох штук. Решта секцій – полегшені (рис. 9.1б). Загальна величина зазору між брикетом і стінками лотка по ширині приймається такою, що дорівнює $2b = 10 \div 15$ мм, а поверху $a = 15 \div 20$ мм. Завеликі зазори можуть призвести до згину брикетної стрічки і викликати руйнування брикету.

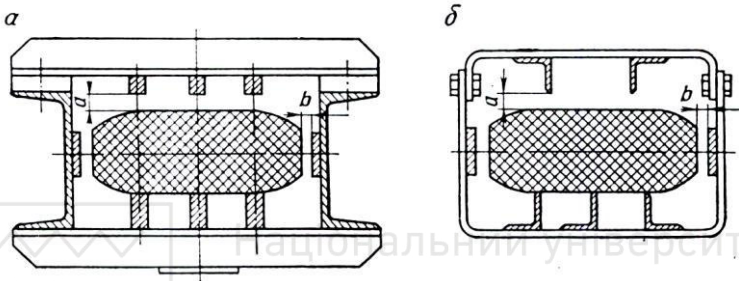


Рис. 9.1. Поперечний переріз охолоджувальних лотків:

a – важка секція; *b* – полегшена секція

На першій від пресу секції встановлюється ломач брикетної стрічки. Він застосовується при запуску преса і в аварійних випадках.

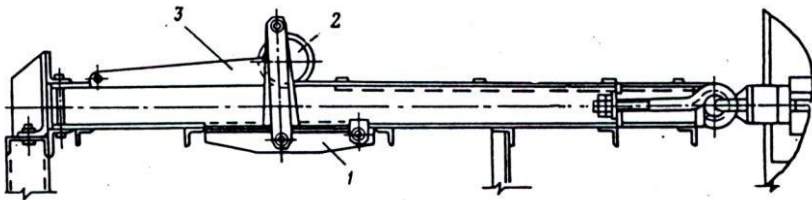


Рис. 9.2. Ломач брикетної стрічки: 1 – клапан; 2 – ексцентриковий натискний елемент; 3 – рукоятка

Аварійною вважається ситуація, при якій відбувається заклинювання брикетної стрічки в лотку.

Принцип роботи ломача заснований на видушуванні брикетної стрічки натискним елементом. При повороті рукоятки вручну натискний елемент спочатку входить в контакт з брикетною стрічкою, одночасно відкривається клапан з пластинами, і в дні лотка утворю-



ється щілина, через яку при подальшому повороті натискного елемента брикети видушуються і падають вниз.

Мінімальна довжина лотка при умові інтенсивного охолодження і навантаження брикету осьювою силою (торф низинний, ступінь розкладу 40 %) рекомендується 40 м [3, с. 202]. Згадавши про довжину лотків на наших торфобрикетних заводах (яка значно менша), можемо констатувати, що й цей резерв покращання якості продукції поки що не використовується.

9.2. Заводські склади для зберігання виробленого брикету

Мінімальна місткість складу для зберігання виробленого торфобрикету при щоденному відвантаженні без перерви на вихідні дні розраховується за формулою

$$M_{\min} = K \cdot M_3 \cdot t_B, m \quad (9.1)$$

де K – коефіцієнт нерівномірності виробки брикетів протягом години, приймається 1,10 – 1,15; M_3 – продуктивність заводу, $m/год.$; t_B – тривалість витримки брикетів на складі, приймається 40 год.

Склади можуть бути бункерними (закритими, напівзакритими, відкритими), штабельними (напівзакритими чи відкритими) або просто являють собою навіси, під якими в навалі зберігається брикет, що потрапляє під навіс по охолоджувальних лотках.

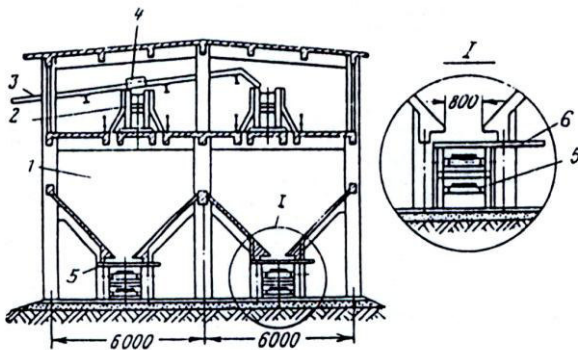


Рис. 9.3. Фрагмент закритого бункерного складу заводу потужністю 60 тис. т брикету на рік: 1 – бункер; 2 – стрічковий конвеєр; 3 – лоток; 4 – ломач; 5 – стрічковий конвеєр; 6 – донний настил з дощок



Найбільш досконалими з точки зору надійності збереження брикету, зручності навантаження продукції у транспортні одиниці і мінімізації втрат від руйнування брикету є закриті бункерні склади, характеристика яких наведена в табл. 9.1.

Закритий бункерний склад брикетного заводу потужністю 30 тис. т може складатися з одного бункера й відповідного набору механізмів. На заводах потужністю 60 тис. т можуть бути два паралельних бункери (рис. 9.3).

Таблиця 9.1

Технічна характеристика закритих бункерних складів

Показник	Потужність заводу, тис. т/рік	
	30	60
Корисна місткість бункеру, т	500	1200
Стрічковий конвеєр над бункером:		
- продуктивність, т/год.	7,5	18
- довжина по осях барабанів, м	31,9	53,3
- ширина стрічки, мм	600	600
- потужність приводу, кВт	2,8	4,5
Стрічковий конвеєр під бункером:		
- продуктивність, т/год.	20	40
- довжина по осях барабанів, м	29,7	64,5
- ширина стрічки, мм	900	900
- потужність приводу, кВт	4,5	7

Для заводу продуктивністю 30 тис. т брикету на рік може бути достатнім напівзакритий (під навісом) склад штабельного типу (рис. 9.4), з технічними характеристиками, наведеними в табл. 9.2.

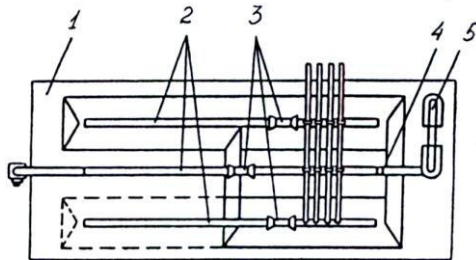


Рис. 9.4. План напівзакритого складу штабельного типу для заводу потужністю 30 тис. т брикету на рік: 1 – майданчик; 2 – поздовжні розподільні стрічкові конвеєри; 3 – плужкові скидачі; 4 – навантажувальний стрічковий конвеєр; 5 – розштабельовочна машина



Таблиця 9.2

Технічна характеристика складу штабельного типу для заводу продуктивністю 30 тис. т брикету на рік

Показник	Значення
Корисна місткість складу, <i>t</i>	900
Розміри навісу по осях колон, <i>m</i> :	
довжина	24
ширина	24
Розподільний стрічковий конвеєр:	
продуктивність, <i>t/год.</i>	7,5
довжина по осях барабану, <i>m</i>	15,5
ширина стрічки, <i>m</i>	500
потужність електродвигуна, <i>kWt</i>	2,8
Навантажувальний стрічковий конвеєр:	
продуктивність, <i>t/год.</i>	75
довжина по осях барабану, <i>m</i>	33,12
ширина стрічки, <i>m</i>	800
потужність електродвигуна, <i>kWt</i>	7

З урахуванням неритмічності відпуску продукції з заводу доцільно збільшити об'єм складу порівняно з розрахованим за формулою 9.1. Подібний проект реконструкції складу готової продукції розроблявся, приміром, для Смизького заводу, але він поки що не реалізований з причин переважно економічного характеру.

9.3. Напрямки удосконалення торфової паливної продукції

Торфові брикети – звичне і зручне паливо для традиційних гренок та твердопаливних котлів простих конструкцій з ручним подаванням палива в топковий пристрій. Однак все більшого розповсюдження набувають котли з механічним подаванням палива, оснащені дистанційним управлінням. Це зручно і вигідно, оскільки дозволяє чітко та швидко встановлювати необхідний температурний режим в приміщенні, не покидаючи його, і, водночас, сприяє економії палива.

Вказані топкові пристрої можуть мати дещо різні конструкції (приміром, фінські пристрої фірми “Säätatuli”, німецькі “Ökotherm” та ін.), але системи подавання матеріалу на спалювання в них поді-



бні і являють собою гвинтовий конвеєр-шнек зі змінною швидкістю обертання. Природно, що однією з обов'язкових вимог до палива при такій системі подавання є його сипкість. Торфові брикети цій вимозі не відповідають. Звичайно, для набуття сипкості брикети можна розмолоти чи подрібнити в дробарці. Однак дроблення такого міцного матеріалу – справа енергоємна* і пов'язана з утворенням пилу, виникненням шуму і вібрацій. Проглядається й певна нелогічність у витрачанні енергії спочатку на пресування торфу в брикети, а потім – на їх подрібнення**.

Фрезерний торф низинного типу має достатню сипкість, однак його надто велика вологість знижує к.к.д. котла. Штучно висушений до вологості близько 20% фрезерний торф (сушонка) є достатньо ефективним енергоносієм для топкових пристроїв з механічним подаванням палива. Але його гігроскопічність і мала насипна густина вносять проблемні моменти у зберігання та транспортування цього виду торфового палива.

З викладених міркувань стає зрозумілою логіка створення на основі торфу сипкого, сухого, достатньо гідрофобного та енергонасиченого палива. Цим вимогам відповідають виготовлені з штучно висушеного торфу гранули, які ще називають пелетами. В декількох країнах Євросоюзу, значною мірою під патронатом фінських науковців і фахівців, створені виробничі потужності для виробництва пелет. Слід очікувати розвитку виробництва такого виду торфового палива й в Україні.

* Для дроблення однієї тони навіть такого сипкого і неконсолідованого матеріалу як фрезерний торф необхідно витратити близько 3 кВт·год. електроенергії.

** Хоча це не так абсурдно, як здається з першого погляду: приміром, в шведському місті Упсала була побудована електростанція, яка одержувала брикетований торф з торфового родовища, віддаленого від станції на 300 км. Брикет розмелювався і спалювався у пилоподібному стані. Економічна доцільність такої схеми базується на скороченні транспортних витрат і повнішому згоранні палива (*прим. автора*).



10. МАРКЕТИНГ ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ ТОРФОВИХ БРИКЕТІВ

10.1. Необхідність маркетингового підходу до реалізації палив

Одне з визначень маркетингу виглядає так: „Маркетинг – це інтегративна функція менеджменту, що перетворює потреби покупця на доходи підприємства” [10, с.6].

Потреба в теплі у кліматичних умовах нашого регіону належить до числа першочергових. Тому протягом тривалого часу, ознаками якого були низькі ціни на торфований брикет для населення і державні дотації торфобрикетним заводам, цей вид палива реалізовувався без особливих зусиль з боку виробника.

В умовах ринкової економіки формується й ринок палив. Скасування державних дотацій, газифікація населених пунктів, розвиток надання транспортних послуг з доставки кам'яного вугілля та інших твердих палив робить цей ринок конкурентним. Для того, щоб одержати переваги на цьому ринку виробники торфових палив повинні чітко окреслити „свої” сегменти – сільські мешканці негазифікованих населених пунктів, організації бюджетного фінансування (лікувальні, навчальні заклади, заклади культури, органи місцевої влади та ін.) і працювати в цих сегментах, удосконалюючи взаємодію зі споживачами.

Одним з напрямків такого удосконалення є диверсифікація послуг, які надаються споживачам, тобто розширення їх спектру. Доречно нагадати напівжартівливу сентенцію про те, що покупцеві свердла насправді потрібне не свердло, а отвір. Так і покупець палива насправді потребує не фізичних брикету, вугілля чи, приміром, дров, а тієї енергії, яка в них міститься. Чому директор школи чи, приміром, завідувач фельдшерсько-акушерського пункту повинен перейматися питаннями технічного стану котла, проблемою доставки і зберігання палива? Ці турботи може взяти на себе виробник торфобрикету, створивши маркетинговий підрозділ з функціями, приблизний перелік яких вказаний на схемі (рис. 10.1). Звичайно, кожна функція потребує деталізації.

Проведення маркетингових досліджень передбачає вивчення регіону щодо забезпечення паливом (природний газ, дрова, вугілля чи ін.), розвиненості мережі централізованого теплопостачання, пристосованості топкових пристроїв до роботи на торфобрикеті, наявності приміщень для зберігання палива, стану доріг тощо.

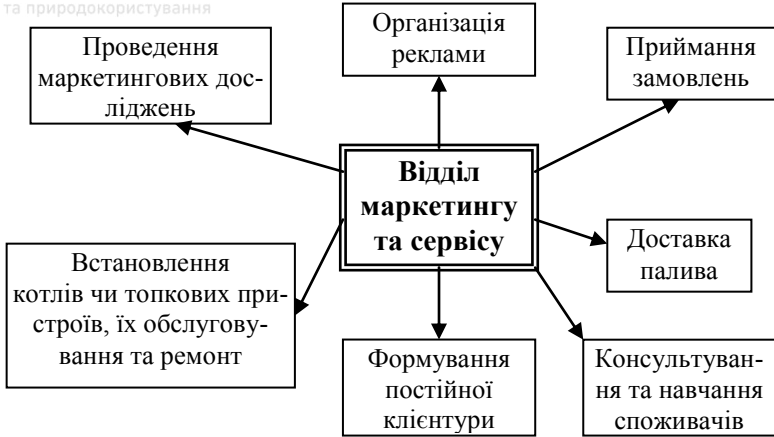


Рис. 10.1. Функції відділу маркетингу та сервісу (варіант)

Організація реклами передбачає неперсоніфіковане передавання інформації про паливо через різні носії (пресу, телебачення, радіо, афіші, плакати та ін.). Важливо продемонструвати загалу цінові та екологічні переваги торфового палива. Не останнє місце в популяризації торфобрикету посідає й інформація про позитивний вплив діяльності місцевих торфопідприємств на соціально-економічний розвиток регіону.

Приймання замовлень також, хай опосередковано, але має відігравати функцію стимулювання попиту. Як показав досвід організації приймання замовлень по телефону, замовника переважно цікавлять два моменти: ціна брикету і вартість доставки. Працівник, який приймає замовлення, мав перед собою перелік обов'язкових запитань: назва населеного пункту, куди потрібно доставити паливо, адреса, прізвище споживача, стан під'їзних шляхів, бажаний час доставки. В той же час він повинен був оперативно дати відповіді на запитання замовника щодо витрат на придбання й доставку палива. Вартість замовлення B_3 розраховувалась за формулою

$$B_3 = C_B \cdot N + T \cdot L, \text{ грн.}, \quad (10.1)$$

де C_B – заводська ціна торфобрикету, *грн./т*; N – маса замовленого



брикету, m ; T – транспортний тариф, $грн./т$; L – довжина пробігу автомобіля при доставці брикету і поверненні машини, $км$.

Доставка палива здійснюється здебільшого автомобільним транспортом. Для визначення економічно допустимої відстані перевезення торфобрикету, при якій брикет зберігає конкурентоспроможність порівняно з іншими видами твердого палива (найтиповіше – з кам'яним вугіллям), доцільно розрахувати вартість одиниці теплової енергії, що міститься в паливі (V_{OTE}), і додати витрати на транспортування цієї самої одиниці від місця виробництва до споживача. Автором запропонована формула для розрахунку цього параметру [11]:

$$V_{OTE} = \frac{1}{Q_H^P} \cdot \left(C_B + \frac{T \cdot L}{B} \right), \quad грн./ГДж, \quad (10.2)$$

де Q_H^P – нижча теплота згорання палива, $ГДж/т$ (чисельно дорівнює звичному $МДж/кг$). Значення решти параметрів ідентичні вказаним у формулі (10.1). Приклад розрахунку V_{OTE} при вантажопідйомності автомобіля $B = 10 т$, транспортному тарифі $T = 2 грн./км$, нижчій теплоті згорання торфобрикету $15 МДж/кг$, а вугілля кам'яного рядового – $24 МДж/кг$, ціні торфобрикету і вугілля на місці виробництва відповідно 136 та $300 грн./т$ показаний на рис. 10.2.

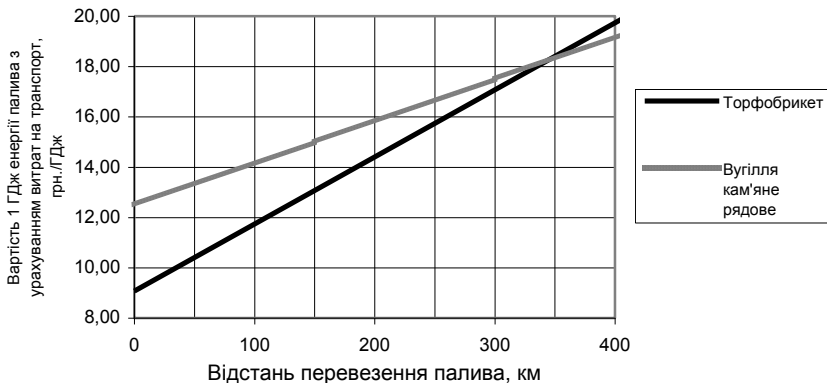


Рис. 10.2. Вартість 1 $ГДж$ енергії, що міститься в торфовому брикеті і кам'яному вугіллі, з урахуванням витрат на транспортування (варіант розрахунку $B=10 т$)



Як видно з графіка, при перевезенні на відстань понад 340-350 км торфобрикет втрачає свою привабливість: одиниця енергії, що в ньому міститься, стає дорожчою, ніж енергія вугілля.

Якщо ж використати автотранспорт вантажопідйомністю 20 т (приміром, КамАЗ з причепом), то брикет можна перевозити й на відстань майже 700 км (рис. 10.3):

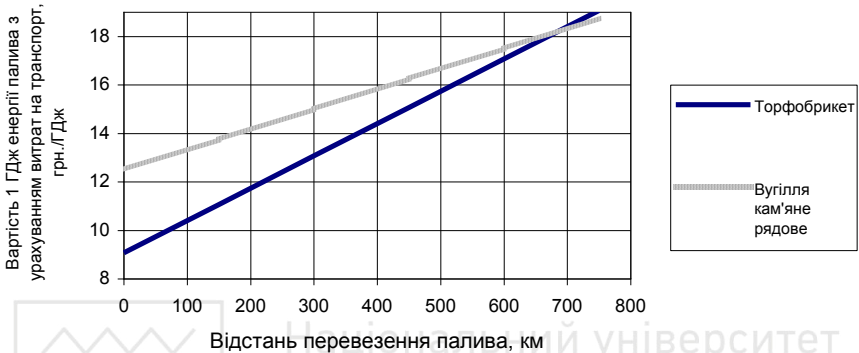


Рис. 10.3. Вартість 1 ГДж енергії, що міститься в торфовому брикеті і кам'яному вугіллі, з урахуванням витрат на доставку ($B=20$ т)

Поки що недостатньо використовується споживчий потенціал південних регіонів України, де має місце нестача комунально-побутових палив. Найбільш доцільно здійснювати транспортування торфобрикету в ці регіони у період з липня по вересень-жовтень, використовуючи автотранспорт, який після доставки з півдня сільськогосподарської продукції порожняком повертається назад. Зрозуміло, що подібна маятникова схема транспорту потребує ретельної підготовки: знаходження ділових партнерів-посередників, формування споживчого попиту та ін. Ймовірно, в нагоді стане і перевезення торфобрикету у спеціальних контейнерах.

Консультавання та навчання споживачів також являє собою частку сервісу, що має надаватись виробником торфового палива. В першу чергу йдеться про встановлення пристосованості топкового пристрою потенційного споживача до роботи на торфобрикеті. Виробник палива може застосовувати такі види заохочення клієнтів, як безкоштовна доставка торфобрикету для апробації топкового пристрою, пільгові ціни першого року співробітництва та ін.



Консультації можуть надаватися також стосовно питань зберігання брикету, режимів експлуатації топкового пристрою, використання золи для розкислювання й удобрення ґрунтів тощо.

Формування постійної клієнтури – важливий чинник забезпечення стабільної роботи торфобрикетного заводу. Для переходу клієнта в розряд постійного повинні спрацювати принаймні три чинники: пристосованість топкового пристрою до роботи на торфобрикеті, наявність умов для зберігання палива і сформовані навички та звичка щодо використання торфобрикету як палива. Стосовно постійних клієнтів виробник може застосовувати такі важелі заохочення, як позачергове обслуговування, відстрочку платежів та ін.. Важливо досягти такого рівня співробітництва з постійним клієнтом, при якому останній стає популяризатором торфового палива, залучаючи до його споживання й інших споживачів.

Встановлення котлів чи топкових пристроїв, їх обслуговування та ремонт являють собою важливий елемент сервісу. „Всебічне обслуговування клієнта – зброя виробника” – вважав відомий маркетолог Ф. Котлер [12]. Справді, такий рід діяльності не властивий для підприємства, що видобуває торф і виробляє з нього паливний брикет. Для виконання цих робіт потрібна ліцензія і відповідна підготовка персоналу, тим не менш встановлення котлів чи топкових пристроїв, їх обслуговування та ремонт сприяють розширенню кола клієнтури взагалі і постійної зокрема.

Взагалі то прями́й маркетинг*, про який йшлося вище, застосовують у двох випадках [10, с. 144]:

а) якщо виробник упевнений, що продукція підприємства може бути цілком реалізована;

б) у технологічно складному виробництві, коли виробник власними силами забезпечує монтаж складного обладнання безпосередньо на підприємстві споживача.

В даний час склалася несприятлива для виробників торфових брикетів ситуація. В умовах все зростаючої газифікації населених пунктів зникла впевненість виробника в успішній цілковитій реалізації продукції підприємства (див. пункт а).

* Прямим маркетингом називають переміщення товарів і послуг без участі посередницьких організацій.



Реалізація пункту б (в т.ч. встановлення котлів чи топкових пристроїв, їх обслуговування та ремонт) також, в принципі, не відповідає профілю виробника торфових палив і потребує створення спеціалізованих служб. Тому збереження прямого маркетингу – скоріше наслідок звички торфовиробників, ніж обґрунтований варіант збуту продукції. Адже збут продукції – зовсім інша, ніж виробництво, сфера діяльності, яка потребує кваліфікованого персонала, обізнаного в психології споживача, в питаннях сегментації ринку, в організації рекламної діяльності, в налагодженні зв'язків з діловими партнерами та ін. Принципово можливе застосування каналів розподілу різних рівнів:

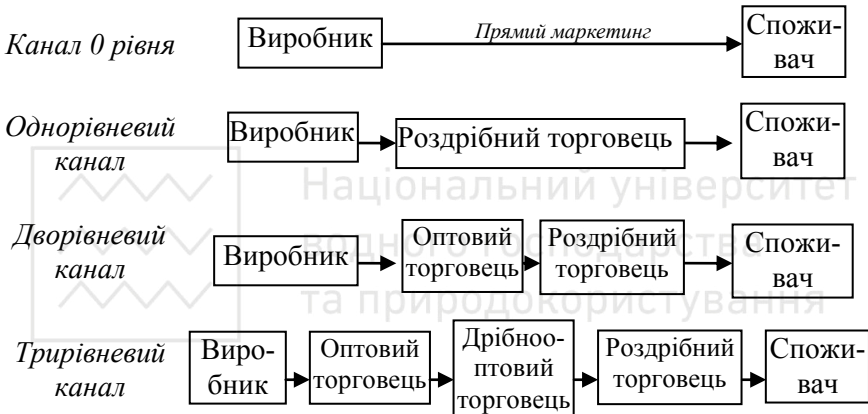


Рис. 10.4. Принципова структура каналів розподілу

Можливі й канали вищих рівнів, але у випадку збуту торфового паливного брикету кількість рівнів (тобто кількість посередників) має бути мінімально достатньою. Це диктується й характером самого продукту: кожне навантаження та розвантаження торфобрикету через ламкість останнього призводить до розкришування палива і погіршує його споживчі властивості. З урахуванням зазначених обставин можуть бути рекомендовані одно- та дворівневі канали розподілу. При цьому в дворівневому каналі оптовий торговець повинен мати склад достатньої місткості і захищеності від підмокання брикету, а також може організувати сервісний центр, завданням якого є монтаж, технічне обслуговування топкових систем, доставка палива споживачеві у договірній кількості та у визначені строки та ін.

Збут продукції власними силами виробника в сучасних умовах потребує створення каналів збуту. Тому виробник повинен бути готовим не тільки виконувати нові (і далекі від виробничих) функції, а й нести додаткові фінансові витрати [10, с. 148]:

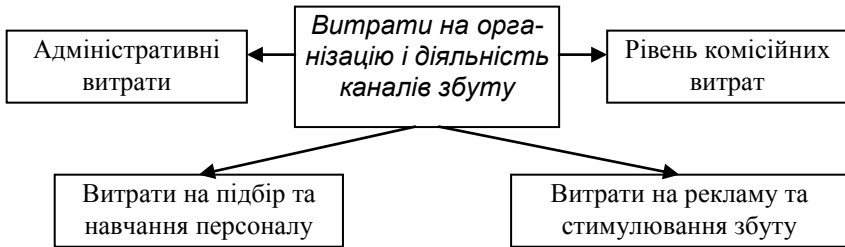


Рис. 10.5. Витрати виробника на організацію і діяльність каналів збуту

Як відомо, існують дві принципово відмінні схеми збуту продукції: транзитна і складська.

При *транзитній* схемі торфобрикет доставляється кожному споживачеві безпосередньо з місця його виробництва (зі складу готової продукції виробника). З метою стабілізації роботи заводу в умовах коливань попиту об'єм цього складу має бути доволі великим.

При *складській* схемі постачання в регіоні, що обслуговується торфобрикетним заводом, споруджуються декілька складів, наближених до споживача. Рациональна кількість складів орієнтовно може бути визначена шляхом одержання мінімального значення сумарних наведених витрат P_3 по кожному варіанту спорудження складів, що розглядається [10, с. 148]:

$$P_3 = K \cdot E_H + B_U + B_T \rightarrow \min, \quad (10.3)$$

де K – капітальні вкладення на спорудження об'єктів зберігання (складів); E_H – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень; B_U і B_T – річні витрати, пов'язані відповідно з утриманням складів і з транспортуванням брикету.

Більш наочною є графо-аналітична оптимізація кількості складів в регіоні (рис. 10.6). Логіка міркувань наступна: чим більше в регіоні складів, тим більша їх місткість і тим стабільніша робота заводу, але й тим більші витрати на зберігання (лінія 1). З іншого боку, при цьому зменшуються витрати на доставку торфобрикету



від складу до клієнта (лінія 2). Оптимальна кількість складів в регіоні визначається шляхом проектування мінімуму кривої 3 (сума витрат на зберігання і транспортування) на горизонтальну вісь [13]:

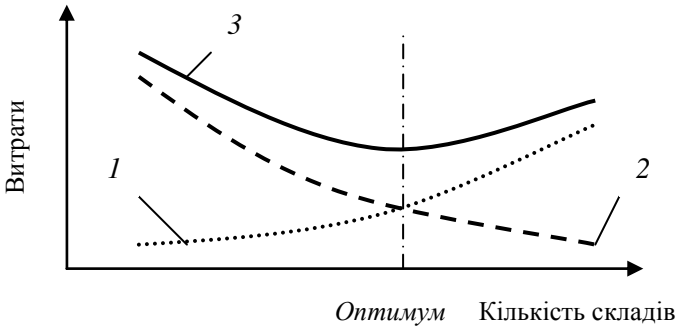


Рис. 10.6. Графо-аналітичний метод оптимізації кількості складів в регіоні

Чи доцільно виробникам торфобрикету брати на себе весь тягар реалізації продукції? Негативна відповідь передбачає створення системи комерційної непрямої оптової реалізації торфобрикету [10, с. 150]:

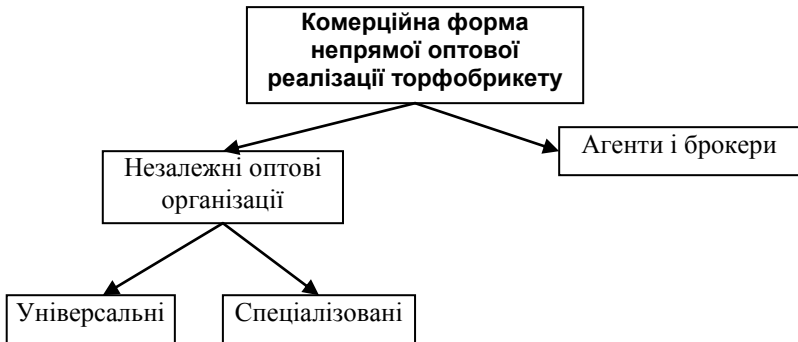


Рис. 10.7. Варіант схеми непрямої оптової реалізації торфобрикету



Збут торфобрикету через агентів заслуговує на особливу увагу. Свого часу автором була запропонована схема збуту торфобрикету через працівників (переважно – секретарів) сільських та селищних Рад*. На користь такого варіанту схиляють наступні моменти:

- забезпечення населення паливом є важливим соціальним питанням, яке перебуває у фокусі уваги органів місцевого самоврядування;
- секретарі місцевих Рад добре знають мешканців, користуються довірою населення;
- органи місцевого самоврядування телефонізовані, що дозволяє здійснювати замовлення палива і оперативно їх корегувати.

Звичайно, працівник місцевої Ради має бути матеріально зацікавлений у виконанні роботи з реалізації торфового палива.

Питання про удосконалення збуту торфових паливних брикетів залишається відкритим. В даному розділі були розглянуті лише деякі його аспекти. Можливість експорту брикету, його контейнерування (для місцевих і зарубіжних споживачів), упаковка в пакети малої місткості (для камінів), організація рекламної роботи, особливості збуту продукції власникам дачних ділянок – ці та багато інших моментів потребують окремого уважного дослідження.

10.2. Роль органів місцевої влади в реалізації регіональної енергетичної політики

Успішна робота торфової галузі регіону значно вірогідніша за умови злагодженої взаємодії з місцевими органами влади всіх рівнів на основі реалізації відповідних регіональних програм. Це твердження не суперечить законам ринкової економіки і не являє собою крок у минуле, оскільки кожна з сторін має реальний економічний зиск від подібної взаємодії, яка, по суті, є своєрідною формою кооперації промислової та владної структур. Влада розуміє, що при зменшенні асигнувань на придбання палива для установ бюджетного утримання покращується можливість фінансування їх інших загальних потреб, як це сталося, коли зекономлені на паливі для шкіл

* Схема не була втілена в життя через те, що на момент її пропонування значних проблем у реалізації торфобрикету ще не було.

тис. грн. були спрямовані обласною Радою на придбання комп'ютерів для сільських шкіл Рівненщини. Розвиток торфопідприємств сприяє розв'язанню й соціальних проблем регіонів: створенню робочих місць, покращанню соціальної інфраструктури та ін. Зрозуміло, що сьогодні вимагає чіткого розмежування функцій між усіма суб'єктами, які беруть участь у реалізації програми збереження паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) в регіоні.

Місцеві органи влади стають провідниками "енергетичної політики знизу". Базовими засадами їх діяльності в цьому випадку є:

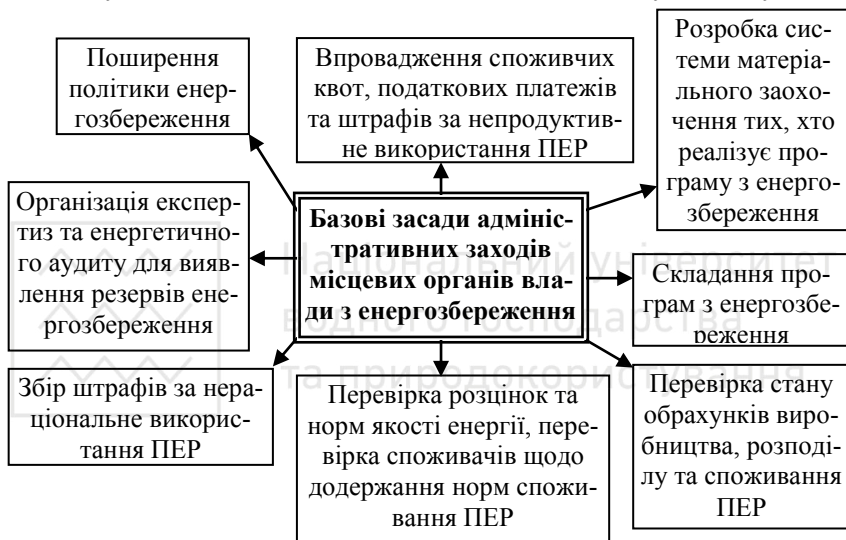


Рис. 10.8. Базові засади діяльності органів місцевої влади в реалізації регіональної енергетичної політики

Підприємство ж, підвищуючи рівень виробництва і сервісу, підвищує й конкурентоздатність своєї продукції, привертає до неї увагу все ширшого кола споживачів, переводячи їх у розряд постійних клієнтів. Опрацьовуються питання пошуку і обслуговування паливних пристроїв, що ефективно і цивілізовано працюють на торфових паливах. Укладаються договори на доставку палив протягом опалювального сезону для тих споживачів, які не мають необхідних приміщень для зберігання торфового палива. Реалізація цих та інших заходів поступово перетворює виробника палива на суб'єкт, що здатний взяти на себе весь комплекс послуг з забезпечення надійного і недорогого енергопостачання споживачів.



СТАН ТОРФОВОГО ФОНДУ УКРАЇНИ

(за даними Геоінформу України, 2003р.)

Область	Кількість родовищ	Площа в межах промислової глибини, га	Геологічні запаси (тис. тонн)
Всього по Україні в тому числі:	2501	639500	2172101
Вінницька	104	9104	43447
Волинська	380	132791	438287
Дніпропетровська	3	47	79
Донецька	18	458	771
Житомирська	240	40116	92514
Закарпатська	8	27	59
Запорізька	5	277	343
Івано-Франківська	65	3010	14335
Київська	168	52812	230560
Кіровоградська	5	1193	2755
Луганська	4	23	76
Львівська	194	50317	220647
Миколаївська	7	241	400
Полтавська	96	38579	116026
Рівненська	392	133564	377188
Сумська	165	35660	106612
Тернопільська	105	16195	122302
Харківська	34	1587	4985
Херсонська	8	1373	3590
Хмельницька	172	19309	75864
Черкаська	62	16741	60913
Чернігівська	266	86076	260348



Технічні характеристики димососів та вентиляторів

Тип димососу чи вентилятора	Діаметр робочого колеса, мм	Частота обертання, л, об/хв.	Продуктивність, Q, м ³ /год.	Створюваний тиск, Н, кПа	К.к.д. вентилятора, η	Потужність на приводному валу, кВт	Розрахункова температура, °С	Маса без електродвигуна, кг
Димососи								
Д №8	800	730	8000	620	0,68	1,9	200	455
		970	11000	1100	0,64	4,7	200	455
Д №10	1000	485	10000	420	0,67	1,7	200	937
		730	16000	960	0,66	7,0	200	937
		970	22000	1700	0,67	14,5	200	937
Д №12	1200	485	17500	600	0,67	4,0	200	1185
		730	27000	1390	0,63	14,5	200	1185
		970	35000	2460	0,67	34,0	200	1185
Д №13,5	1350	485	30000	790	0,69	9,25	200	2153
		730	45000	1780	0,69	31,0	200	2153
		970	60000	3150	0,70	73,0	200	2153
Д №15,5	1550	585	55000	150	0,70	32,0	200	2465
		730	67000	233	0,70	61,0	200	2465
		970	85000	412	0,70	138,0	200	2465
Д №18	1800	585	85000	205	0,70	64,0	200	4290
		730	90000	315	0,70	127,0	200	4290
Д №20	2000	585	115000	255	0,70	115,0	200	4790
		730	140000	390	0,70	210,0	200	4790
Вентилятори дуттьові								
ВД №6	600	970	4400	970	0,63	1,6	20	290
		1450	6500	2170	0,67	5,8	20	290
ВД №8	800	730	7800	980	0,67	3,0	20	395
		970	11000	1750	0,63	7,5	20	395
ВД №10	1000	485	10500	670	0,67	2,8	20	803
		730	16000	1530	0,67	10,0	20	803
		970	21000	2700	0,67	23,0	20	803
ВД №12	1200	485	17500	980	0,67	7,0	20	1000
		730	27000	2220	0,63	24,0	20	1000
		970	37000	3930	0,67	56,0	20	1000
ВД №13,5	1350	485	30000	1280	0,70	15,0	20	1906
		730	45000	2880	0,70	50,0	20	1906
		970	60000	5100	0,70	125,0	20	1906



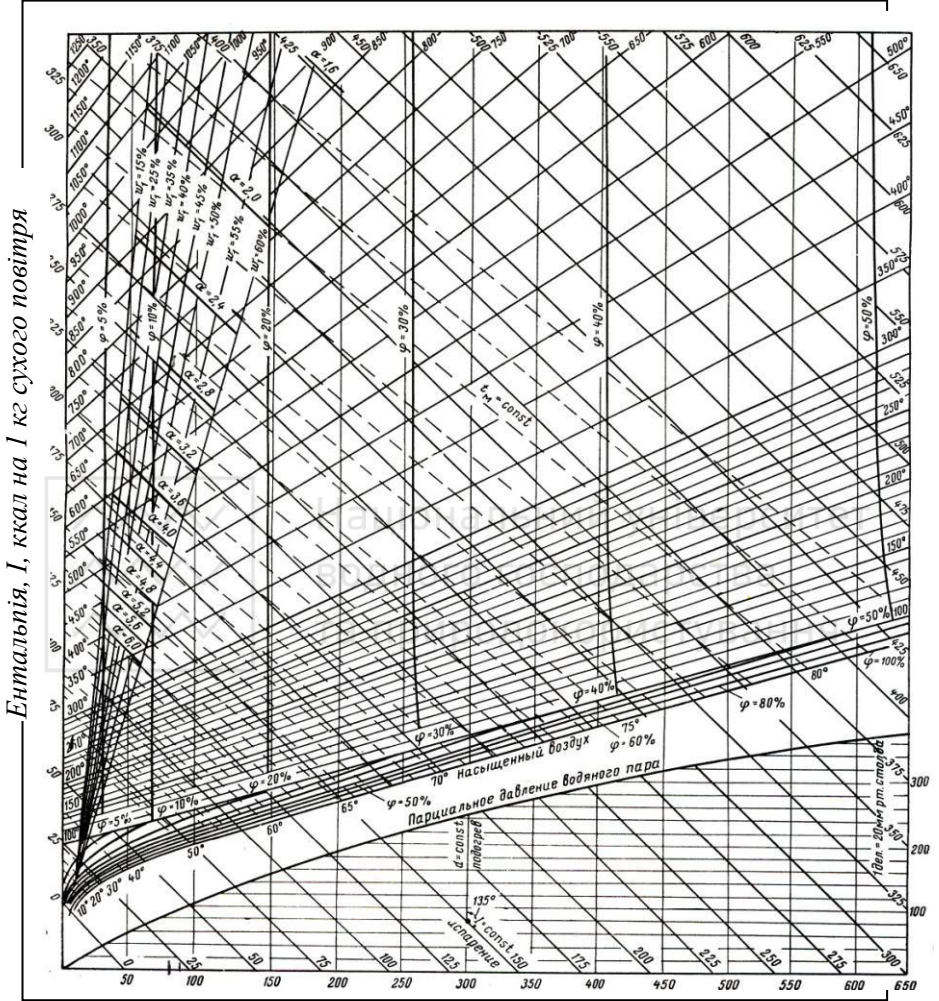
Продовження додатку 2

Тип димососу чи вентилятора	Діаметр робочого колеса, мм	Частота обертання, л, об/хв.	Продуктивність, Q, м ³ /год.	Створюваний тиск, Н кПа	К.к.д. вентилятора, η	Потужність на приводному валу, кВт	Розрахункова температура, °С	Маса без електродвигуна, кг
ВД №15,5	1550	585	55000	2450	0,70	52,0	20	2140
		730	65000	3750	0,70	95,0	20	2140
		970	85000	6650	0,70	220,0	20	2140
ВД №18	1800	585	85000	3200	0,70	103,0	20	3840
		730	95000	5030	0,70	210,0	20	3840
ВД №20	2000	585	115000	4040	0,70	183,0	20	4186
		730	140000	6250	0,70	335,0	20	4186

Додаток 3

Основні та похідні одиниці, що використовуються в розрахунках матеріального і теплового балансів сушильних установок

Величина	Найменування одиниці	Позначення		Розмір одиниці
		міжна-родне	українське	
Довжина	метр	m	м	Визначені міжнародними угодами
Маса	кілограм	kg	кг	
Час	секунда	s	с	
Площа	квадратний метр	m ²	м ²	м ²
Об'єм, місткість	кубічний метр	m ³	м ³	м ³
Густина	кілограм на кубічний метр	kg/ m ³	кг/ м ³	кг/ м ³
Кількість теплоти, енергія, робота	джоуль	J	Дж	кг·м ² /с ²
Питома теплоємність	Джоуль на кілограм-кельвін	J/(kg·K)	Дж/кг·К	м ² /(с ² ·К)



Вологовміст, d , г на 1 кг сухого повітря

Id -діаграма для вологого повітря при тиску 745 мм рт. ст. на 1 кг наявного в ньому сухого повітря



Література

1. М.Г.Булышко, Е.Е.Петровский. Технология торфобрикетного производства. М.: Недра, 312 с.
2. Торф фрезерный для производства брикетов. Технические условия. ДСТ Украины 2043-92. Киев, Госстандарт Украины, 3 с.
3. А.В.Лазарев, Б.Г.Лыкин, Е.С.Демьянов и др. Технология производства торфяных брикетов. М., Недра, 1984, 264 с.
4. Брикетты торфяные для коммунально-бытовых нужд. Технические условия. ДСТ Украины 2042-92. Киев, Госстандарт Украины, 4 с.
5. Справочник по торфу. М., Недра, 1982, 760 с.
6. В.М. Наумович. Сушка торфа и сушильные установки брикетных заводов. М.: Недра, 1971, 280 с.
7. С.Г.Солпов та ін. Торфяные машины. М.: Недра, 1962, 354 с.
8. Дещенко В.Ю., Зайцев В.С. Исследование процесса осаждения торфяной пыли в электрофильтре – В кн. Технология и комплексная механизация торфяного производства, Калининский государственный университет, Калинин, 1982, с.139-144.
9. Инструкция по эксплуатации факельно-слоевой топки системы С.В. Татищева на торфобрикетных заводах. Л.: ВНИИТП, 1973, 23с.
10. Під ред. Крамаренка В.І., Холода Б.І. Маркетинг: Навчальний посібник. – Київ: ЦУЛ, 2003. – 258 с.
11. В.О. Гнеушев Про необхідність системного підходу до впровадження торфових палив./ Альтернативні та відновлювальні джерела енергії. Рівне: 2002, с.30-31
12. Котлер Ф. Основы маркетинга./Пер с англ. – М.: Прогресс, 1990, - с. 525.
13. Кальченко А.Г. Основы логістики: Навчальний посібник. – К.: Товариство «Знання», КОО, 1999, - 135 с.
14. Энергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України/Ковалко М.П., Денисюк С.П.; Відпов. Ред. Шидловський А.К. – Київ: УЕЗ, 1998. – 506 с.



15. Лиштван И.И. и др. Физико-химические основы технологии торфяного производства. – Минск: Наука и техника, 1983 – 232 с.
16. Аналіз стану мінерально-сировинної бази України, облік родовищ і складання державних балансів запасів торфу і сапропелю станом на 01.01.2003-2005 років./Звіт про наук.-досл. роботу. Титул 24/03, Державне науково-виробниче підприємство, Державний інформаційний геологічний фонд України, “Геоінформ України”- Київ:2005, 45 с.
17. Полубрикеты торфные. Технические условия. РСТ УССР 1297-82.
18. Калинушкин М.П. Вентиляторные установки: Учеб. пособие для строит. вузов. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1979. – 223 с., ил.
19. V. Hnyeushev. Peat in the Ukraine: Reflections on the Threshold of a New Millennium./ "Peatland international", Finland, 2000, № 1, с.54 – 57.
20. П.А.Ребиндер. О формах связи влаги с материалом в процессе сушки// Всесоюз. научно-техническое совещание по интенсификации процессов и улучшению качества материалов при сушке в основных отраслях пром-сти и сельск. х-ва. – М., Профиздат, 1958. – С. 20-32.
21. Воларович М.П., Гамаюнов Н.И., Давидовский П.Н. Аналитические и экспериментальные исследования внутреннего тепло – и влагопереноса в коллоидных капиллярно-пористых телах // Сб. науч.тр. /Ин-т торфа АН БССР. – М.: Энергия, 1968. – Вып. 2. – С. 224-230.
22. А.В.Лыков. Теория сушки. – М.: Энергия, 1968. – 471 с.
23. А.В.Лыков. Тепло- и массообмен в процессах сушки. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1956. – 464 с.
24. Лыков А.В., Михайлов Ю.А. Теория тепло- и массопереноса. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 535 с.
25. Н.И. Гамаюнов. Исследование внутреннего тепло- и влагообмена в торфе: Автореф.дис....канд.техн.наук. – М., 1960. – 20 с.
26. Н.И. Гамаюнов. Исследование процессов переноса тепла и влаги в торфе зондовыми методами // Сб.науч.тр.



- /Калининский торфяной ин-т. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1960. – С.203-216.
27. А.Е. Афанасьев. Изучение механизма переноса влаги при испарении ее из капиллярно-пористых тел с применением радиоиндикаторной метки: Дис...канд.техн.наук. – Калинин, 1967. – 185 с.
 28. А.Е. Афанасьев. Изучение пористой структуры и коэффициентов диффузии влаги при сушке фрезерного торфа: Межвуз. тематический сб./Разработка торфяных месторождений. – Калинин: КГУ, 1977. –С. 35-43.
 29. A. Leinonen, T. Paappanen. Fuel Peat Employs up to 16,000 People in the EU //Peatlands International. – 2006. - №2, -р. 53-57.
 30. Гнєшєв В.О. Торфове паливо: "міфи" та реалії // Энергозбереження Полісся. – 2001. - №2.
 31. Гнеушев В.А., Гордиченко В.П. Торф как топливо для объектов малой энергетики // Уголь Украины. – 1999. - № 11-12.
 32. Концепція розвитку торф'яної промисловості України до 2030 року. Міністерство вугільної промисловості України. Український концерн торф'яної промисловості «Укрторф», Київ, 2006 – 54 с.
 33. Н.В. Кислов, П.В. Цыбуленко, К.А. Кричко. Оценка эффективности пылеулавливания в шнековом циклоне.// Торф в решении проблем энергетики, сельского хозяйства и экологии – Peat in solution of energy, agriculture and ecology problems: материалы междунар. конф., 29 мая – 2 июня 2006 г., Минск, Республика Беларусь /Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т проблем использования природных ресурсов и экологии. Междунар. торфяное о-во и др.. под ред. Н.Н. Бамбалова. – Минск: Тонпик, 2006. - с. 41-44.



ЗМІСТ

Вступ	3
1. ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ ПРО ЗБАГАЧЕННЯ КОРИСНИХ КОПАЛИН	5
1.1 Основні методи збагачення корисних копалин	5
1.2 Методи збагачення торфу	6
1.3 Загальні поняття про торфобрикетне виробництво	9
2. ТОРФ ЯК СИРОВИНА ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ БРИКЕТІВ	11
2.1 Вологість торфу	11
2.2 Зольність торфу	12
2.3 Елементний склад торфу	13
2.4 Теплота згорання торфу	14
2.5 Волога, що змерзається і що не змерзається в торфі	15
2.6 Питома теплоємність торфу	17
2.7 Засміченість фрезерного торфу сторонніми горючими	20
2.8 Вимоги до торфу як сировини для виготовлення брикетів	20
3. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС БРИКЕТУВАННЯ ФРЕЗЕРНОГО ТОРФУ	22
3.1 Бункерування торфу	22
3.2 Механічна підготовка торфу	24
4. ШТУЧНЕ СУШІННЯ ТОРФУ	31
4.1 Фізичні властивості вологого повітря	32
4.2 Параметри димових газів	36
4.3 Аналітичний метод розрахунку сушильного процесу	39
4.4 Графічний метод розрахунку сушильного процесу	47
4.5 Сушіння торфу димовими газами	51
4.6 Застосування <i>Id</i> -діаграми для димових газів	54
5. СУШАРКИ ТОРФОБРИКЕТНИХ ЗАВОДІВ	59
5.1 Пневмопароводяна сушильна установка Пеко	59
5.2 Пневмогазові сушарки	65
5.3 Парові трубчасті сушарки	76
6. ПРЕСУВАННЯ ТОРФУ	79
6.1 Вплив води і повітря, що містяться в торфі, на процес його пресування	80
6.2 Пресування торфу	82
6.3 Енергетика пресування	89
6.4 Штемпельні брикетні преси	91



6.5	Регулювання параметрів процесу пресування	94
7.	СИСТЕМИ ГАЗООЧИЩЕННЯ	104
7.1	Параметри апаратів газоочищення	104
7.2	Циклони	106
7.3	Гідравлічні пиловловлювачі	116
7.4	Радіальні вентилятори	120
7.5	Аспіраційні системи торфобрикетних заводів	123
7.6	Головні умови безпечної роботи торфобрикетного заводу	126
8.	ТЕХНОЛОГІЧНІ ТОПКОВІ ПРИСТРОЇ	133
8.1	Загальна характеристика топкового процесу	133
8.2	Технологічні топки	135
9.	СКЛАДУВАННЯ ТА ЗБЕРІГАННЯ БРИКЕТІВ	142
9.1	Охолоджувальні лотки	142
9.2	Заводські склади для зберігання виробленого брикету	144
9.3	Напрямки удосконалення торфової паливної продукції	146
10.	МАРКЕТИНГ ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ ТОРФОВИХ БРИКЕТІВ	148
10.1.	Необхідність маркетингового підходу до реалізації палив	148
10.2.	Роль органів місцевої влади в реалізації регіональної енергетичної політики	156
	Додатки	158
	Література	162
	Зміст	165



Національний університет
водного господарства
та природокористування

Наукове видання

Гнеушев Володимир Олександрович

БРИКЕТУВАННЯ ТОРФУ

Монографія



Технічний редактор

Ящук С.В.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Підписано до друку 30.11.2007 р. Формат 60×84 ¹/₁₆.
Папір друкарський № 1. Гарнітура Times. Друк ізографічний.
Ум.-друк. арк.. 9,7. Обл.-вид.арк. 10,3.
Тираж 300 прим. Зам. № 1490.

*Редакційно-видавничий центр
Національного університету водного
господарства та природокористування
33028, Рівне, вул. Соборна, 11*

*Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного
реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої
продукції РВ №31 від 26.04.2005 р.*