

Жученко А. І.,
Черьопкін Є. С.

ПАРАМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ ПАПЕРОРОБНОЇ МАШИНИ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

В роботі розглянуто постадійну технологію виробництва паперу на папероробній машині (ПРМ) з зазначенням основних технологічних параметрів. Проведено параметричний аналіз відділів ПРМ, що підлягають автоматизації. У вигляді параметричних схем вказано основні вхідні і вихідні змінні, керувальні і збурювальні впливи для таких частин ПРМ як акумулювальна ємність, відділ розбавлення, система очистки від домішок і т. д.

Ключові слова: технологія виробництва паперу, папероробна машина, автоматизація, керувальні впливи, збурення.

1. Вступ

Сучасна паперова промисловість випускає близько 600 видів паперу і картону, що мають різноманітні властивості. Це різноманіття, дає змогу широкого використання його не тільки у повсякденному житті для письма і друку, але й у різноманітних областях народного господарства: хімічній, електро- і радіотехнічній, харчовій, будівельній та інших галузях промисловості.

Незважаючи на широкий асортимент видів паперу і різноманітність його властивостей, схема виробництва є загальною для більшості з них. Лише невелика кількість видів паперу виробляється сухим способом, у той час як для більшості використовують вологий [1].

Основним елементом технологічного процесу виробництва є папероробна машина. На сьогоднішній день використовують дві основні конструкції цих машин [2]: плоско-сіткові (столові), що використовуються для виробництва масових видів паперу і круглосіткові (циліндрові) — для спеціальних видів паперу. Вони відрізняються між собою лише пристроями для випуску маси на сітку і відливу паперового полотна. Технологія виробництва на цих машинах є однаковою [2].

Виділяють таке основне технологічне обладнання папероробної машини (ПРМ) (рис. 1): акумулювальна ємність для підготовки паперової маси, система розведення водою до необхідної концентрації (складається з насоса, бачка переливу і змішувача), очисників від включень неволокнистого та волокнистого характеру (вихрові очисники і вузлуловлювачі), напірний ящик, сітка папероробної машини, пресова частина, сушильна частина, відділ обробки і намотки готового паперу (каландр і накат).

Для побудови ефективної системи автоматичного керування ПРМ потрібно проаналізувати кожний технологічний елемент машини з точки зору задач керування.

2. Аналіз попередніх досліджень

В українському і міжнародному науковому просторі наявна велика кількість робіт присвячених автоматизації технологічних процесів, що протікають у папероробній машині [3–8].

Серед вітчизняних робіт слід виділити роботу Кваско М. З. і Піргача М. С. [3]. В ній розглядається автоматизація окремого елемента папероробної машини (напірний ящик). Системами керування інших технологічних етапів процесу займалися такі іноземні дослідники як Малков В. Г. і Ицкович Э. Л. [4, 5]. В їхніх роботах розглянуто сіткову, пресову і сушильну частини машини, наведено рекомендації для створення нових і вдосконалення існуючих систем автоматичного керування.

Значну увагу процесу сушіння паперового полотна будо приділено у роботі J. Akesson і J. Ekvall [6]. На основі математичної моделі тепло- і масообміну, було створено нову систему автоматичного керування сушильним відділом ПРМ.

В зазначених вище роботах [4, 5] також розглядається можливість комплексної автоматизації папероробної машини за допомогою новітніх досягнень в сфері автоматичного керування такими компаніями як Honeywell, Metso, Vioth. Серед вітчизняних компаній варто виділити ПІБ-С.

У випадку застосування комплексних рішень, їх робота ґрунтується на вимірюванні головних параметрів паперу за допомогою спеціальних сканерів. Далі

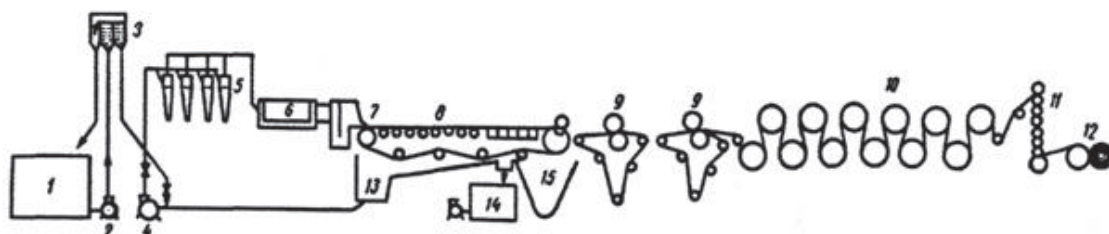


Рис. 1. Технологічна схема папероробної машини: 1 — акумулювальна ємність; 2 — масний насос; 3 — бачок переливу; 4 — змішувальний насос; 5 — вихрові очисники; 6 — вузлуловлювач; 7 — напірний ящик; 8 — сітковий стіл; 9 — мокрі преси; 10 — сушильна частина; 11 — каландр; 12 — накат; 13 — збірник оборотних вод; 14 — збірник надлишкових вод; 15 — басейн мокрого браку

інформація передається на регулятори де виробляється керувальний вплив і на його основі відбувається корегування вхідних параметрів системи. У якості вираховувальних датчиків використовують сканери якості паперу, які зображено на рис. 2.

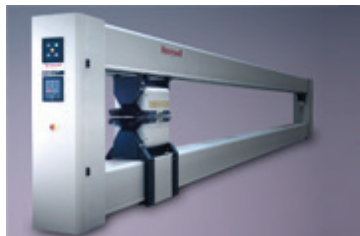


Рис. 2. Сканер якості паперу

Використання комплексних рішень є надзвичайно ефективним способом керування такими складними системами, як папероробна машина. Однак, з метою покращення роботи таких систем, постає питання більш детального вивчення кожної складових частини машини та визначення елементів, що потребують більшого керування.

3. Постановка задачі

Для вирішення задач оптимального керування технологічними процесами, що відбуваються у ПРМ, перш за все необхідно вивчити будову і технологічні етапи виробництва, виконати декомпозицію ПРМ з метою більш детального параметричного аналізу її складових елементів, тобто встановлення вхідних і вихідних змінних, а також керувальних і збурювальних впливів.

Сучасні комп'ютерні системи керування надають нові можливості для підвищення ефективності папероробних машин. У зв'язку з цим метою роботи є розроблення і аналіз параметричних схем технологічних елементів папероробної машини із зазначенням вхідних і вихідних змінних, а також керувальних і збурювальних впливів, що, в подальшому, нададуть змогу перейти до побудови системи керування ПРМ.

4. Параметрична схема складових частин папероробної машини

4.1. Підготовка суміші. Першим об'єктом автоматизації технологічного процесу виробництва паперу на ПРМ є акумулювальна ємність. Вона являє собою резервуар з мішалкою для підготовки з вхідних потоків паперової суміші заданого співвідношення. Окремим трубопроводами подаються компоненти (целюлоза, напівцелюлоза, деревна маса, каніфольний клей, крохмаль, каолін, фарба), що, надходячи до ємності, перемішуються мішалкою і формують однорідну масу, з якої у подальшому буде формуватися паперове полотно [1]. Параметрична схема акумулювальної ємності показана на рис. 3.

На вхід апарату надходять потоки целюлози F_1 , $\text{м}^3/\text{год.}$; напівцелюлози F_2 , $\text{м}^3/\text{год.}$; деревної маси F_3 , $\text{м}^3/\text{год.}$; каніфольного клею F_4 , $\text{м}^3/\text{год.}$; крохмалю F_5 , $\text{м}^3/\text{год.}$; каолію F_6 , $\text{м}^3/\text{год.}$; фарби F_7 , $\text{м}^3/\text{год.}$ з концентрацією целюлози C_1 , %; напівцелюлози C_2 , %; деревної маси C_3 , %; каніфольного клею C_4 , %; крохмалю C_5 , %; каоліну C_6 , %; фарби C_7 , %.

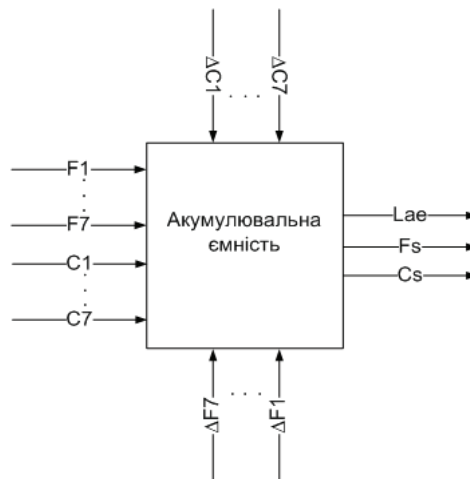


Рис. 3. Параметрична схема акумулювальної ємності

Вихідними змінними є концентрація волокна у суміші, C_s , %, витрата суміші на виході, F_s , $\text{м}^3/\text{год.}$ рівень суміші у ємності L_{ae} , м. Збуреннями є зміни концентрацій вхідних потоків целюлози ΔC_1 , %; напівцелюлози ΔC_2 , %; деревної маси ΔC_3 , %; каніфольного клею ΔC_4 , %; крохмалю ΔC_5 , %; каоліну ΔC_6 , %; фарби ΔC_7 , %. Керування: зміна витрати вхідних потоків целюлози ΔF_1 , $\text{м}^3/\text{год.}$; напівцелюлози ΔF_2 , $\text{м}^3/\text{год.}$; деревної маси ΔF_3 , $\text{м}^3/\text{год.}$; каніфольного клею ΔF_4 , $\text{м}^3/\text{год.}$; крохмалю ΔF_5 , $\text{м}^3/\text{год.}$; каолію ΔF_6 , $\text{м}^3/\text{год.}$; фарби ΔF_7 , $\text{м}^3/\text{год.}$

4.2. Розбавлення паперової маси. З акумулювальної ємності, однорідна маса подається у відділ розбавлення. Там до неї додають воду і отримують продукт з концентрацією (за волокном) 0,7–1,1 %, що необхідна для подальшого використання відділі очистки [1].

Вода для розбавлення надходить з сіткової частини ПРМ.

Процес розбавлення відбувається у відцентровому насосі, параметрична схема якого зображена на рис. 4. У насос подаються паперова маса і вода в заданих пропорціях.

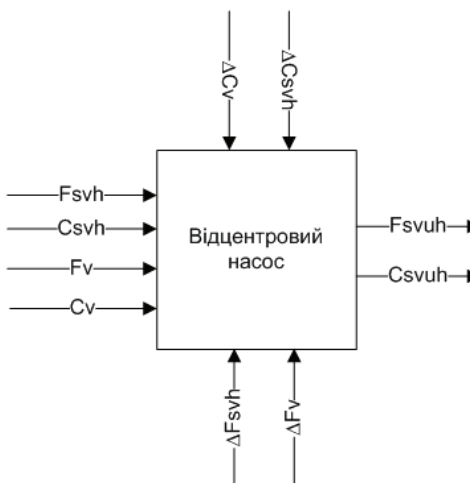


Рис. 4. Параметрична схема відцентрового насоса

Вхідними змінними є концентрація волокна у суміші C_{svh} , %, концентрація паперової маси у воді C_v , %, витрата суміші на вході F_{svh} , $\text{м}^3/\text{год.}$ і витрата води для розбавлення F_v , $\text{м}^3/\text{год.}$ Вихідними – концентрація

волокна у суміші на виході з насосу, C_{svh} , % і витрата суміші на виході з насосу F_{svh} , $m^3/год.$ Збуреннями є зміна концентрації волокна у суміші ΔC_{svh} , %, паперової маси у воді ΔC_v , %. Керуваннями — зміни витрат суміші на вході F_{svh} , $m^3/год.$ і води для розбавлення F_v , $m^3/год.$

4.3. Очищення маси. Після розбавлення суміш поступає у відділ очищення. Він складається з вихрових конічних очисників та вузлуоуловлювачів. Задачею цих апаратів є видалення з потоку домішок.

Зазвичай, встановлюють декілька (3–4) ступені вихрових очисників для ефективного видалення мінеральних домішок з паперової маси [2]. Використання такого обладнання дозволяє видалити надлишок повітря, який призводить до зниження якості кінцевої продукції.

Другим етапом очищення є пропускання маси через вузлуоуловлювачі. Очищення відбувається шляхом проходження маси через вузькі щілини (шліці), що прорізані в плитах, які піддаються легкому струшуванню. Через щілини проходять лише волокна необхідного розміру, у той час, коли пучки і вузли затримуються і виводяться з потоку.

Стадія очищення не розглядається як об'єкт автоматизації, оскільки вихідні параметри цього процесу повністю залежить від конструктивних особливостей апаратів і попереднього підбору необхідних фільтрів.

4.4. Напуск маси на сітку. Очищена від домішок маса подається у напірний ящик для подальшого напуску на сітковий стіл. Він є одним із найбільш відповідальних об'єктів автоматизація ПРМ. Параметрична схема напірного ящика представлена на рис. 5. Його завданням є безперервна і рівномірна подача паперової маси на сітковий стіл через подавальну щілину.

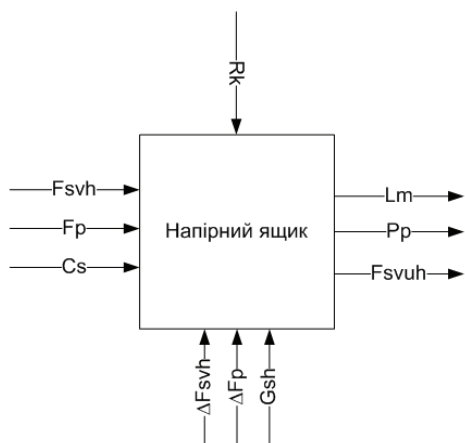


Рис. 5. Параметрична схема напірного ящика

Вхідними змінними є витрати паперової маси, F_{svh} , $m^3/год.$; витрата повітря F_p , $m^3/год.$, волокна у суміші C_{svh} , %. Вихідними — рівень маси у ящику L_m , м.; тиск повітряної подушки P_p , $кгс/м^2$, витрата суміші на виході з напірного ящика F_{svuh} , $m^3/год.$ Збуренням є зміна режиму роботи компресора R_k , внаслідок чого може відбуватися стрибкоподібна зміна тиску у ящику, що призводить до порушення нормальної роботи апарату. Керуваннями — зміна витрати паперової маси, F_{svh} , $m^3/год.$ і повітря F_p , $m^3/год.$, а також положення заслінки у повальній щілині, G_z , мм.

Швидкість витікання паперової маси з напірного ящика можна однозначно встановити за рахунок ви-

хідних змінних і вона має відповідати виду паперу, що виробляється. Коефіцієнт співвідношення швидкостей витікання маси і руху сіткової частини:

$$a = \frac{V_m}{V_c} = 0,85 \dots 0,93, \quad (1)$$

де V_m — швидкість випускання маси з напірного ящика, $m/хв.$; V_c — швидкість сітки, $m/хв.$

Швидкість сітки задають на етапі пуску ПРМ і вона не змінюється з часом.

4.5. Формування і початок зневоднення паперового полотна. З напірного ящика маса подається на сітковий стіл. Він складається з грудного валу, 10–15 гідропланок, 7–10 відсмоктувальних мокрих або сухих ящиків, гауч-валу і самої сітки [2]. На столі відбувається процес формування паперового полотна шляхом видалення значної кількості води за допомогою різних елементів, призначених для зневоднення маси.

Відповідно до розробленої параметричної схеми сіткового столу (рис. 6) вхідними змінними є швидкість сіткової частини V_c , $m/хв.$, концентрація волокна у суміші C_{svh} , %, витрата паперової маси F_{svh} , $m^3/год.$, витрата повітря для відсмоктувальних ящиків F_{pva} , $m^3/год.$, витрата повітря для гауч-валу F_{pgval} , $m^3/год.$ положення гідропланок G_{gp} , мм.

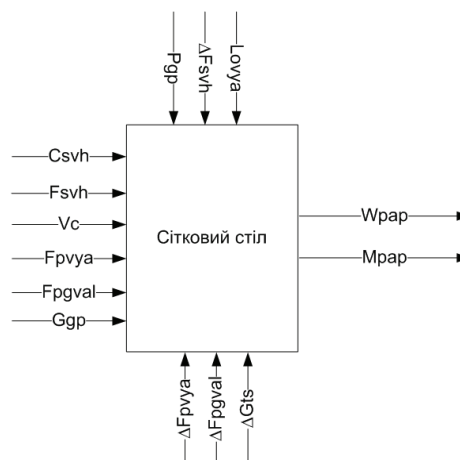


Рис. 6. Параметрична схема сіткового столу

Вихідними параметрами є вологість паперу на виході з сіткової частини M_{pap} , %; маса $1 m^2$ паперу W_{pap} . Збуреннями є вакуум у гідропланках P_{gp} , $кПа$, Ступінь чистоти відсмоктувальних валів L_o , мм, коливання витрати суміші на вході ΔF_{svh} , $m^3/год.$ Керуваннями — зміна витрати повітря для відсмоктувальних ящиків ΔF_{pva} , $m^3/год.$, зміна витрати повітря для гауч-валу ΔF_{pgval} , $m^3/год.$, зміна положення гідропланок ΔG_{gp} , мм.

4.6. Зневоднення на пресах. Наступною стадією папероробної машини є зневоднення паперового полотна на пресах, її параметричну схему наведено на рис. 7.

Вона починається з пресової частини. Сюди полотно приходить зі значенням вологості 75–80 % (залежно від виду паперу). Ця частина являє собою набір пресів (два вали з маленьким зазором між ними), в яких відбувається механічне видалення вологи за рахунок пропускання матеріалу через щілину між двома валами [1].

Вхідними змінними є вологість паперу на вході пресової частини M_{vh} , % і маса $1 m^2$ паперу на вході

в пресову частину W_{pavh} , г. Вихідними — вологість на виході M_{vuh} , % і маса 1 м^2 паперу на виході з пресової частини W_{pavuh} , г. Збуренням для даного етапу є зміна структури сукна Q_{su} , %. Керуваннями — зазор між валами L_{val} , мм., сухість сукна C_{su} , %.

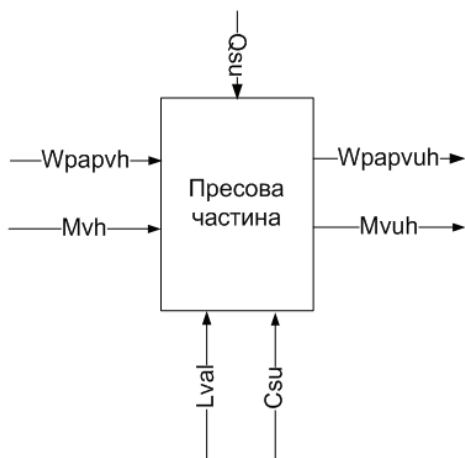


Рис. 7. Параметрична схема пресової частини

4.7. Сушильна частина. Остаточне видалення вологи (до значення 5–10 % вологості), відбувається у сушильній частині ПРМ.

На цей етап папір поступає за вологості приблизно 55–60 %. Він є найбільш економічно затратним і потребує найбільш чіткого керування. Існує багато способів сушіння, але найбільшого застосування, в наш час, набув комбінований [9]. Він складається з контактної і конвективної стадії. Для реалізації цього способу використовують багатциліндрові сушки. Сушильні циліндри встановлюють у шаховому порядку, а паперове полотно, огинаючи їх, нагрівається і з нього видаляється волога. Розділяють дві складові процесу сушіння [10]:

- 1) **контактне.** Огинаючи сушильні циліндри, що нагріваються парою зсередини, підвищується температура паперового полотна і з нього видаляється волога;
- 2) **конвективне.** Видалення вологи в процесі проходження полотна між циліндрами за рахунок конвективного теплообміну і тепла акумульованого на попередній стадії.

Параметрична схема цієї частини ПРМ зображена на рис. 8.

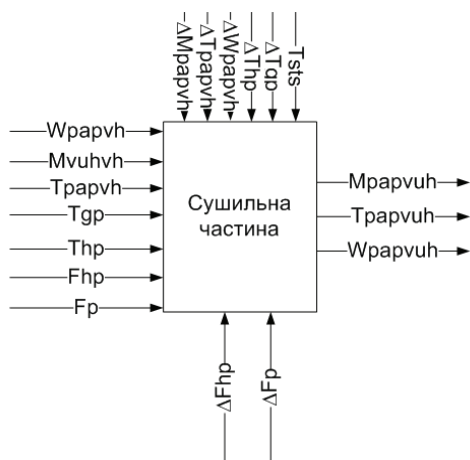


Рис. 8. Параметрична схема сушильної групи

Вхідними змінними є вологість паперу на вході M_{pavvh} , %; маса 1 м^2 паперу на вході W_{pavvh} , г; температура паперу на вході T_{pavvh} , °C; температура гріючої пари T_{gr} , °C; температура холодного повітря T_{ph} , °C; витрата гріючої пари F_p , $\text{м}^3/\text{год.}$; витрата холодного повітря F_{hp} , $\text{м}^3/\text{год.}$ Вихідними — вологість паперу на виході M_{pavvuh} , %; маса 1 м^2 паперу на виході W_{pavvuh} , г; температура паперу на виході T_{pavvuh} , °C. Збуреннями для даного етапу є зміна пологості на вході ΔM_{pavvh} , %; зміна маси 1 м^2 паперу на виході ΔW_{pavvh} , г; зміна температури паперу на вході ΔT_{pavvh} , °C; зміна температури гріючої пари ΔT_{gr} , °C; зміна температури холодного повітря ΔT_{ph} , °C; зміна теплопровідності сушильного циліндра T_{sts} , $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$. Керуваннями — зміна витрати гарячої пари F_p , $\text{м}^3/\text{год.}$; зміна витрати холодного повітря F_{hp} , $\text{м}^3/\text{год.}$

4.8. Каландрування. Кінцевим етапом роботи папероробної машини є відділ обробки і намотки. Для обробки зазвичай використовуються каландри і суперкаландри.

Їх основна задача — надати готовій продукції необхідної товщини і гладкості за рахунок пропускання її через зазор у валках, що обертаються [1]. Згідно параметричної схеми (рис. 9), Вхідними змінними є товщина паперу на вході L_{pavvh} , мм.; вологість паперу на вході M_{pavvh} , %; маса 1 м^2 паперу на вході W_{pavvh} , г; температура паперу на вході T_{pavvh} , °C; температура пари T_{gr} , °C; витрата пари F_p , $\text{м}^3/\text{год.}$

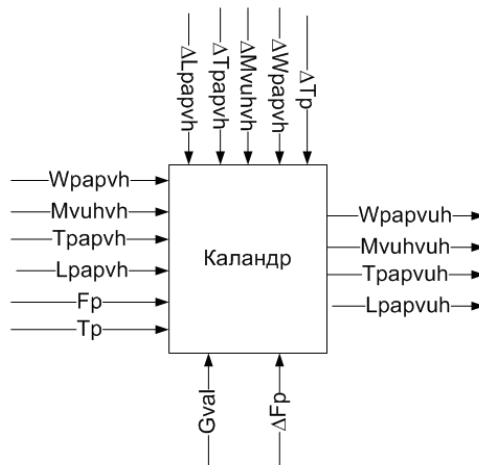


Рис. 9. Параметрична схема каландру

Вихідними — товщина паперу на виході L_{pavvuh} , мм.; вологість паперу на виході M_{pavvuh} , %; маса 1 м^2 паперу на виході W_{pavvuh} , г; температура паперу на виході T_{pavvuh} , °C. Збуреннями для даного етапу є зміна вологості паперу на вході M_{pavvh} , %; зміна маси 1 м^2 паперу на вході W_{pavvh} , г; зміна температур паперу на вході T_{pavvh} , °C; зміна температури пари T_{gr} , °C; зміна товщини паперу на вході L_{pavvh} , мм. Керуваннями — положення валів, G_{val} , мм; зміна витрат пари F_p , $\text{м}^3/\text{год.}$

На виході з каландру отримують готовий продукт, що відповідає заданим показникам якості і готовий до використання.

5. Висновки і шляхи подальших досліджень

Проведено детальний аналіз існуючих систем автоматичного керування складовими частинами папероробної

машини і висвітлено новітні досягнення у сфері комплексної автоматизації процесу виробництва паперу.

Проведений параметричний аналіз складових частин папероробної машини показав, що ПРМ є складним багатостадійним об'єктом, на який діють численні контрольовані і неконтрольовані збурення, що ускладнюють процес отримання якісного кінцевого продукту і ставлять задачі розробки системи автоматичного керування, яка зможе компенсувати їх вплив. Виділено основні входні і вихідні змінні кожного етапу. Встановлено найбільш суттєві збурення і визначено керувальні впливи.

У подальших дослідженнях буде сформульовано задачі оптимального керування процесом виробництва паперу та його окремих стадій, розроблено їх математичні моделі, на основі яких буде проведено дослідження ПРМ як об'єкта автоматизації (як у цілому, так і за окремими стадіями) з метою побудови ефективної системи керування виробництвом паперу.

Література

1. Фляте, Д. М. Технология бумаги [Текст] / Д. М. Фляте. — М.: Лесная промышленность, 1988. — 440 с.
2. Иванов, С. Н. Технология бумаги [Текст] : учеб. пособ. / С. Н. Иванов. — М.: Гослесбумиздат, 1960. — 719 с.
3. Кваско, М. З. Автоматичне керування напірним ящиком із повітряною подушкою [Текст] / М. З. Кваско, М. С. Піргач, А. В. Жихарева // Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. — Київ, 2009. — № 1. — С. 54–58.
4. Малков, В. Г. Модернизация бумаго-, картоноделательных и сушильных машин [Текст] / В. Г. Малков // Целлюлоза, бумага, картон. — Москва, 2005. — № 6. — С. 52.
5. Ицкович, Э. Л. Рациональная последовательность модернизации существующих систем автоматизации производства [Текст] / Э. Л. Ицкович // Промышленные АСУ и контроллеры. — Москва, 2005. — № 1. — С. 11.
6. Akesson, J. Parameter optimization of a paper machine model [Text] / J. Akesson, J. Ekvall // Modelica. — 2006. — Section 4. — P. 411–420.
7. Гринченко, И. А. Совершенствование систем управления процессом сушки бумаги [Текст] // И. А. Гринченко, В. В. Пожитков, Ю. С. Жукова // Целлюлоза. Бумага. Картон. — Москва, 2009. — № 1. — С. 80–81.
8. Секушин, Н. А. Технологические процессы и производства [Текст] : метод. указ. / Н. А. Секушин. — Сыктывкар: СЛИ, 2008. — С. 44–48.
9. Hill, K. Analyzing the dryer section's steam and condensate system [Text] / K. Hill. — Tappi, 1993. — P. 105–108.
10. Weise, U. Characterization and mechanism of changes in wood pulp fibres caused by water removal [Text] / U. Weise // Polytechnica Scandinavica, Chemical Technology Series. — 1997. — № 249. — P. 204–205.

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ КАК ОБЪЕКТА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

В работе рассмотрено постадийную технологию производства бумаги на бумагоделательной машине (БДМ) с указанием основных технологических параметров. Проведен параметрический анализ отделов БДМ, подлежащих автоматизации. В виде параметрических схем указано основные входные и выходные переменные, управляющие и возмущающие воздействия для таких частей машины как аккумулярующая емкость, отдел разбавления, система очистки от примесей и т. д.

Ключевые слова: технология производства бумаги, бумагоделательная машина, автоматизация, управляющие воздействия, возмущения.

Жученко Анатолий Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизации химических производств, Национальный технический университет Украины «Київський політехнічний інститут», Україна, e-mail: zhaniv@ukr.net.

Черопкин Евгений Сергійович, ассистент, кафедра автоматизации химических производств, Национальный технический университет Украины «Київський політехнічний інститут», Україна, e-mail: e.Cheropkin@kpi.ua.

Жученко Анатолий Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизации химических производств, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.

Черопкин Евгений Сергеевич, ассистент, кафедра автоматизации химических производств, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.

Zhuchenko Anatolii, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: zhaniv@ukr.net.
Cheropkin Evgeniy, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: e.Cheropkin@kpi.ua