

Установа адукацыі
«БЕЛАРУСКІ ДЗЯРЖАЎНЫ ТЭХНАЛАГІЧНЫ ЎНІВЕРСІТЭТ»

Кафедра аўтаматызацыі
вытворчых працэсаў і электратэхнікі

АЎТАМАТЫКА, АЎТАМАТЫЗАЦЫЯ І АЎТАМАТЫЗАВАННЯ СІСТЭМЫ КІРАВАННЯ ТЭХНАЛАГІЧНЫМІ ПРАЦЭСАМІ

Праграма, метадычныя ўказанні
і канрольныя заданні для студэнтаў спецыяльнасцей
1-47 02 01 «Тэхналогія паліграфічных вытворчасцей»,
1-48 01 01 «Хімічная тэхналогія неарганічных рэчываў,
матэрыялаў і вырабаў», 1-48 01 02 «Хімічная тэхналогія
арганічных рэчываў, матэрыялаў і вырабаў»,
1-48 01 05 «Хімічная тэхналогія перапрацоўкі
драўніны» завочнай формы навучання

Мінск 2011

УДК 681.5(075)

ББК 32.965я75

А93

Разгледжаны і рэкамендаваны да выдання рэдакцыйна-выдавецкай
радай універсітэта

С к л а д а л ь н і к і :

*А. Г. Барашка, Ул. І. Бакаленка, Д. С. Карповіч,
В. П. Кобрынец, В. Д. Лебедзеў, В. В. Сарока*

Пад агульнай рэдакцыяй загадчыка кафедры аўтаматызацыі вы-
творчых працэсаў і электратэхнікі БДТУ *Д. С. Карповіча*

Р э ц е н з е н т

кандыдат тэхнічных навук, дацэнт кафедры
інфармацыйных сістэм і тэхналогій БДТУ *Н. М. Пуставалава*

Па тэматычным плане выданняў вучэбна-метадычнай літаратуры
ўніверсітэта на 2011 год. Паз. 131.

Для студэнтаў спецыяльнасцей 1-47 02 01 «Тэхналогія паліграфіч-
ных вытворчасцей», 1-48 01 01 «Хімічная тэхналогія неарганічных рэ-
чываў, матэрыялаў і вырабаў», 1-48 01 02 «Хімічная тэхналогія арганіч-
ных рэчываў, матэрыялаў і вырабаў», 1-48 01 05 «Хімічная тэхналогія
перапрацоўкі драўніны» завочнай формы навучання.

© УА «Беларускі дзяржаўны
тэхналагічны ўніверсітэт», 2011

УВОДЗІНЫ

Павышэнне эфектыўнасці працы вытворчасцей патрабуе нараўне з удасканаленнем тэхналагічных працэсаў прымянення больш сучасных метадаў кіравання імі з выкарыстаннем неабходных сродкаў аўтаматызацыі. Дысцыпліна «Аўтаматыка, аўтаматызацыя і аўтаматызаваныя сістэмы кіравання тэхналагічнымі працэсамі» прызначана для набыцця ведаў па тэарэтычных асновах аўтаматыкі, сучасных тэхнічных сродках аўтаматызацыі і іх практычным прымяненні для кіравання тэхналагічнымі працэсамі галіны ў час прафесійнай дзейнасці інжынераў-тэхнолагаў.

Асноўнай мэтай дысцыпліны з'яўляецца авалоданне студэнтамі навыкамі выкарыстання сродкаў аўтаматызацыі кіравання тэхналагічнымі працэсамі вытворчасцей. Задачы вывучэння дысцыпліны вызначаюцца патрабаваннямі да падрыхтоўкі інжынераў тэхналагічнага профілю, якія вынікаюць з яе ролі ў сістэме бесперапыннай прафесійнай падрыхтоўкі і ўключаюць наступнае:

- вывучэнне элементаў тэорыі і сродкаў кантролю тэхналагічных велічынь;
- азнаямленне з тэхнічнымі сродкамі аўтаматызацыі;
- характарыстыка звестак пра аўтаматызацыю вытворчасцей;
- вывучэнне тэорыі і прылад сістэм аўтаматычнага рэгулявання;
- азнаямленне з сістэмамі аўтаматызацыі тыпавых працэсаў і сістэмамі кіравання тэхналагічнымі працэсамі;
- характарыстыка метадыкі праектавання схем аўтаматызацыі тэхналагічных працэсаў;
- азнаямленне з аўтаматызацыяй асноўных тэхналагічных працэсаў вытворчасцей;
- вывучэнне аўтаматызаваных сістэм кіравання тэхналагічнымі працэсамі вытворчасцей.

Задачы, якія сустракаюцца ў тэорыі і практыцы аўтаматызацыі вытворчых працэсаў, часцей за ўсё бываюць настолькі складанымі, што патрабуюць ад тэхнолагаў ведаў асноў аўтаматыкі.

На шматлікіх прадпрыемствах укараняюцца кіруючыя вылічальныя машыны, якія ў спалучэнні са сродкамі вымяральной тэхнікі дазваляюць цалкам аўтаматызаваць асобныя агрэгаты і цэлыя вытворчасці.

1. АГУЛЬНЫЯ МЕТАДЫЧНЫЯ ЎКАЗАННІ

Курс «Аўтаматыка, аўтаматызацыя і аўтаматызаваныя сістэмы кіравання вытворчых працэсаў» вывучаецца студэнтамі з дапамогай літаратурных крыніц, якія рэкамендуюцца. Атрыманыя веды замацоўваюцца пры выкананні кантрольных і лабараторных работ.

Азнямленне з курсам рэкамендуецца праводзіць у той паслядоўнасці, у якой пабудавана рабочая праграма. Калі пры вывучэнні курса ці выкананні кантрольнай работы ў студэнта ўзнікаюць пытанні, ён можа атрымаць кансультацыю на кафедры аўтаматызацыі вытворчых працэсаў і электратэхнікі. Аб'ём патрабаванняў на экзамене вызначаецца прыведзенай праграмай.

Кантрольная работа ўключае асноўныя раздзелы курса.

Рашэнне кожнай задачы павінна змяшчаць зыходныя даныя, метадыку разлікаў, схемы і графікі. Выбар варыянта задачы вызначаецца наступным чынам.

Для задачы № 1 варыянт знаходзім па дзвюх апошніх лічбах нумара заліковай кніжкі студэнта. Калі лік перавышае колькасць варыянтаў, трэба ўзяць суму дзвюх апошніх лічбаў нумара заліковай кніжкі.

Для задачы № 2 варыянт вызначаецца па лічбе, якую атрымаем, калі прасумуем апошнюю і перадапошнюю лічбы нумара заліковай кніжкі студэнта. Калі ў выніку будзе двухзначны лік, трэба браць ізноў яго апошнюю лічбу.

Для задачы № 3 варыянт знаходзім праз модуль розніцы паміж перадапошняй і апошняй лічбамі нумара заліковай кніжкі.

Для задачы № 4 варыянт вызначаецца апошняй лічбай нумара заліковай кніжкі з улікам спецыяльнасці і спецыялізацыі студэнта.

2. ПРАГРАМА КУРСА

2.1. Уводзіны

Прадмет і задачы курса. Асноўныя паняцці. Класіфікацыя сістэм аўтаматычнага кіравання. Аўтаматызаваны тэхналагічны комплекс. Сістэмы прыбораў і сродкаў аўтаматызацыі.

2.2. Метады і сродкі аўтаматычнага кантролю тэхналагічных велічынь

Элементы метралогіі і тэхнікі вымярэнняў. Метады вымярэнняў. Асноўныя патрабаванні да вымяральных прыбораў. Дакладнасць вымяральных прыбораў: памылкі вымярэнняў, класы дакладнасці.

Вымярэнне тэмпературы. Манаметрычныя, біметалічныя, тэрма-электрычныя, паўправадніковыя тэрмометры, пірометры, тэрмометры супраціўлення (прынцыпы, канструкцыі, характарыстыкі).

Вымярэнне ціску, разрэджання і розніцы ціску (прынцыпы, канструкцыі датчыкаў, характарыстыкі).

Вымярэнне расходу і колькасці рэчыва. Прынцыпы дзеяння расходамераў. Вагавыя датчыкі.

Вымярэнне ўзроўню вадкіх і сыпучых рэчываў у апаратах. Кантроль складу і фізічных уласцівасцей рэчываў: канцэнтрацыі, шчыльнасці, вязкасці.

Кантроль механічных параметраў: памераў, руху, хуткасці, сіл.

Схемы пераўтварэнняў: узмацняльнікі, маставыя, патэнцыяметрычныя, электра-пнеўматычныя, механа-пнеўматычныя, гідраўлічныя.

Другасныя прыборы. Аналага-лічбавыя і лічбааналагавыя пераўтваральнікі.

2.3. Аўтаматычныя сістэмы кіравання (АСК)

Кіраванне з разамкнёным контурам.

Кіраванне па адхіленні рэгулюемай пераменнай і па нагрузцы (узрушэннем).

Сістэмы стабілізуючыя і сачэння, сістэмы праграмнага кіравання. Матэматычнае апісанне АСК і іх элементаў.

Дынамічныя характарыстыкі лінейных элементаў.

Тыпавыя звёны. Злучэнні і структурныя пераўтварэнні.

Устойлівасць АСК. Крытэрыі ўстойлівасці. Якасныя паказчыкі АСК.

Тэхналагічныя аб'екты кіравання. Складанне дынамічных мадэлей аб'ектаў кіравання.

Выканаўчыя органы і іх характарыстыкі.

Рэгулюючыя органы і іх характарыстыкі. Пазіцыянеры.

Аўтаматычныя рэгулятары. Сінтэз сістэм кіравання.

2.4. Аўтаматычныя сістэмы кіравання дыскрэтнымі аб'ектамі

Апісанне дыскрэтных аб'ектаў. Фармаванне законаў кіравання. Робатызаваныя сістэмы кіравання.

2.5. Аўтаматызацыя вытворчых працэсаў

Праектаванне функцыянальных схем аўтаматызацыі працэсаў.

Праектаванне прасцейшых прынцыповых схем.

Крытэрыі эфектыўнасці сістэм аўтаматызацыі.

Надзейнасць і дыягностыка сістэм аўтаматызацыі.

Тыпавыя тэхналагічныя працэсы спецыяльнасці і іх схемы аўтаматызацыі.

2.6. Аўтаматызаваныя сістэмы кіравання тэхналагічнымі працэсамі (АСК ТП)

Класіфікацыя і структура АСК ТП. Сувязь ЭВМ з аб'ектамі. Інфармацыйнае, кіруючае і праграмнае забеспячэнне. Візуальныя SCADA-сістэмы.

3. КАНТРОЛЬНЫЯ ЗАДАННІ

Задача № 1. ВЫБАР ВЫМЯРАЛЬНАГА КОМПЛЕКСУ

Пры выбары камплекта сродкаў вымярэнняў неабходна вырашыць наступныя задачы:

- вызначыць метады вымярэнняў, тып першаснага пераўтваральніка, характарыстыкі і функцыі другаснага прыбора;
- абраць канструкцыю першаснага пераўтваральніка;
- забяспечыць узгадненне ўваходных і выхадных сігналаў;
- ацаніць сумарную хібнасць абраных сродкаў вымярэнняў.

Першасны вымяральны пераўтваральнік – першы элемент у вымяральным ланцугу, ад яго залежаць як тып і характарыстыкі астатніх элементаў, так і характарыстыкі ўсяго камплекта ў цэлым. Пры выбары названага пераўтваральніка неабходна ўлічваць уздзеянне вымяраемага асяроддзя на матэрыял адчувальнага элемента і час яго абароны. Пажадана, каб дыяпазон вымярэнняў першаснага пераўтваральніка быў на 10–25% большы за магчымы дыяпазон змены вымеранай велічыні. Метады вымярэнняў і тып першаснага пераўтваральніка шмат у чым залежаць ад максімальнага значэння вымяраемай велічыні, дынамічнага дыяпазону вымярэнняў і дапушчальнай хібнасці.

Патрабаванні, прад'яўляемыя да прамежкавых пераўтваральнікаў, вызначаюцца выхадным сігналам першаснага пераўтваральніка.

Другасныя прыборы прызначаны для падачы апэратару вымяральнай інфармацыі ў зручнай для ўспрымання і аналізу форме. Таму пры выбары другасных прыбораў неабходна дадаткова ўлічваць эрганамічныя характарыстыкі, спосаб уяўлення інфармацыі, дадатковыя функцыі па рэгістрацыі параметраў, сігналацыі.

Для рэгістрацыі вымераных значэнняў выкарыстоўваецца папяровы носьбіт ці энерганезалежная памяць. Другасныя прыборы бываюць адна- і шматканальныя. Шкалы другасных прыбораў могуць адлюстроўваць вынік у адзінках вымеранай велічыні ці адсотках.

Абсалютная хібнасць Δ сукупнасці паслядоўна злучаных прыбораў вызначаецца па формуле

$$\Delta_{\Sigma} = 1,1 \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}, \quad (1)$$

дзе Δ_i – хібнасць сродкаў вымярэнняў, якія ўваходзяць у вымяральны камплект.

Прыклад 1. Выбраць сродкі вымярэнняў тэмпературы вады ў трубаправодзе дыяметрам 150 мм, у якім тэмпература вады змяняецца ад 50 да 180°C; максімальная абсалютная хібнасць не павінна перавышаць 1,5°C. Атрыманы вынік павінен адлюстроўвацца на табло і паступаць на ўваход кіруючага вылічальнага комплексу.

Выбар сродкаў вымярэнняў пачынаюць з выбару першаснага пераўтваральніка. Зададзены дыяпазон тэмператур можа быць вымераны плацінавымі тэрмометрамі супраціўлення ці тэрмапарамі. Медныя тэрмометры не падыходзяць, бо максімальная вымераная тэмпература роўная 180°C, а для звычайнай працы пажадана мець 25%-ны запас, г. зн. 225°C.

Ацэнім максімальную абсалютную хібнасць плацінавых тэрмометраў і тэрмапар:

$$\text{ТСП кл. } A: \Delta = \pm(0,15 + 0,002t) = \pm(0,15 + 0,002 \cdot 180) = \pm 0,51^\circ\text{C};$$

$$\text{ТСП кл. } B: \Delta = \pm(0,3 + 0,005t) = \pm(0,3 + 0,005 \cdot 180) = \pm 1,2^\circ\text{C};$$

$$\text{ТХК(L) кл. } 2: \Delta = \pm 2,5^\circ\text{C};$$

$$\text{ТХА (K) кл. } 1: \Delta = \pm 1,5^\circ\text{C};$$

$$\text{ТПП (S, R) кл. } 1: \Delta = \pm 1^\circ\text{C}.$$

Такім чынам, зададзеная хібнасць можа быць забяспечана тэрмапераўтваральнікамі супраціўлення любога класа дакладнасці ці тэрмапарамі ТПП (S, R) першага класа дакладнасці.

Пры кароткіх лініях сувязі (да 100 м) тэрмапераўтваральнікі супраціўлення можна падлучаць па чатырохправоднай схеме, у адваротным выпадку выкарыстоўваюць нармууючыя пераўтваральнікі, выхадны сігнал якіх 0–5 ці 4–20 мА, а адлегласць сувязі 5 і 20 км адпаведна. У якасці такога пераўтваральніка можна выкарыстоўваць ВП Rosemount 248 (табл. Д8), які пры падлучэнні да яго ТСП забяспечвае хібнасць не больш за $\pm 0,2^\circ\text{C}$ пры дыяпазоне вымярэнняў 0–200°C. Тады сумарная хібнасць тэрмометра і ВП складзе

$$\text{кл. } A: \Delta_{\Sigma} = \pm 1,1\sqrt{\Delta_{\text{ТСП}}^2 + \Delta_{\text{ВП}}^2} = \pm 1,1\sqrt{0,51^2 + 0,2^2} = \pm 0,6^\circ\text{C};$$

$$\text{кл. } B: \Delta_{\Sigma} = \pm 1,1\sqrt{\Delta_{\text{ТСП}}^2 + \Delta_{\text{ВП}}^2} = \pm 1,1\sqrt{1,2^2 + 0,2^2} = \pm 1,3^\circ\text{C}.$$

Агульная хібнасць тэрмометра класа B і прамежкавага пераўтваральніка блізкая да максімальна дапушчальнага значэння, таму выбіраем тэрмапераўтваральнік класа A.

Гэтыя ж функцыі можа выконваць тэрмометр з нармаваным выхадным сігналам серыі Метран ТСПУ 276 (табл. Д1). Пры выхадным сігнале 4–20 мА яго максімальная хібнасць у дыяпазоне 0–200°C складзе

$$\Delta = \pm \gamma(t_{\text{max}} - t_{\text{min}}) / 100\% = \pm 0,5^\circ\text{C}.$$

Для падключэння тэрмапар выкарыстоўваюць спецыяльныя праводы, якія падаўжаюць лінію, ці ўсталёўваюць нармуючыя пераўтваральнікі. Прыклады такіх пераўтваральнікаў прыведзены ў табл. Д4. Разгледзем пераўтваральнік УТА-70, бо ён можа быць ужыты з абранымі раней тэрмапарамі. Асаблівасцю пераўтваральніка з'яўляецца магчымасць праграмнай усталёўкі дыяпазону вымярэнняў. З улікам таго, што адносная хібнасць γ нармуецца ў адсотках ад дыяпазону вымярэнняў, мэтазгодна ўсталяваць межы вымярэнняў ад 0 да 200°C. За абсалютную хібнасць пераўтваральніка прымаецца большае значэнне з прыведзеных у табл. Д4. Тады абсалютная хібнасць складзе для абраных тэрмапар

$$\Delta = \pm \gamma(t_{\max} - t_{\min}) / 100\% = 0,1 \cdot 200 / 100\% = 0,2^\circ\text{C},$$

а паказаная ў табліцы абсалютная адпаведна 1,0°C – для тэрмапары ТПП (S, R).

Такім чынам, хібнасць пераўтваральніка УТА-70 пры падлучэнні тэрмапары ТПП (S, R) складзе 1,0°C. Сумарная хібнасць тэрмапары і нармуючага пераўтваральніка, вызначаная па формуле

$$\Delta_{\Sigma} = \pm 1,1 \sqrt{\Delta_{\text{ТЭП}}^2 + \Delta_{\text{ПП}}^2},$$

будзе роўная $\pm 1,6^\circ\text{C}$.

У адпаведнасці з п. 6.3.3 ч. 5 ДАСТ 8.586 тэрмометр павінен апускацца на глыбіню (0,3–0,7) D , г. зн. 45–105 мм. Таму выбіраем тэрмометр і ахоўную гільзу з даўжынёй мантажнай часткі $L = 80$ мм.

У якасці другаснага прыбора можна выкарыстоўваць розныя прылады, напрыклад: Сасна-003, станцыя збору даных Yokogawa DX-1002, ДЫСК-250 і інш. Выбар залежыць ад канструктыўнай сумяшчальнасці з існуючымі прыборамі, кошту, дадатковых функцый (табл. Д6).

Калі ў якасці другаснага прыбора абрана Сасна-003, то агульная хібнасць вымяральных камплекта, які складаецца з тэрмапераўтваральніка супраціўлення Метран 206, прамежкавага пераўтваральніка Rosemount 248 і другаснага прыбора, роўная

$$\Delta_{\Sigma} = \pm 1,1 \sqrt{\Delta_{\text{ТСП}}^2 + \Delta_{\text{ПП}}^2 + \Delta_{\text{ДП}}^2} = \pm 1,1 \sqrt{0,51^2 + 0,2^2 + 0,5^2} = \pm 0,8^\circ\text{C},$$

а пры выкарыстанні тэрмометра з уніфікаваным выхадным сігналам Метран ТСПУ 276

$$\Delta_{\Sigma} = \pm 1,1 \sqrt{\Delta_{\text{ПП}}^2 + \Delta_{\text{ДП}}^2} = \pm 1,1 \sqrt{0,5^2 + 0,5^2} = \pm 0,78 \approx 0,8^\circ\text{C}.$$

Сасна-003 мае інтэрфейс RS 232, па якім даныя могуць перадавацца ў камп'ютар, пры гэтым кошт прыбора значна ніжэйшы за ДЫСК-250 і DX-1002.

Такім чынам, вымяральны камплект складаецца з плацінавага тэрмапераўтваральніка супраціўлення Метран 206 класа А, нармуючага пераўтваральніка ВП Rosemount 248 і другаснага прыбора Сасна-003.

Прыклад 2. Выбраць сродкі вымярэнняў ціску ў рэактары, у якім ціск змяняецца ад 0,005 да 0,1 МПа, дыяпазон змены тэмператур 15–45°C. Вымеранае асяроддзе – агрэсіўная вадкасць. Дапушчальная максімальная хібнасць – 2 кПа.

Асаблівасцю з’яўляецца агрэсіўнасць вымяраемага асяроддзя, таму неабходна абраць пераўтваральнік ціску, прызначаны для працы ў такіх умовах, або выкарыстоўваць падзяляльныя пасудзіны ці падзяляльныя мембраны. З улікам таго, што вымяраемае асяроддзе – вадкасць, у якасці абароны адчувальнага элемента выбіраем падзяляльную мембрану.

Разгледзем магчымасць ужывання пераўтваральніка залішняга ціску EJX438A (табл. Д2). У склад гэтага прыбора ўваходзіць падзяляльная мембрана, таму яго можна выкарыстоўваць для вымярэнняў ціску агрэсіўных асяроддзяў. Прыбор дазваляе праграмаваць ўсталёўваць верхнюю мяжу вымярэнняў, і, улічваючы зададзены ціск, варта запраграмаваць $P_{\max} = 0,15$ МПа. Выхадны сігнал EJX438A – 4–20 мА, што, паводле спецыфікацыі, дазваляе перадаваць інфармацыю на адлегласць да 20 км.

Складальныя хібнасці прыбора роўныя:

– асноўная адносная прыведзеная хібнасць: $\pm 0,15\%$, а абсалютная $\pm 0,225$ кПа;

– дадатковая тэмпературная хібнасць:

$$\begin{aligned}\Delta_T &= \pm(0,5\% \text{ ад шкалы} + 0,025\% \text{ ад } P_{\max}) = \\ &= \pm(0,00057 + 0,000875) = \pm 1,4 \text{ кПа.}\end{aligned}$$

У якасці другаснага прыбора возьмем ДЫСК-250М (выкананне 10). Ён можа быць запраграмаваны на вымярэнне току 4–20 мА. Яго асноўная прыведзеная адносная хібнасць роўная $\pm 0,25\%$, а абсалютная адпаведна $\pm 0,285$ кПа.

Сумарная хібнасць вымяральнага камплекта роўная

$$\Delta_{\Sigma} = \pm 1,1 \sqrt{\Delta_{\text{асн}}^2 + \Delta_T^2 + \Delta_{\text{ВП}}^2} = \pm 1,1 \sqrt{0,225^2 + 1,4^2 + 0,285^2} = \pm 1,6 \text{ кПа,}$$

што задавальняе ўмовам задання.

Заданне 1

Падабраць сродкі для вымярэння фізічных велічынь пры зададзеных дыяпазоне вымярэнняў і максімальным значэнні абсалютнай хібнасці (табл. 1). Вымяральны камплект павінен складацца з першаснага

пераўтваральніка, нармуючага пераўтваральніка (пры неабходнасці) і другаснага прыбора. Пры выбары першаснага пераўтваральніка неабходна ўлічваць умовы эксплуатацыі, а таксама канструкцыю аб'екта вымярэнняў. Другасны прыбор павінен мець магчымасць перадачы інфармацыі ў лічбавым выглядзе. Пры выкананні задання неабходна абгрунтаваць адпаведнасць тэхнічных і метралагічных характарыстык абранага прыбора зададзеным характарыстыкам аб'екта.

Табліца 1

Зыходныя даныя да задання 1

№ варыянта	Вымяраемая велічыня, метралагічныя характарыстыкі	Характарыстыка аб'екта
0	Тэмпература Дыяпазон вымярэння: 10–100°C Хібнасць: $\Delta = \pm 0,7^\circ\text{C}$	Аб'ект – трубаправод, $\varnothing 80$ мм Асяроддзе – вада
1	Тэмпература Дыяпазон вымярэння: 0–600°C Хібнасць: $\Delta = \pm 2,5^\circ\text{C}$	Аб'ект – печка Асяроддзе – агрэсіўны газ
2	Тэмпература Дыяпазон вымярэння: 0–250°C Хібнасць: $\Delta = \pm 1,5^\circ\text{C}$	Аб'ект – калена трубаправода, $\varnothing 150$ мм Асяроддзе – расплаў палімеру
3	Тэмпература Дыяпазон вымярэння: 400–1600°C Хібнасць: $\Delta = \pm 2,5^\circ\text{C}$	Аб'ект – печка Таўшчыня сценак – 500 мм Асяроддзе – агрэсіўны газ
4	Тэмпература Дыяпазон вымярэння: 0–250°C Хібнасць: $\Delta = \pm 0,5^\circ\text{C}$	Аб'ект – трубаправод, $\varnothing 40$ мм Асяроддзе – вадзяная пара
5	Тэмпература Дыяпазон вымярэння: 0–250°C Хібнасць: $\Delta = \pm 1^\circ\text{C}$	Аб'ект – трубаправод, $\varnothing 80$ мм Асяроддзе – вада
6	Ціск Дыяпазон вымярэння: 0–1,5 МПа Хібнасць $\Delta = \pm 2,5$ кПа	Аб'ект – трубаправод, $\varnothing 40$ мм Асяроддзе – паветра $T = 80^\circ\text{C}$
7	Ціск Дыяпазон вымярэння: 20–20 кПа Хібнасць: $\gamma = \pm 1\%$	Аб'ект – печка Асяроддзе – дымавыя газы $T = 450^\circ\text{C}$
9	Тэмпература Дыяпазон вымярэння: 200–1000°C Хібнасць: $\Delta = \pm 2,5^\circ\text{C}$	Аб'ект – сушылка Таўшчыня сценак – 200 мм Асяроддзе – агрэсіўны газ
10	Ціск Дыяпазон вымярэння: 0–0,5 МПа Хібнасць $\Delta = \pm 1,5$ кПа	Аб'ект – трубаправод, $\varnothing 40$ мм Асяроддзе – вада $T = 80^\circ\text{C}$
11	Узровень Дыяпазон вымярэння: 0,5–10 м Хібнасць: $\delta = \pm 1,5\%$	Рэзервуар, запоўнены вадой $T = 50 \pm 5^\circ\text{C}$

12	Тэмпература Дыяпазон вымярэння: 0–350°C Хібнасць: $\Delta = \pm 2,5^\circ\text{C}$	Аб'ект – трубаправод, $\varnothing 150$ мм Асяроддзе – серная кіслата
13	Ціск Дыяпазон вымярэння: 0–3,5 МПа Хібнасць $\Delta = \pm 3,5$ кПа	Аб'ект – трубаправод, $\varnothing 60$ мм Асяроддзе – кісларод $T = 10^\circ\text{C}$
14	Тэмпература Дыяпазон вымярэння: 0–1100°C Хібнасць: $\Delta = \pm 10^\circ\text{C}$	Аб'ект – печка Асяроддзе – агрэсіўны газ
15	Ціск Дыяпазон вымярэння: 0–0,5 МПа Хібнасць $\Delta = \pm 0,5$ кПа	Аб'ект – трубаправод, $\varnothing 20$ мм Асяроддзе – прапан $T = 20^\circ\text{C}$
16	Узровень Дыяпазон вымярэння: 0,5–10 м Хібнасць: $\delta = \pm 1\%$	Рэзервуар, запоўнены электраправоднай вадкасцю $T = 35 \pm 20^\circ\text{C}$
17	Узровень Дыяпазон вымярэння: 0,1–1 м Хібнасць: $\delta = \pm 1\%$	Рэзервуар, запоўнены неэлектраправоднай вадкасцю $T = 85 \pm 10^\circ\text{C}$
18	Узровень Дыяпазон вымярэння: 2–10 м Хібнасць: $\delta = \pm 1\%$	Рэзервуар, запоўнены сыпкім матэрыялам Дыяпазон тэмператур ад 20 да 35°C
19	Узровень Дыяпазон вымярэння: 5–30 м Хібнасць: $\delta = \pm 1\%$	Рэзервуар, запоўнены сыпкім матэрыялам Дыяпазон тэмператур ад 20 да 50°C

Задача № 2. СТРУКТУРНЫ АНАЛІЗ І ЎСТОЙЛІВАСЦЬ

Для аналізу працэсаў у сістэмах аўтаматычнага рэгулявання (САР) і кіравання (САК) шырока выкарыстоўваюцца структурныя схемы. Яны ўяўляюць сабой графічнае адлюстраванне ўраўнення, якое апісвае працэс. Структурная схема дазваляе ў нагляднай форме ўявіць матэматычны бок пераўтварэння ўваходных сігналаў, перашкод і фармавання выхаднага сігнала.

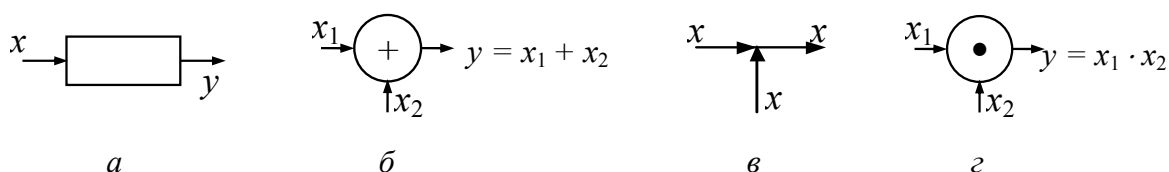
У структурных схемах адлюстроўваюцца функцыянальныя залежнасці, не звязаныя з канкрэтнай вобласцю тэхнікі, якія маюць агульны характар.

Асноўныя элементы схемы паказваюцца ў выглядзе прамавугольнікаў з адным уваходам і адным выхадам. У прамавугольніку адлюстроўваецца сімвал, які абазначае перадавачную функцыю паміж выхадам і ўваходам. Уваходная, выхадная пераменныя і перашкода разглядаюцца як сімвалы. Прамавугольнікі злучаюцца стрэлкамі, якія ўказваюць напрамак дзеяння сувязі.

Алгебраічныя аперацыі (множанне, складанне і інш.) сігналаў вызначаюцца акружнасцямі, у сярэдзіне якіх запісана адпаведная аперацыя (адыхаванне, знаходжанне квадратнага караня). Аперацыі дыферэнцавання і інтэгравання абазначаюцца праз аператар p і вызначаюцца прамавугольнікамі (p і $1/p$).

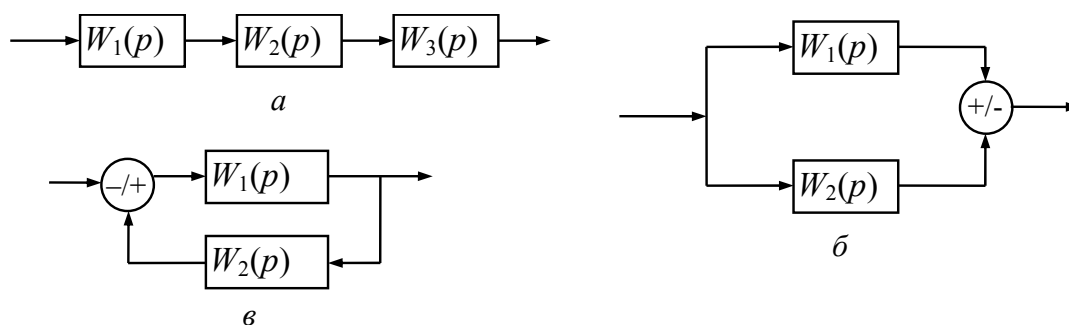
Знакі, з якімі сігналы прыходзяць у дадзены пункт, наносзяцца каля адпаведнай стрэлкі ці акружнасці. Асноўныя элементы структурных схем прыведзены на мал. 1.

Элементы разгалінавання адлюстроўваюцца ў выглядзе кропкі на лініі сувязі (мал. 1, в).



Мал. 1. Элементы структурных схем:
a – паслядоўнае злучэнне; *б* – падсумаванне;
в – элемент разгалінавання; *г* – перамяжэнне

Разгледзем тры асноўныя схемы злучэння элементаў, якія паказаны на мал. 2 і іх перадацныя функцыі $W(p)$:



Мал. 2. Асноўныя схемы злучэння САК:
a – паслядоўнае злучэнне элементаў; *б* – паралельнае злучэнне элементаў;
в – схема злучэння з адваротнай сувяззю

Паслядоўнае злучэнне элементаў (мал. 2, *a*):

$$W(p) = Y(p)/X(p) = W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p). \quad (2)$$

Паралельнае злучэнне элементаў (мал. 2, *б*):

$$W(p) = Y(p)/X(p) = W_1(p) \pm W_2(p). \quad (3)$$

Схема злучэння з адваротнай сувяззю (мал. 2, *в*):

$$W(p) = W_1(p)/(1 \pm W_1(p) \cdot W_2(p)). \quad (4)$$

Трэба адзначыць, калі $W_2(p) = \pm 1$ (адзіночная адваротная сувязь), то агульная передаточная функцыя замкнёнай сістэмы будзе мець выгляд

$$W(p) = W_1(p)/(1 \pm W_1(p)). \quad (5)$$

Для забеспячэння ўстойлівасці лінейнай сістэмы неабходна і дастаткова, каб усе карані характарыстычнага ўраўнення (назоўнік перадачнай функцыі замкнёнай сістэмы (5)) мелі адмоўныя рэальныя часткі. Паколькі вызначэнне каранёў у сістэмах вышэй за трэці парадак звязана з цяжкасцямі, то прымяняюцца розныя крытэрыі ўстойлівасці. Найбольшае распаўсюджанне знайшлі алгебраічны крытэрыі Раўса – Гурвіца і частотны крытэрыі Найквіста.

Па крытэрыі Раўса – Гурвіца САР будзе ўстойлівай, калі для характарыстычнага ўраўнення

$$a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + a_2 p^{n-2} + \dots + a_{n-1} p + a_n = 0, \quad (6)$$

пры $a_0 > 0$ усе дыяганальныя міноры матрыцы Гурвіца, якая складзена з характарыстычнага ўраўнення, маюць станоўчы знак.

Матрыцу складаюць наступным чынам:

$$\begin{array}{cccccc} a_1 & a_3 & a_5 & \dots & 0 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & a_{n-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & a_{n-2} & a_n \end{array}$$

Умовы ўстойлівасці для сістэмы да чацвёртага парадку прыведзены ў табл. 2

Табліца 2

Умовы ўстойлівасці

Памернасць ураўнення	Умовы ўстойлівасці
1	$a_0 > 0 ; a_1 > 0$
2	$\begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} \Rightarrow a_0 > 0 ; a_1 > 0 ; a_2 > 0$
3	$\begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 \\ a_0 & a_2 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix} \Rightarrow a_0 > 0 ; a_1 > 0 ; a_2 > 0 ; \Delta_2 = a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0$
4	$\begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & 0 \\ 0 & a_0 & a_2 & a_4 \end{vmatrix} \Rightarrow a_0 > 0 \text{ i } a_3(a_1 a_2 - a_0 a_3) - a_4 a_1^2 > 0$

Заданне 2

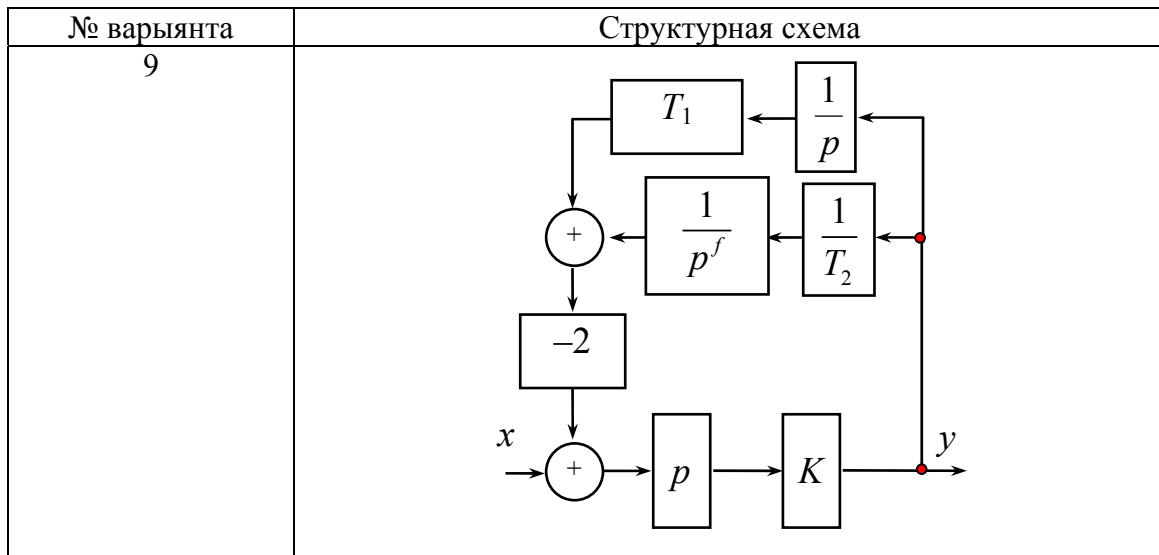
Па зададзенай структурнай схеме, згодна са сваім варыянтам (табл. 3), вызначыць эквівалентную перадавальную функцыю сістэмы.

Табліца 3

Выходныя даныя да задання 2

№ варыянта	Структурная схема
0	
1	
2	
3	
4	

№ варыянта	Структурная схема
5	
6	
7	
8	



Параметры сістэмы прыведзены ў табл. 4.

Табліца 4

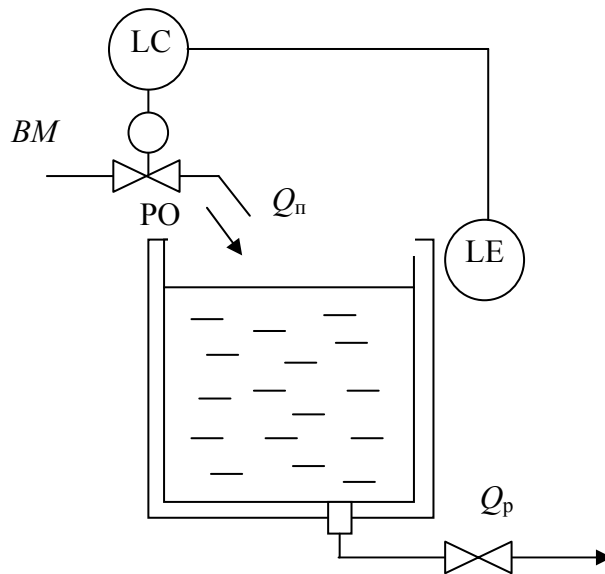
Зыходныя даныя да задачы № 2

Параметры	Значэнне f		
	0	1	2
K	20	4	12
T_1	0,7	0,5	0,2
T_2	0,2	0,3	0,4

Значэнне каэфіцыента f вызначаецца астаткам ад дзялення нумара першай літары прозвішча ў алфавіце на тры. Напрыклад, калі прозвішча пачынаецца на літару А, то астатак будзе 1, на Б – 2, на В – 0, на Г – 1, на Д – 2, на Е – 0, на Ё – 1, на Ж – 2, на З – 0 і г. д. Вызначыць устойлівасць атрыманай сістэмы згодна з крытэрыем Раўса – Гурвіца.

Задача № 3. РАЗЛІК ПЕРАХОДНАГА ПРАЦЭСУ Ў ЛІНЕЙНАЙ СІСТЭМЕ АЎТАМАТЫЧНАГА РЭГУЛЯВАННЯ (САР)

Аб'ектам кіравання (АК) з'яўляецца рэзервуар з прапарцыянальным рэгулятарам, напоўнены вадкасцю (мал. 3). Рэгулюемы параметр – узровень L . Абураючым уздзеяннем будзе расход вадкасці Q_p . Яго змяненне прыводзіць да парушэння матэрыяльнага балансу апарата і адхілення L ад зададзенага значэння $L_{зд}$.



Мал. 3. Схема сістэмы аўтаматычнага рэгулявання

Узровень вымяраецца датчыкам LE. Аўтаматычны рэгулятар LC на аснове параўнання бягучага значэння L з зададзеным $L_{зд}$ выпрацоўвае кіруючае ўздзеянне, якое з дапамогай выканаўчага механізма ВМ і рэгулюючага органа РО пераўтвараецца ў змяненне прытоку Q_p .

Замест бягучых значэнняў L , Q_p і $Q_{по}$ больш зручна разглядаць іх адхіленні ад некаторых зыходных значэнняў. Адзначым:

$g = L - L_{зд}$ – адхіленне ўзроўню ад зададзенага значэння (выхадны параметр);

$f = Q_p - Q_{po}$ – адхіленне расходу ад пачатковага значэння (абуюраючае ўздзеянне);

$u = Q_p - Q_{по}$ – адхіленне прытоку адносна пачатковага значэння (кіруючае ўздзеянне).

Пры гэтых адзнаках дыферэнцыяльнае ўраўненне аб'екта кіравання мае выгляд

$$T \frac{dy}{dt} + y = K_u u - K_f \cdot f, \quad (7)$$

дзе T – пастаянная часу АК; t – час; K_u – каэфіцыент перадачы АК па канале кіравання; K_f – каэфіцыент перадачы АК па канале ўзрушэння.

Памернасць выхаднага параметра – (метры), кіруючага ўздзеяння – (кубічныя метры на секунду), памернасці астатніх параметраў зазначаны ў табліцы. Для спрашчэння разлікаў дапускаем, што перадатачныя функцыі датчыка, выканаўчага механізма і рэгулюючага органа роўныя адзінцы.

Указанні да выканання задачы № 3

Разгледзем методыку рашэння пры наступных зыходных даных: $T = 10$ с; $K_f = 4,5$ с/м²; $K_u = 1,5$ с/м²; $\mu = 2 \cdot 10^{-2}$ м³/с; для П-рэгулятара $K_p = 2$.

Запішам ураўненне (7) у аперацыйнай форме:

$$(T_p + 1)y(p) = K_u \cdot u(p) - K_f \cdot f(p),$$

дзе $y(p)$, $u(p)$, $f(p)$ – адлюстраванне, па Лапласу, велічынь $y(p)$, $u(p)$, $f(p)$ адпаведна.

Вызначым з гэтага ўраўнення адлюстраванне выхаднога параметра:

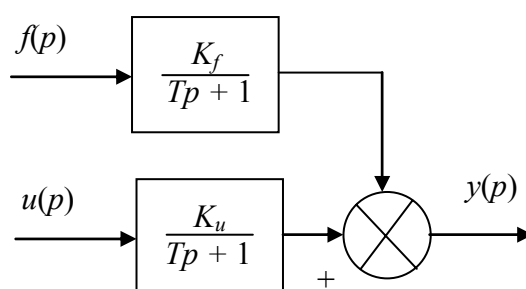
$$y(p) = \frac{K}{Tp + 1}u(p) - \frac{K}{Tp + 1}f(p)$$

ці

$$y(p) = W_u(p) \cdot u(p) - W_f(p) \cdot f(p), \quad (8)$$

дзе $W_u(p) = K_u / (Tp + 1)$ – перадаточная функцыя АК па канале кіравання; $W_f(p) = K_f / (Tp + 1)$ – перадаточная функцыя АК па канале абурэння.

Такім чынам, аб'ект можна прадставіць у выглядзе структурнай схемы (мал. 4).



Мал. 4. Структурная схема аб'екта кіравання

Для пабудовы графіка пераходнага працэсу ў АК дапусцім ва ўраўненні (8) $u(p) = 0$.

Атрымаем

$$y(p) = -W_f(p) \cdot f(p).$$

Паколькі вызначаная перадаточная функцыя адпавядае тыповаму інерцыйнаму (апэрыядычнаму) зв'язу першага парадку, то пры зададзеным уздзеянні $f(t) = \mu \cdot 1(t) = 0,2 \cdot 10^{-2} \cdot 1(t)$ пераходны працэс можна знайсці па вядомай формуле

$$y(t) = -\mu \cdot K_f (1 - e^{-\frac{t}{T}}) = -2 \cdot 10^{-2} \cdot 4,5 (1 - e^{-\frac{t}{10}}). \quad (9)$$

Для разліку пунктаў пераходнага працэсу вызначаем моманты часу ад нуля да $t_{\max} \approx 5T = 5 \cdot 10 = 50$ с. Крок прырашчэння часу Δt вызначым такі, каб на графіку было 10...15 разліковых пунктаў, г. зн.

$$\Delta t = \frac{50}{10 \dots 15} = 5 \dots 3,33 \text{ с.}$$

Вызначым $\Delta t = 5$ с. Вынікі разлікаў па формуле (9) прыведзены ў табл. 5.

Табліца 5

Вынікі разлікаў

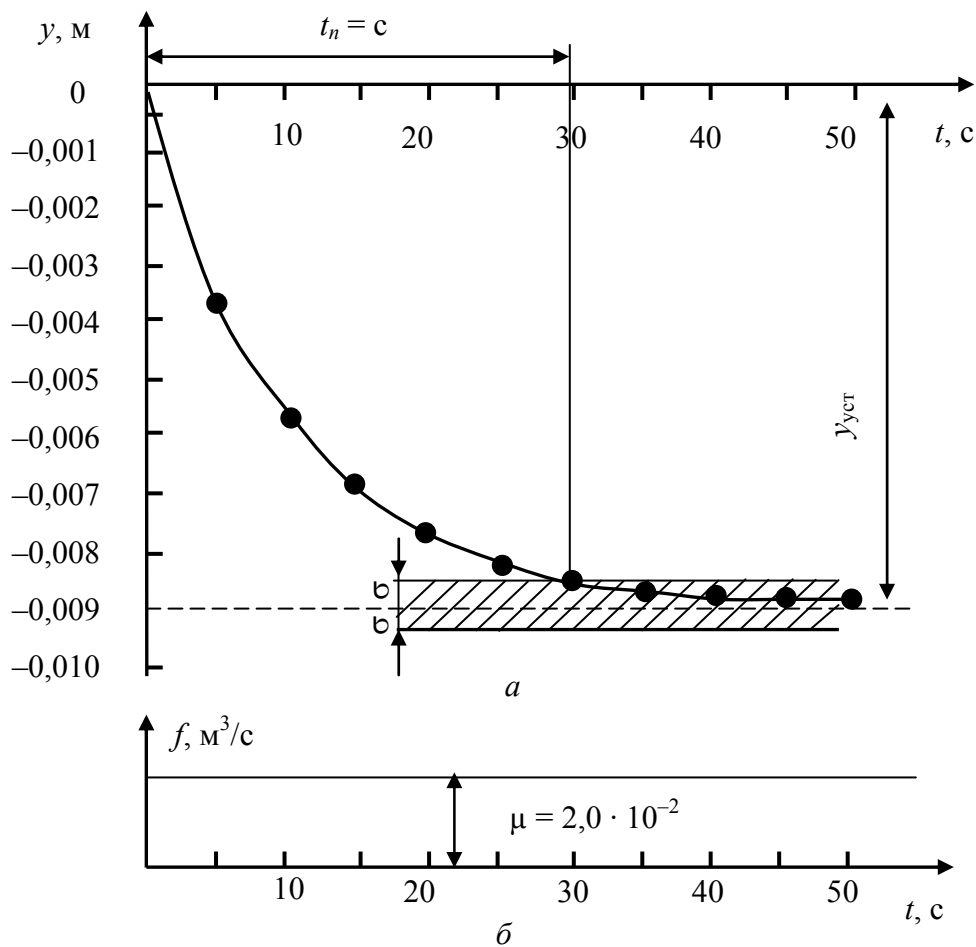
$t, \text{с}$	$-\frac{t}{10}$	$e^{-\frac{t}{10}}$	$1 - e^{-\frac{t}{10}}$	$y = -9 \cdot 10^{-2}(1 - e^{-\frac{t}{10}})$
1	2	3	4	5
0	0	1	0	0
5	-0,5	0,606	0,394	$-3,54 \cdot 10^{-2}$
10	-1,0	0,368	0,632	$-5,68 \cdot 10^{-2}$
15	-1,5	0,223	0,777	$-6,99 \cdot 10^{-2}$
20	-2,0	0,135	0,865	$-7,78 \cdot 10^{-2}$
25	-2,5	0,082	0,918	$-8,26 \cdot 10^{-2}$
30	-3,0	0,050	0,950	$-8,55 \cdot 10^{-2}$
35	-3,5	0,030	0,970	$-8,73 \cdot 10^{-2}$
40	-4,0	0,018	0,982	$-8,84 \cdot 10^{-2}$
45	-4,5	0,011	0,989	$-8,90 \cdot 10^{-2}$
50	-5,0	0,007	0,993	$-8,94 \cdot 10^{-2}$

Па даных табліцы будзем графік пераходнага працэсу ў аб'екце кіравання (мал. 5). З графіка вынікае, што выхадны параметр у асімптатычна прыбліжаецца да новага ўстаноўленага значэння:

$$y_{\text{уст}} = -\mu \cdot K_f = -0,09 \text{ м.}$$

Структурная схема САР прыведзена на мал. 6.

На схеме паказаны аб'ект кіравання АК і аўтаматычны рэгулятар АР. Па прычыне дзеяння абурэння $f(p)$ узнікаюць адхіленні выхаднага параметра $y(p)$. Бягучыя значэнні $y(p)$ у элеменце параўнання ЭП параўноўваюцца з зададзеным уздзеяннем $g(p)$. У выніку параўнання вызначаецца адхіленне $\Delta = g(p) - y(p)$. У залежнасці ад велічыні і знака адхілення АР фармуе кіруючае ўздзеянне $u(p)$, вынік якога на АК аказвае процілеглае адносна ўздзеянню абурэння $f(p)$. У выніку адхіленне выхаднага параметра ліквідуецца ці змяншаецца да неабходнай велічыні.

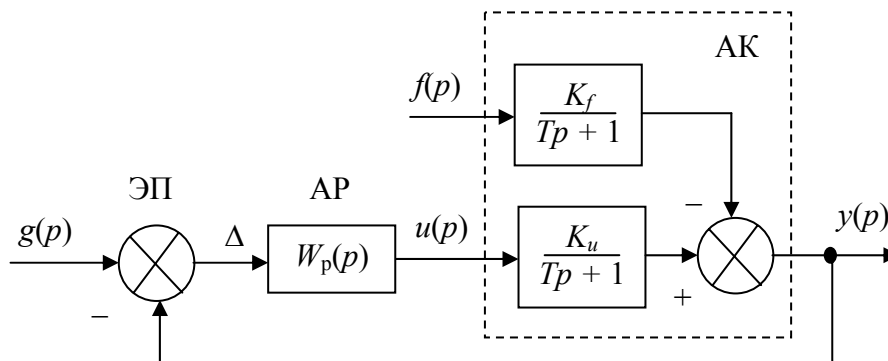


Мал. 5. Графіки перехідного процесу у аб'єкті:
 a – перехідний процес; b – знешняє ўздзеянне

Передаточная функция пропорционального регулятора $W_p(p)$ має вигляд

$$W_p(p) = W_n(p) = K_p,$$

дзе K_p – коефіцієнт передачі регулятора.



Мал. 6. Структурная схема САР

Параметр K_p заданы ў табл. 5. Перадаточная функцыя замкнёнай сістэмы па ўзрушэнні ў адпаведнасці з мал. 6 будзе

$$\Phi_f(p) = \frac{y(p)}{f(p)} = \frac{-W_f(p)}{1 + W_p(p) \cdot W_u(p)}.$$

Тады для САР з П-рэгулятарам

$$\Phi_f(p) = \frac{-\frac{K_f}{Tp+1}}{1 + K_p \cdot \frac{K_u}{Tp+1}} = \frac{-K_f}{Tp+1 + K_p \cdot K_u}. \quad (10)$$

Для пабудовы пераходнай характарыстыкі выкарыстоўваецца ўраўненне

$$y(t) = \frac{-K_f \cdot \mu}{1 + K_p \cdot K_u} \left(1 - e^{-\frac{1+K_f \cdot K_u}{T} t}\right). \quad (11)$$

Вызначым новае ўсталяванае значэнне выхаднога параметра:

$$y_{уст}^п = -\frac{K_f \cdot \mu}{1 + K_p \cdot K_u} = \frac{-4,5 \cdot 2 \cdot 10^{-2}}{1 + 2 \cdot 1,5} = -2,25 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

Абзначым

$$T' = \frac{1 + K_f \cdot K_u}{T} = \frac{1 + 2 \cdot 1,5}{10} = 0,4 \text{ с}^{-1}.$$

Моманты адліку часу Δt вызначым так, каб на графіку было 10...15 разліковых пунктаў, г. зн.

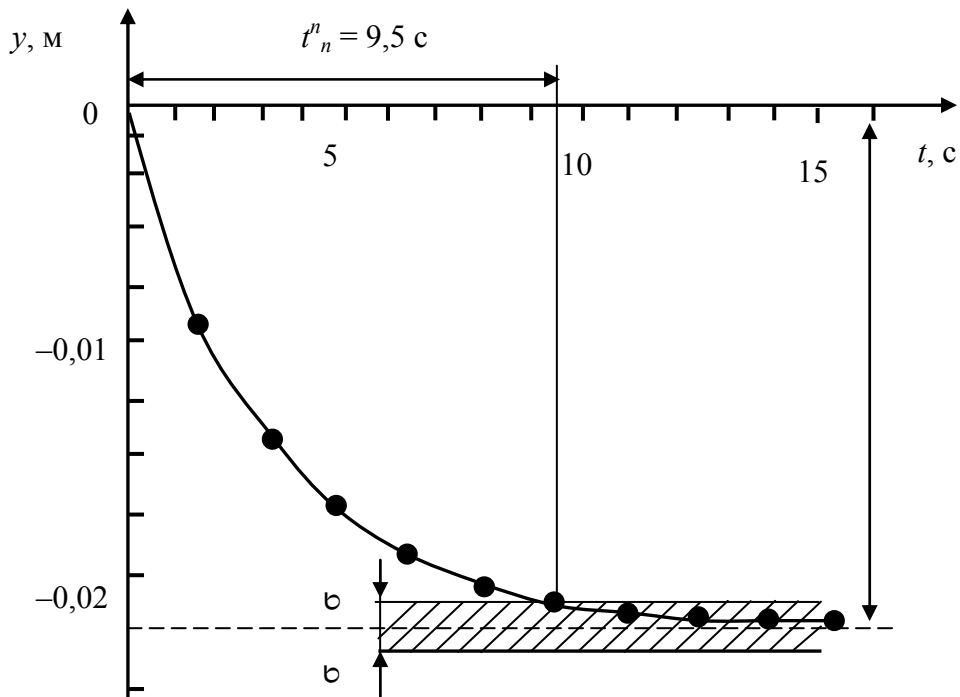
$$\Delta t = \frac{t_{\max}}{10...15} = \frac{12,5}{10...15} = 1,25...0,83 \text{ с.}$$

Вызначым $\Delta t = 1 \text{ с}$.

Вынікі разлікаў прывесці ў выглядзе табліцы, падобнай да табл. 5, і пабудаваць графік пераходнага працэсу. Такі графік, пабудаваны па формуле (11), прыведзены на мал. 7.

Вызначэнне працягласці пераходнага працэсу. Час пераходнага працэсу $t_{п}$ вызначаецца як час, за які выхадны параметр $y(t)$ пасля падачы абураючага ўздзеяння будзе адрознівацца ад новага ўстойлівага значэння на загадзя вызначаную велічыню δ , г. зн.

$$|y - y_{уст}| \leq \delta.$$



Мал. 7. Графік пераходнага працэсу ў сістэме з П-рэгулятарам

Звычайна прымаюць $\delta = 0,05 y_{уст}$, дзе $y_{уст}$ – усталёванае значэнне адхілення выхаднога параметра. Тады для аб'екта кіравання $\delta_{AK} = 0,05 \cdot y_{уст}^{AK} = 0,05 \cdot 0,09 = 0,45 \cdot 10^{-2}$ м, а для САР з П-рэгулятарам $\delta_{II} = 0,05 \cdot y_{уст}^{II} = 0,05 \cdot 2,25 \cdot 10^{-2} = 0,1125 \cdot 10^{-2}$ м.

Адзначым на графіках пераходных працэсаў (мал. 5 і 7) зону, абмежаваную велічынямі $+\delta$ і $-\delta$ адносна новага ўсталёванага значэння. Потым знойдзем пункт ўваходу крывой пераходнага працэсу ў гэтую зону. Такі пункт і будзе вызначаць заканчэнне пераходнага працэсу. Для аб'екта кіравання без рэгулятара $t_{II}^{AK} = 30$ (мал. 5), а для САР з П-рэгулятарам $t_{II}^{II} = 9,5$ с (мал. 7).

Вывад: выкарыстанне П-рэгулятара дазволіла паменшыць час пераходнага працэсу ў параўнанні з аб'ектам без рэгулятара з 30 да 9,5 с і паменшыць усталёванае значэнне адхілення выхаднога параметра ў $(1 + K_p \cdot K_u)$ разоў, г. зн. з $-9 \cdot 10^{-2}$ да $-2,25 \cdot 10^{-2}$ м. Наяўнасць астаткавага адхілення выхаднога параметра (статычнай памылкі) з'яўляецца характэрнай асаблівасцю сістэм з аб'ектам зададзенага тыпу і П-рэгулятарам.

Заданне 3

Патрабуецца: 1. Вызначыць матэматычную мадэль АК у выглядзе структурнай схемы і перадацныя функцыі АК па каналах кіравання і

ўзрушэння. 2. Пабудаваць крывую пераходнага працэсу ў АК пры адсутнасці аўтаматычнага рэгулятара (АР) і дзеянні ўзрушэння ў выглядзе скачка зададзенай велічыні μ . 3. Складзі структурную схему САР, якая даследуецца. 4. Вызначыць перадатачную функцыю сістэмы па канале ўзрушэння. 5. Пабудаваць графік пераходнага працэсу ў САР пры скачкападобным змяненні ўзрушэння на велічыню μ . 6. Знайсці час пераходнага працэсу ў аб'екце без рэгулятара і ў САР з П-рэгулятарам (табл. 6).

Табліца 6

Выходныя даныя да задання 3

Параметры	Варыянты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$T, \text{с}$	8	11	8,5	10	9	9,5	9,5	10,5	10	11,5
$K_f, \text{с/м}^2$	3,0	3,0	3,2	3,2	3,6	3,6	4,0	4,0	5,0	5,0
$K_u, \text{с/м}^2$	1,8	1,7	1,6	1,6	1,4	1,4	1,2	1,3	1,0	1,5
$\mu, \text{м}^3/\text{с}$	$2,5 \times 10^{-2}$	$2,2 \times 10^{-2}$	$2,3 \times 10^{-2}$	$2,5 \times 10^{-2}$	$2,1 \times 10^{-2}$	2×10^{-2}	2×10^{-2}	$1,5 \times 10^{-2}$	$1,9 \times 10^{-2}$	$1,8 \times 10^{-2}$
K_p	1,8	1,8	2,0	2,0	2,2	2,2	2,5	2,5	2,8	2,6

Задача № 4. ПАБУДОВА СХЕМ АўТАМАТЫЗАЦЫІ

4.1. Аналіз тэхналагічнага працэсу і выбар параметраў кантролю і рэгулявання

Выбар рэгулюемых параметраў тэхналагічнага працэсу, якія падтрымліваюцца на зададзеных значэннях, робіцца толькі пасля дэталёвага азнаямлення з працэсам і яго матэрыяльным балансам.

Якасць прадукту з'яўляецца асноўным рэгулюемым параметрам у любой устаноўцы прадпрыемства. Пад тэрмінам «якасць» разумеюць розныя параметры: у працэсе сушкі – утрыманне вільгаці ў прадукцыі; у цеплаабменніку – тэмпература ці энтальпія выхадной плыні; у рэктыфікацыйнай калоне – чысціня дыстыляту ці кубавага астатку; у парепарагравальніку – тэмпература пары.

Рэгуляванне кожнай устаноўкі вытворчасці абавязана забяспечыць змяненне прадукцыйнасці пры нязменнай якасці прадукту, калі гэта будзе вызвана неабходнасцю змянення рэжыму работы наступнай устаноўкі.

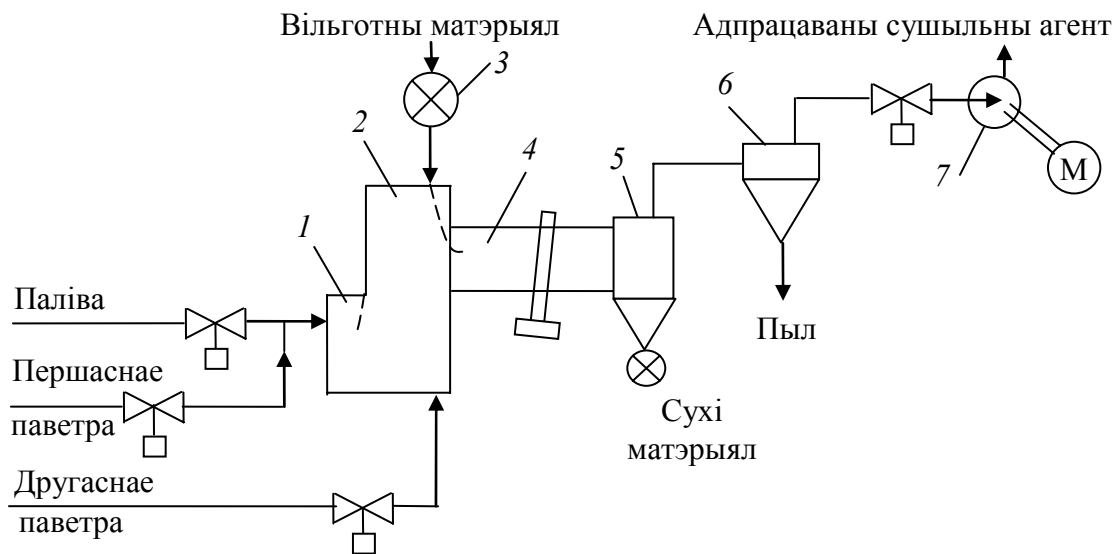
Такія параметры, як узровень вадкасці, вага і ціск, прынцыпова звязаны з рэгуляваннем запасу. Без іх рэгулявання немагчыма захаваць матэрыяльны ці энергетычны балансы.

Кожная вытворчая ўстаноўка мае хаця б адзін з падобных контураў рэгулявання, а часта і больш.

Пры праектаванні сістэм аўтаматызацыі вытворчых працэсаў вызначаюцца велічыні, якія неабходна кантраляваць і рэгуляваць, а таксама выяўляюцца пункты ўвядзення кіруючых уздзеянняў і каналы іх праходжання па аб'екце. З гэтай мэтай складаюць схему ўзаемных уздзеянняў велічынь аб'екта, вылучаюць асноўныя і дадатковыя каналы праходжання сігналаў, а потым складаюць асобныя контуры рэгулявання, якія кампенсуюць уплыў абурэнняў. Пры неабходнасці асноўныя контуры рэгулявання злучаюць паміж сабой, а велічыні, якія падлягаюць кантролю, выбіраюць так, каб іх лік быў мінімальным, але дастатковым для поўнага ўяўлення ходу тэхналагічнага працэсу.

Выканаўчыя ўздзеянні ўносяць з дапамогай выканаўчых прылад, якія мяняюць матэрыяльныя або цеплавыя патокі. Пры распрацоўцы сістэм аўтаматызацыі выбіраюць адзін або некалькі паказчыкаў эфектыўнасці працэсу, вызначаюць неабходныя абмежаванні, знаходзяць статычныя і дынамічныя характарыстыкі працэсу. Аналіз статычных характарыстык дазваляе адзначыць ступень уплыву адных параметраў на другія і выявіць тыя рэгулюемыя велічыні, якія аказваюць максімальнае ўздзеянне на аб'ект. Калі аб'ект мае некалькі незалежных велічынь, іх рэгулююць паасобку. Па дынамічных уласцівасцях выбіраюць такія пункты прыкладання кіруючых уздзеянняў, якія забяспечваюць найбольш хуткае змяненне рэгулюемых велічынь.

У якасці прыкладу аналізу тэхналагічнага працэсу як аб'екта кіравання разгледзем барабанную праматочную сушылку (мал. 8). Яна складаецца з топкі 1, камеры для змешвання 2, вярчальнага барабана 3, загрузачнай прылады 4, разгрузачнай канструкцыі 5, цыклона 6, дымасоса 7, які стварае разрэджанне.



Мал. 8. Схема працэсу сушкі

У топцы размешчана гарэлка, да якой падводзяцца паліва і паветра. Паліўныя газы з высокай тэмпературай трапляюць у спецыяльную камеру для змешвання з паветрам. З паніжанай тэмпературай яны трапляюць у барабаны, дзе аддаюць сваё цяпло на выпарэнне вільготнасці з матэрыялу. На выхадзе з барабана газы аказваюцца ў цыклоне, дзе асаджваецца пыл, а лёгкія часцінкі і паветра выкідваюцца ў атмасферу.

Вільготны матэрыял падаецца ў папярэднюю частку барабана 3, дзе перамешваецца і перамяшчаецца. Хуткасць перамяшчэння матэрыялу залежыць ад нахілу барабана, частаты вярчэння і хуткасці руху газу.

Задача кіравання працэсам – атрымаць матэрыял зададзенай якасці пры зададзенай прадукцыйнасці ўстаноўкі.

Якія фактары ці паказчыкі істотныя для працэсу сушкі?

Усе гэтыя параметры можна падзяліць на ўваходныя і выхадныя. Да ўваходных уздзеянняў адносяць: M_m – вільготнасць матэрыялу на ўваходзе ў сушылку; F_m – расход матэрыялу; Q_m – тэмпературу матэрыялу; G_m – грануламетрычны склад матэрыялу; $Q_{п1}$, $F_{п1}$, $P_{п1}$ – адпаведна тэмпературу, расход і ціск першаснага паветра; $Q_{п2}$, $F_{п2}$, $P_{п2}$ – тэмпературу, расход і ціск другаснага паветра адпаведна; $F_{п}$, $P_{п}$ – расход і ціск паліва; $\omega_б$ – частату вярчэння барабана; α – становішча засланкі дымахода. Выхаднымі паказчыкамі працэсу з’яўляюцца: M , Q , F – адпаведна вільготнасць, тэмпература і расход высушанага матэрыялу; $M_{г}$, $Q_{г}$, $F_{г}$ – вільготнасць, тэмпература і расход газаў на выхадзе; $Q_{т}$, $P_{т}$ – тэмпература і разрэджанне ў топцы; $Q_б$ – тэмпература ўнутры барабана.

Шматгадовай практыкай вызначаны найбольш грунтоўныя фактары з пералічаных вышэй. Асноўнымі парушэннямі рэжыму сушыльнага барабана на ўваходзе з’яўляюцца расход F_m і вільготнасць M_m матэрыялу, пачатковая тэмпература $Q_{п}$ і расход $F_{п}$ цепланосьбіта, разрэджанне ў топцы $P_{т}$, частата вярчэння барабана $\omega_б$.

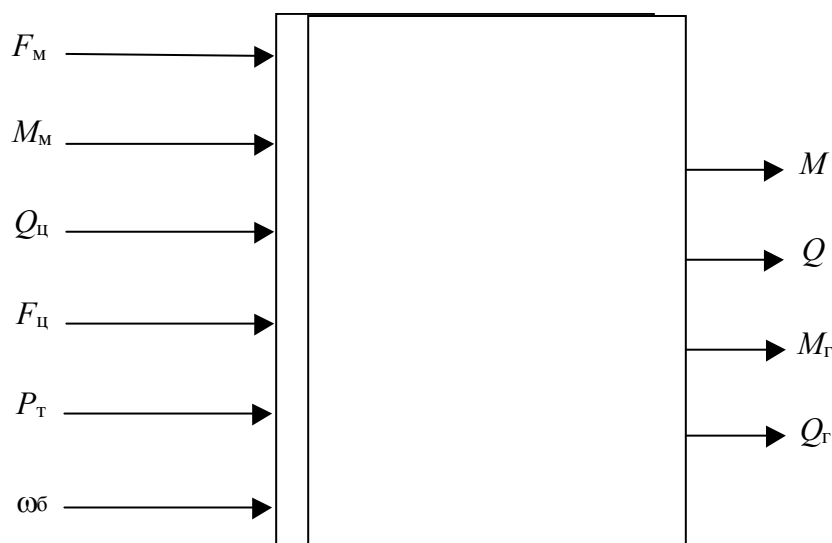
На выхадзе з барабана вызначальнымі параметрамі могуць быць астаткі вільготнасці M і тэмпература высушанага матэрыялу Q , вільготнасць $M_{г}$ і тэмпература газаў $Q_{г}$, якія выходзяць. Названыя параметры адлюстраваны на структурнай схеме (мал. 9).

Найбольш складаная задача пры аўтаматызацыі тэхналагічных аб’ектаў – гэта выбар параметраў для рэгулявання сутнасці працэсу.

Вільготнаць сухога матэрыялу вызначаецца з аднаго боку колькасцю вільгаці, якая трапляе з вільготным матэрыялам, а з другога – колькасцю вільгаці, якая выводзіцца з яго ў працэсе сушкі. Першая частка вільготнасці залежыць ад расходу матэрыялу і яго пачатковай вільготнасці.

Расход матэрыялу вызначаецца прадукцыйнасцю сушыльніка, якая павінна быць пастаяннай. Таму трэба ісці шляхам стабілізацыі расходу

вільготнага матэрыялу, што забяспечвае зададзеную прадукцыйнасць і ліквідацыю ўзрушэнняў па дадзеным канале. З гэтай мэтай устанаўліваюць аўтаматычныя дазатары.



Мал. 9. Мадэль аб'екта

Вільготнасць M_M матэрыялу на ўваходзе залежыць ад тэхналагічных рэжымаў папярэдніх працэсаў. Змяненне гэтага параметра стварае моцныя ўзрушэнні ў аб'екце.

Сушыльны агрэгат мае некалькі кіруючых параметраў, у тым ліку такіх добарарэгулюемых, як расход, разрэджанне, тэмпература.

Моцным кіруючым уздзеяннем з'яўляецца і частата вярчэння барабана, але ў сувязі са складанасцю рэгулюючага прывада гэтае ўздзеянне выкарыстоўваюць толькі для невялікіх сушылак.

У якасці асноўнага рэгулюемага параметра прымаюць канчатковую вільготнасць матэрыялу M , вымярэнне якой дазваляе ўздзейнічаць на расход паліва.

Перспектыўным рашэннем, якое заснавана на выкарыстанні вільгацемера, з'яўляецца выкарыстанне камбінаваных сістэм аўтаматычнага рэгулявання.

Выпарванне вільготнасці па даўжыні барабана адбываецца згодна з нелінейным законам, блізкім да экспаненцыяльнага. Пры гэтым канчатковая вільготнасць M матэрыялу нават пры адсутнасці рэгулявання будзе мець меншую дысперсію, чым пачатковая вільготнасць M_M .

Такім чынам, пры іншых роўных умовах павелічэнне M_M абавязкова выклікае павелічэнне рознасці $M_M - M$ і з'яўленне рэгулюючага ўздзеяння. Такая рознасць тым большая, чым далей ад пачатку барабана вымяраецца тэмпература газаў.

Для забеспячэння найбольш зручнага рэжыму гарэння паліва і неабходнай цягі выкарыстоўваюць сістэмы аўтаматычнага рэгулявання суадносін паліва – паветра ў топцы сушылкі.

Сушыльны барабан валодае экстрэмальнай характарыстыкай прадукцыйнасці ў залежнасці ад значэння хуткасці сушыльнага агента і яго тэмпературы, але гэта характарыстыка нестабільная.

Можна паменшыць выкарыстанне паліва з дапамогай вызначанай хуткасці сушкі ў барабане. Яна вызначаецца па хуткасці змянення тэмпературы сушыльнага агента. Гэта можна вызначыць, калі размясціць у барабане на фіксаванай адлегласці адна ад другой дзве тэрмапары.

Пры кіраванні працэсам сушкі трэба кантраляваць расходы паліва, першаснага і другаснага паветра, вільготнага і сухога матэрыялу, тэмпературу сушыльнага агента на ўваходзе ў сушылку і на выхадзе з яе, тэмпературу ў сушылцы, разрэджанне ў змешвальнай камеры.

Схемай аўтаматызацыі павінны быць прадугледжаны наступныя мерапрыемствы бяспечнага вядзення працэсу сушкі: кантроль і сігналізацыя ціску паліва і наяўнасці полымя, бо зніжэнне ціску газу можа прывесці да пагашэння факела і ўзнікнення выбуханебяспечнай сітуацыі; кантроль разрэджання ў топцы, паніжэнне якога вядзе да няўстойлівага гарэння факела, перашкаджае пранікненню дымавых газаў у знешняе асяроддзе; вымярэнне саставу CO (ці O₂) ў адпрацаваных газах для кантролю паўнаты згарання паліва ў топцы.

Сістэма аўтаматызацыі павінна прадбачыць адключэнне падачы газу ў выніку пагашэння факела або адрыву полымя ад гарэлак ці запальнікаў пры аварыйным падзенні ціску газу, недастатковай цязе ў топцы. Усе сігналы аварыйнага адключэння падачы газу, як правіла, выводзяцца на шчыт аператара.

Пасля аналізу параметраў тэхналагічнага працэсу, якія падлягаюць кантролю і рэгуляванню, іх запісваюць у табл. 7. У якасці прыкладу ў табліцы дадзены тэхналагічныя параметры для працэсу сушкі сырой стружкі ў барабаннай сушылцы.

Табліца 7

Тэхналагічныя параметры, якія падлягаюць кантролю і рэгуляванню

Назва параметра	Мяжа змянення	Дапушчальнае адхіленне	Кантроль	Рэгуляванне
Вільготнасць сырой стружкі, %	30–80	–	+	–
Маса сырой стужкі, кг/м ³ /гадз	60	±5%	+	+
Расход паліва, кг/гадз	350	±33%	+	+

Назва параметра	Мяжа змянення	Дапушчальнае адхіленне	Кантроль	Рэгуляванне
Расход першаснага паветра, кг/кг	13	$\pm 3\%$	+	+
Расход паўторнага паветра, кг/гадз	22 000	$\pm 5\%$	+	-
Разрэджанне ў сушыльцы, Па	0-4000	$\pm 5\%$	+	+
Пачатковая тэмпература ў камеры змешвання, °С	400	$\pm 20^\circ\text{C}$	+	+
Частата вярчэння барабана, мін^{-1}	4	$\pm 0,2\%$	+	-
Канчатковая тэмпература, °С	120	$\pm 6^\circ\text{C}$	+	-
Канчатковая (астаткі) вільготнасць матэрыялу, %	5	$\pm 0,25\%$	+	+

Табл. 7 з'яўляецца асновай для выбару ўспрымальных элементаў (датчыкаў), вымяральных прыбораў, пераўтваральнікаў і іншых тэхнічных сродкаў аўтаматызацыі.

4.2. Выбар тэхнічных сродкаў аўтаматызацыі

4.2.1. Агульныя звесткі

Задача выбару тэхнічных сродкаў, якую рашаюць параўнаннем розных варыянтаў сістэм па тэхнічных, эканамічных і эксплуатацыйных паказчыках, з'яўляецца адной з важнейшых пры праектаванні сістэм аўтаматызацыі. Зыходнымі данымі для выбару комплексу тэхнічных сродкаў (КТС) выступаюць агульная характарыстыка ствараемай сістэмы і умоў яе работы, патрабаванні да якасці кантролю і кіравання, кошт сродкаў аўтаматызацыі, вопыт стварэння і эксплуатацыі аналагічных сістэм.

Агульная характарыстыка сістэм кантролю ўключае размеркаванне і ўзгадненне функцый чалавека і сродкаў, іншыя асаблівасці алгарытму кіравання. Патрабаванні да якасці кантролю і рэгулявання ўключаюць асноўныя метралогічныя даныя прыбораў: якасць, парог адчувальнасці, хуткадзеянне, надзейнасць.

Выбар элементаў сістэмы аўтаматычнага кантролю ажыццяўляюць у наступнай паслядоўнасці: першасны вымяральны пераўтваральнік (ВП), лінія сувязі, другасны прыбор.

4.2.2. Выбар першасных ВП

Вывбар першасных ВП залежыць ад характарыстыкі асяроддзя, якое патрэбна кантраляваць, дыяпазону вымярэння кантралюемага паветра і іншых метралагічных і эксплуатацыйных характарыстык. Пры гэтым неабходна мець на ўвазе, што выкарыстанне радыеактыўных, высокачастотных і ўльтрагукавых прыбораў патрабуе стараннага аналізу магчымасці ўплыву выпраменьвання на абслуговы персанал і якасць вырабляемай прадукцыі. Пры выбары дыяпазону вымярэнняў і матэрыялу, з якога выкананы пераўтваральнік, павінны ўлічвацца ўмовы іх нармальнай работы.

Вывбар лініі сувязі ў асноўным вызначаецца відам энергіі, адлегласцю, на якую неабходна перадаць сігнал, і навакольным асяроддзем.

Тыпы і тэхнічныя характарыстыкі датчыкаў асноўных тэхналагічных параметраў прыведзены ў дадатку.

4.2.3. Выбар другасных прыбораў

Вывбар другасных прыбораў выконваецца па класе дакладнасці, дынамічных уласцівасцях, габарытах, колькасці вымяраемых велічынь, выглядзе шкалы, характарыстыках выканання (нармальнае, трапічнае, іскрабяспечнае); характары адліку вымяраемай велічыні (лічбавы, аналагавы, дыскрэтна-аналагавы).

Для кантролю найбольш значных паказчыкаў тэхналагічнага працэсу шырока выкарыстоўваюць прыборы, якія дазваляюць аднавіць ход працэсу за вызначаны інтэрвал часу, ацаніць уплыў узрушэнняў на канчатковы вынік і павысіць аб'ектыўнасць разліку тэхніка-эканамічных паказчыкаў работы асобных участкаў і цэхаў.

У сучасны перыяд шырока прымяняюцца ў якасці другасных прыбораў мікрапрацэсарныя вымяральнікі з універсальнымі ўваходамі для падключэння шырокага спектра датчыкаў тэмпературы (супраціўлення, тэрмапар), а таксама другіх датчыкаў з уніфікаванымі выхаднымі сігналамі (0–5; 0–20, 4–20 мА). Гэтыя прыборы выконваюць пераўтварэнне сігналу датчыка для індывідуальнай рэальнага значэння фізічнай велічыні, індывідуальную вымераных велічынь на ўбудаваных індикатарах, маюць зручнае меню для праграмавання прыбора кнопкамі на яго панэлі. Таксама яны дазваляюць рэгістраваць кантралюемыя параметры на ЭВМ праз адаптар па лічбавому інтэрфейсу RS-232 ці RS-495.

Некаторыя прыборы ажыццяўляюць сігналізацыю аб выхадзе кантралюемых велічынь за ўстаноўленыя межы, а таксама аб абрыве ці кароткім замыканні датчыка.

Мікрапрацэсарныя вымяральнікі выпускаюцца ў адна-, двух і шматканальным (да 8) выкананні.

Прымяняюцца таксама мікрапрацэсарныя другасныя прыборы, прызначаныя для наапапення (архіваввання) у энерганезалежнай памяці, захавання і адлюстравання інфармацыі аб стане шасці тэхналагічных параметраў з выдачай сігналаў на манітор (тып МТМ - РЭ-160-01).

4.2.4. Выбар аўтаматычных рэгулятараў

Для правільнага выбару элементаў САР трэба мець: характарыстыку аб'екта кіравання (АК) і асноўных узрушэнняў; уласцівасці навакольнага асяроддзя; неабходнасць дыстанцыйнай перадачы інфармацыі ад вымяральных пераўтваральнікаў да другаснага прыбора і ад рэгулятара да выканаўчага механізма; патрабаванні да дакладнасці, якасці пераходнага працэсу і надзейнасці работы.

Рэгулюючы орган (РО), як і ВП, пры аналізе тэхнічнай структуры САР звычайна адносяць да АК. Пры гэтым выхадной велічынёй аб'екта з'яўляецца сігнал ВП, а кіруючым уздзеяннем – перамяшчэнне РО, якое вымяраецца ў працэнтах яго ходу. Для зручнасці разлікаў узрушэнне, якое дзейнічае на АК, зводзяць да аднаго з трох найбольш распаўсюджаных відаў: скачкападобнае, імпульснае (пікавае) ці манатонна нарастаючае і вымяраюць у працэнтах ходу РО. Далей падбіраюць перамяшчэнне РО, якое аказвае на АК уздзеянне, эквівалентнае апраксімаванаму ўзрушэнню.

У сучасны перыяд шырокае прымяненне атрымалі мікрапрацэсарныя вымяральнікі-рэгулятары рознах тыпаў. Яны маюць універсальныя ўваходы для падключэння шырокага спектра датчыкаў тэмпературы, ціску, вільготнасці і іншых, выконваюць пераўтварэнне сігналу датчыка для індывідуальнага значэння фізічнай велічыні.

Гэтыя прыборы маюць два лічбавыя індывідуальныя панэлі для кантролю рэгулюемай велічыні і яе ўстаўкі, зручнае меню параметраў для праграмавання кнопкамі на панэлі прыбора, убудаваны інтэрфейс RS-485 для сувязі з ЭВМ з мэтай рэгістрацыі на ёй даных.

Вымяральнікі-рэгулятары ажыццяўляюць рэгуляванне ўваходнай велічыні: двухпазіцыйнае, трохпазіцыйнае, аналагавае П-, ПІ- і ПІД-рэгуляванне; дыстанцыйнае кіраванне рэжымамі работы прыбора: запускам (прыпыненнем рэгулявання, пераключэннем на кіраванне ад ЭВМ; сігналізацыю аб узнікненні аварыйных сітуацый пры выхадзе рэгулюемай велічыні за зададзеныя межы і абрыве ў ланцугу рэгулявання). Яны маюць аналагавыя выходы (4–20 мА) для кіравання магутнасцю розных электрычных пераўтваральнікаў і дыскрэтныя – для кіравання электрапрыладамі засовак, клапанаў.

Названыя прыборы выпускаюцца ў адна-, двух- і васьміканальным выкананнях.

Тыпы некаторых мікрапрацэсарных вымяральнікаў-рэгулятараў і іх тэхнічныя характарыстыкі прыведзены ў [1].

Для аўтаматызацыі хіміка-тэхналагічных працэсаў са значнай колькасцю параметраў кантролю і рэгулявання найбольш эфектыўным з'яўляецца прымяненне мікрапрацэсарных кантролераў, якія дазваляюць ажыццяўляць усе неабходныя функцыі для кіравання складанымі аб'ектамі.

Тыпы, тэхнічныя характарыстыкі, выконваемыя функцыі некаторых мікрапрацэсарных кантролераў прыведзены ў [1].

4.2.5. Выбар выканаўчых механізмаў

Выканаўчыя механізмы (ВМ) выбіраюць з мэтай забеспячэння наступных патрабаванняў: адпаведнасць прынцыпу дзеяння і канструкцыі прылады выконваемай задачы, рэгулюемаму і навакольнаму асяроддзю; неабходнай хуткасці рэгулявання і лінейнасці характарыстыкі; патрабуемай надзейнасці і рэсурса работы.

У якасці ВМ прымяняюць электрычныя, пнеўматычныя і гідраўлічныя прывады. Электрычныя ВМ уяўляюць сабой электрапрывады, якія прызначаны для перамяшчэння рэгулюючых органаў (РО) у сістэмах аўтаматычнага кіравання. Яны складаюцца з наступных элементаў: электрарухавіка; рэдуктара, які паніжае колькасць абаротаў; выхадной прылады для механічнага сучлянення з РО; дадатковых прылад, якія забяспечваюць спыненне механізма ў крайніх становішчах, саматармажэнне пры адключэнні электрарухавіка, магчымасць ручнога прывада ў выпадку выхаду са строю сістэмы аўтаматыкі ці для наладкі, адваротную сувязь у аўтаматычнай сістэме кіравання, дыстанцыйнае паказанне і сігналацыю становішча механізма.

Выхадныя прылады электрычных ВМ выконваюць так, каб ажыццявіць вярчальны ці прамалінейны рух. Механізмы з вярчальнымі выхаднымі прыладамі могуць быць адна- і шматобаротнымі. Прамаходавыя электрычныя ВМ прызначаны для кіравання РО з прамалінейным перамяшчэннем.

Электрычныя ВМ падключаюць да аўтаматычных рэгулятараў праз пускавыя прылады і блокі ручнога кіравання [1].

Тыпы выканаўчых прылад і іх тэхнічныя характарыстыкі прыведзены ў дапаможніку [1].

4.2.6. Выбар прамежкавых пераўтваральнікаў

Прамежкавыя пераўтваральнікі прызначаны для пераўтварэння сігналу аднаго выгляду ў другі. Іх выкарыстоўваюць з мэтай узгаднення ўваходных і выхадных сігналаў асобных прылад.

Папярэдне ўваходныя і выхадныя прамежкавыя пераўтваральнікі выбіраюць па класіфікацыйных адзнаках (выгляды сігналаў), а затым па тэхнічных характарыстыках канчаткова выбіраюць тып пераўтваральніка.

Напрыклад, па ўмовах характару навакольнага асяроддзя датчык мае выхадны пнеўматычны сігнал. Для яго сувязі з электрычным другасным прыборам ці рэгулятарам, якія ўстаноўлены на шчыце кіравання, неабходна прымяніць ўваходны пнеўмаэлектрычны пераўтваральнік.

Таксама для сувязі пнеўматычнай выканаўчай прылады, якая ўстаноўлена на аб'екце, з электрычным рэгулятарам ці кантролерам, што знаходзіцца на шчыце кіравання, неабходна прымяняць электрапнеўмапераўтваральнік.

Некаторыя тыпы і тэхнічныя характарыстыкі пераўтваральнікаў прыведзены ў дадатку.

Табліца 8

Спецыфікацыя прыбораў кантролю і рэгулявання

Пазіцыя на схеме	Параметр	Прыбор	Тып прыбора	Межы вымярэння	Тэхнічная характарыстыка	Колькасць
1–1	Тэмпература	Тэрмометр супраціўлення	Метран 276	0–180°C	Выхадны сігнал: 4–20 мА Хібнасць: $\gamma = \pm 0,25\%$	1

На падставе вышэйвыкладзенай методыкі выбіраюць прыведзеныя ў [1] і дадатках Д1–Д6 тыпы прыбораў кантролю і рэгулявання для кожнага кантралюемага і рэгулюемага параметра тэхналагічнага працэсу ці ўстаноўкі і ўключаюць іх у спецыфікацыю, якую складаюць па наступнай форме (табл. 8). Прыклад запаўнення дадзенай табліцы прыведзены ніжэй.

4.3. Распрацоўка функцыянальных схем аўтаматычнага кантролю і рэгулявання. Методыка праектавання функцыянальных схем аўтаматызацыі

Функцыянальныя схемы з'яўляюцца асноўным тэхнічным дакументам, які вызначае функцыянальна-блочную структуру асобных вузлоў аўтаматычнага кантролю, кіравання і рэгулявання тэхналагічнага працэсу і забеспячэння аб'екта кіравання прыборамі і сродкамі аўтаматызацыі (у тым ліку сродкамі тэле механікі і вылічальнай тэхнікі).

Функцыянальныя схемы выконваюцца ў выглядзе чарцяжа, на якім схематычна ўмоўнымі знакамі паказваюць тэхналагічнае абсталяванне, камунікацыі, органы кіравання і сродкі аўтаматызацыі з указаннем сувязей паміж асобнымі функцыянальнымі блокам і элементамі аўтаматыкі. Такія дапаможныя прылады, як рэдуктары і фільтры для паветра, крыніцы сілкавання, рэле, выключальнікі, аўтаматычныя выключальнікі і засцерагальнікі ў ланцугах сілкавання, злучальныя каробкі, мантажныя элементы і іншыя, на функцыянальных схемах не паказваюць.

Функцыянальную схему аўтаматызацыі, як правіла, выконваюць на адным лісце, а складаныя тэхналагічныя схемы размяжоўваюць на асобныя тэхналагічныя вузлы і выконваюць функцыянальныя схемы гэтых вузлоў у выглядзе асобных чарцяжоў на некалькіх лістах ці на адным.

Для тэхналагічных працэсаў з вялікім аб'ёмам аўтаматызацыі функцыянальныя схемы магчыма выконваць асобна па відах тэхналагічнага кантролю і сігналізацыі і г. д.

Тэхналагічнае абсталяванне і камунікацыі пры распрацоўцы функцыянальных схем павінны адлюстроўвацца, як правіла, спрощана, без указання асобных тэхналагічных апаратаў і трубаправодаў дапаможнага прызначэння. На тэхналагічных трубаправодах паказваюць тую рэгулюемую і запорную арматуру, якая непасрэдна ўдзельнічае ў кантролі і кіраванні працэсам, а таксама запорныя і рэгулюючыя органы, патрэбныя для вызначэння адноснага размяшчэння месцаў адбору імпульсаў ці неабходнасці вымярэнняў.

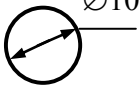
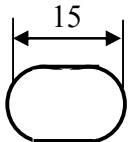
У адлюстраванні тэхналагічнага абсталявання, асобных яго элементаў і трубаправодаў належыць даваць адпаведныя тлумачальныя надпісы (назву тэхналагічнага абсталявання, яго колер і г. д.), а таксама стрэлкамі паказваць напрамак патокаў на трубаправодах, на якіх прадугледжваецца ўстаноўка адборных прылад і рэгулюемых органаў, указваць дыяметры ўмоўных праходаў.


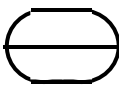
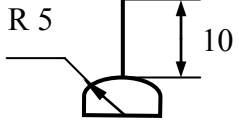



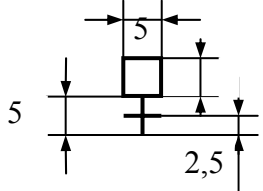
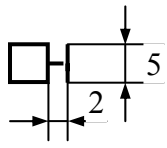
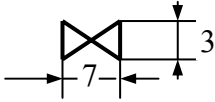
Прыборы, сродкі аўтаматызацыі, электрычныя прылады і элементы вылічальнай тэхнікі на функцыянальных схемах аўтаматызацыі паказваюцца ў адпаведнасці з ДАСТ 21.404–85, які прадугледжвае сістэму пабудовы графічных і літарных умоўных абазначэнняў па функцыянальных прыкметах.

Графічныя ўмоўныя абазначэнні прыбораў і сродкаў аўтаматызацыі з памерамі прыведзены ў табл. 9.

Табліца 9

Графічныя ўмоўныя абазначэнні прыбораў і сродкаў аўтаматызацыі

Назва прыбора	Умоўнае абазначэнне
Першасны вымяральны пераўтваральнік (адчувальны элемент): прыбор, які ўстанаўліваецца на тэхналагічным трубаправодзе, апарате, сцяне, калоне, падлозе, металаканструкцыі	 <p>асноўнае</p>
	 <p>дапушчальнае</p>

Назва прыбора	Умоўнае абазначэнне
Прыбор, які ўстанаўліваецца на шчыце, пульце	 асноўнае
	 дапушчальныя
Адборная прылада без пастаянна падключанага прыбора	
Выканаўчы механізм (агульнае абазначэнне)	
Выканаўчы механізм, які адкрывае рэгулюючы орган пры спыненні падачы энергіі ці кіруючага сігнала	
Выканаўчы механізм, які закрывае рэгулюючы орган пры спыненні падачы энергіі ці кіруючага сігнала	
Выканаўчы механізм, які пакідае рэгулюемы орган пры спыненні падачы энергіі ці кіруючага сігнала	
Выканаўчы механізм з дадатковым ручным прывадам	
Рэгулюемы орган	

ДАСТ 21.404–85 прадугледжвае два спосабы пабудовы ўмоўных графічных абазначэнняў: спрошчаны і разгорнуты.

Спрошчаны спосаб выкарыстоўваюць для адлюстравання на тэхналагічных схемах прыбораў і схем рэгулявання ў цэлым. Пры гэтым шматфункцыянальныя прыборы і сродкі аўтаматызацыі, выкананыя ў выглядзе асобных блокаў, адлюстроўваюць адным умоўным абазначэннем і размяшчаюць на полі чарцяжа побач з месцам вымярэння тэхналагічнай велічыні, а першасныя вымяральныя пераўтваральнікі і дапаможныя прылады не паказваюць.

Разгорнуты спосаб пабудовы ўмоўных графічных абазначэнняў выкарыстоўваюць для выканання функцыянальных схем аўтаматызацыі.

У гэтым выпадку ўсе прыборы і блокі, якія ўваходзяць у канкрэтную схему, паказваюць асобнымі ўмоўнымі абазначэннямі.

Таўшчыня ліній, якія выкарыстоўваюцца ў графічных умоўных абазначэннях на схемах, у міліметрах складае для прыбораў і сродкаў аўтаматызацыі – 0,5–0,6; для гарызантальнай раздзяляльнай лініі, а таксама лініі сувязі – 0,2–0,3; для контураў тэхналагічнага абсталявання і трубаправодных камунікацый – 0,6–1,5.

Адборная прылада спецыяльна не абазначаецца, а даецца ў выглядзе тонкай суцэльнай лініі, якая злучае тэхналагічны трубаправод або апарат з вымяральным пераўтваральнікам ці прыборам. У выпадку неабходнасці дакладнае месца размяшчэння адборнага прыстасавання ці пункт вымярэння (унутры контура тэхналагічнага апарата) адлюстроўваецца акружнасцю дыяметрам 2 мм і размяшчаецца напрыканцы злучальнай лініі.

Рэгулюемыя органы з выканаўчымі механізмамі ўстанаўліваюцца на тэхналагічных трубаправодах.

Адчувальныя элементы і першасныя пераўтваральнікі сістэм вымярэння размяшчаюць непасрэдна на трубаправодах ці паблізу тэхналагічнага абсталявання. Прамежкавыя пераўтваральнікі, вымяральныя прыборы, рэгулятары і г. д., якія ўстанаўліваюць у цэху на месцы, размяшчаюцца ў ніжняй частцы ліста тэхналагічнай схемы працэсу ў прамавугольніку з загалёўкам злева «Прыборы мясцовыя». Яшчэ ніжэй – у прамавугольніку з загалёўкам злева «Шчыт» – размяшчаюцца сродкі аўтаматызацыі, якія ўстанаўліваюць на пультах кіравання, шчытах і за імі, у аператарнай ці ў памяшканні кіравання. Шматфункцыянальныя прылады адлюстроўваюць у выглядзе некалькіх акружнасцей, якія дакранаюцца адна да другой.

Умоўныя абазначэнні вымяраемых і рэгулюемых велічынь, якія выкарыстоўваюць у абодвух спосабах пабудовы, прыведзены ў табл. 10, а абазначэнні функцыянальных адзнак прыбораў і рэгулятараў – у табл. 11.

Табліца 10

Асноўныя ўмоўныя абазначэнні вымяраемых і рэгулюемых велічынь

Назва велічыні	Абазначэнне
Асноўнае значэнне: тэмпература	<i>T</i>
ціск, разрэджанне	<i>P</i>
расход	<i>F</i>
узровень	<i>L</i>
склад сумесі, канцэнтрацыя рэчыва*	<i>Q</i>
шчыльнасць	<i>D</i>
вільготнасць	<i>M</i>
вязкасць	<i>V</i>

Назва велічыні	Абазначэнне
радыеактыўнасць	R
любая электрычная велічыня	E
памер, становішча, перамяшчэнне	G
ручное ўздзеянне	H
час, часовая праграма	K
некалькі разнародных вымяраемых велічынь*	U
Удакладняючае значэнне вымяраемых велічынь:	
рознасць, перапад	D, d
суадносіны, доля, дроб	F, f
аўтаматычнае пераключэнне, аб'яганне	I
інтэграванне	Q, q

*Канкрэтызацыя і расшыфроўка велічынь, якія вымяраюцца (рН, CO₂, O₂, напружанне, сіла току, $U = f(F, P)$), выконваецца на полі чарцяжа каля абазначэння прыбора.

Табліца 11

Функцыянальныя адзнакі прыбораў і рэгулятараў

Функцыянальная адзнака	Абазначэнне
Асноўнае:	
паказанне	I
рэгістрацыя	R
рэгуляванне, кіраванне	C
уклучэнне, адключэнне, пераключэнне	S
сігналацыя	A
верхняя мяжа вымяраемай велічыні	H
ніжняя мяжа вымяраемай велічыні	L
Дадатковае:	
першасны вымяральны пераўтваральнік, адчувальны элемент	E
прамежкавы вымяральны пераўтваральнік, перадавальны вымяральны пераўтваральнік, дыстанцыйная перадача сігналаў	T
станцыя кіравання	K
пераўтваральнік сігналаў, вылічальная прылада	Y

Методыка пабудовы графічных умоўных абазначэнняў для спрошчанага і разгорнутага спосабаў з'яўляецца агульнай. У верхняй частцы акружнасці наносяцца літарныя абазначэнні ў наступным парадку (злева направа): асноўнай вымяраемай велічыні; абазначэнне, якое ўдакладняе (калі неабходна) асноўную вымяраемую велічыню; функцыянальнай адзнакі прыбора. Апошнія таксама размяшчаюць у наступным парадку: I, R, C, S, A .

У ніжняй частцы акружнасці наносіцца пазіцыйнае абазначэнне (лічбавае або літарна-лічбавае), якое служыць для нумерацый камплек-

та вымярэння або рэгулявання (пры спрошчаным спосабе пабудовы ўмоўных абазначэнняў) ці асобных элементаў камплекта (пры разгорнутым спосабе пабудовы ўмоўных абазначэнняў).

Прыклад пабудовы ўмоўнага абазначэння для вымярэння, рэгістрацыі і аўтаматычнага перападу ціску прыведзены на мал. 10.



Мал. 10. Прыклад пабудовы ўмоўнага абазначэння прыбораў аўтаматызацыі

Пры пабудове ўмоўных абазначэнняў прыбораў належыць указваць толькі тыя функцыянальныя адзнакі пераўтваральнікаў сігналаў і вылічальных прылад, якія выкарыстоўваюцца ў канкрэтным прыборы.

Дадатковыя ўмоўныя абазначэнні (табл. 12) наносяцца справа ад графічнага адлюстравання прыбора. Разгледзем прыклад абазначэнняў:

- электрапнеўматычны пераўтваральнік тэмпературы – $\text{ТУ}^{\text{E/P}}$;
- пераўтваральнік аналагавага сігнала ў дыскрэтны – $\text{ТУ}^{\text{A/D}}$.

Пазіцыі рэгулюемых органаў з выканаўчымі механізмамі наносяцца побач з іх адлюстраваннем.

Для абазначэння велічынь, якія не прадугледжаны гэтым стандартам, магчыма выкарыстанне рэзервовых літар *B*, *N*, *O*. Рэзервовыя літарныя абазначэнні павінны быць расшыфраваны на схеме. Напрыклад, для абазначэння пускальнікаў (магнітных ці тырыстарных) прымяняюцца літары *NS*.

Дадатковыя ўмоўныя абазначэнні

Назва	Абазначэнне
Род энергіі сігналау: электрычны	E
пнеўматычны	P
гідраўлічны	G
Форма сігналау: аналагавы	A
дыскрэтны	D
Сувязь з вылічальным комплексам: перадача сігналау на ЭВМ	B_1
вывад інфармацыі з ЭВМ	B_0

У абазначэнні прылад, якія прызначаны для ручных аперацый, на першым месцы павінна стаяць літара H . Напрыклад:

- пераключальнікі электрычных ланцугоў вымярэння (кіравання) – HS ;
- байпасныя панэлі дыстанцыйнага кіравання – HC ;
- кнопкі (ключы) для дыстанцыйнага кіравання, задатчыкі – H .

Пры адначасовым вымярэнні разнародных велічынь вымяральныя пераўтваральнікі абазначаюць у адпаведнасці з вымяраемай велічынёй, а другасны рэгістравальны прыбор – UR .

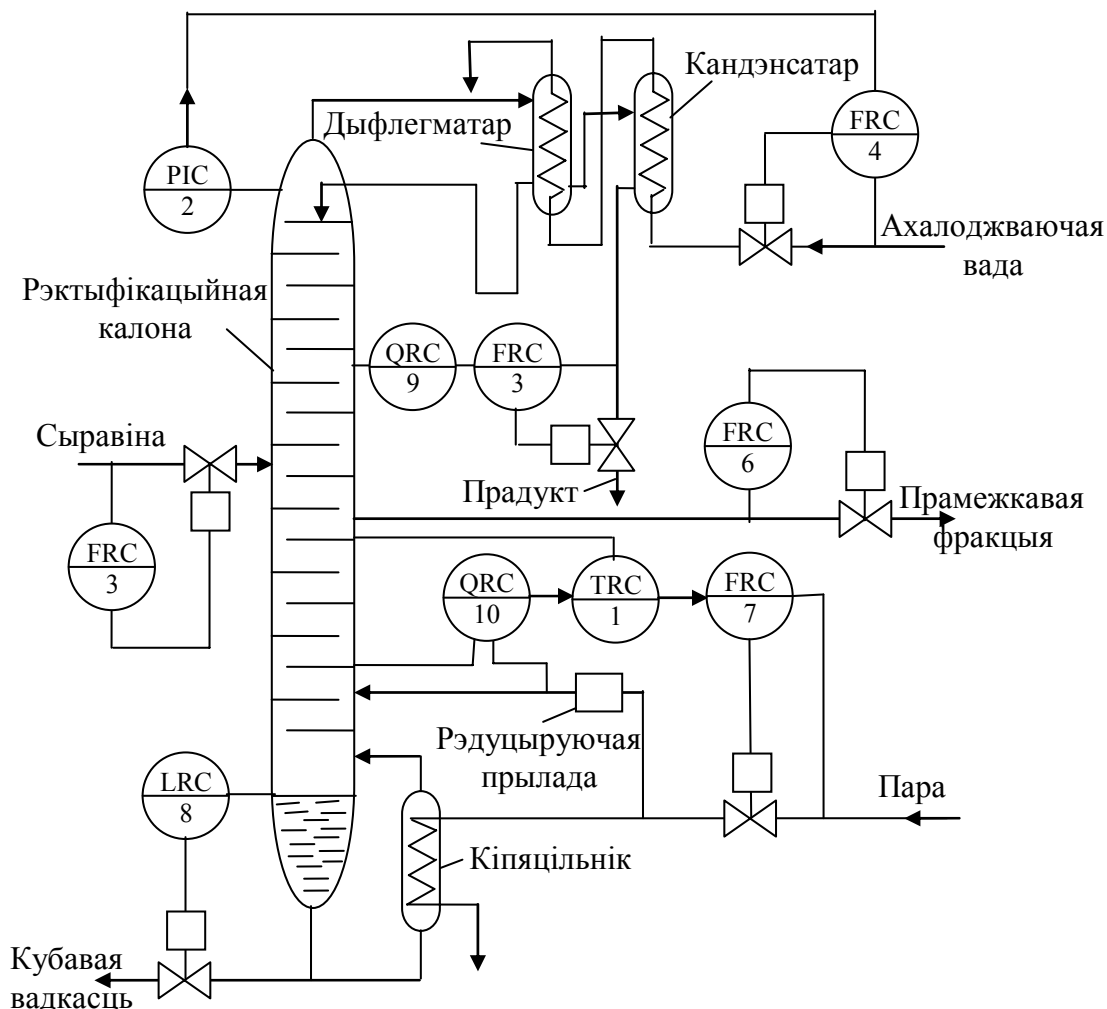
Шчыты і пульты кіравання на функцыянальных схемах умоўна адлюстроўваюць у выглядзе прамавугольнікаў адвольных памераў, дадатковых для нанясення графічных умоўных абазначэнняў прыбораў і сродкаў аўтаматызацыі. Камплектныя прылады (машыны цэнтралізаванага кантролю ЭВМ, кантролеры і інш.) абазначаюцца на функцыянальных схемах таксама ў выглядзе прамавугольніка адвольных памераў з указаннем тыпу прылады ўнутры прамавугольніка.

Функцыянальныя сувязі паміж тэхналагічным абсталяваннем і ўстаноўленымі на ім першаснымі пераўтваральнікамі, а таксама са сродкамі аўтаматызацыі на шчытах і пультах паказваюць на схемах тонкімі суцэльнымі лініямі. Пры гэтым кожная сувязь адлюстроўваецца адной лініяй незалежна ад фактычнай колькасці правадоў ці труб, якія ажыццяўляюць гэтую сувязь. Лініі сувязі дазваляюцца падводзіць да ўмоўных абазначэнняў прыбораў і сродкаў аўтаматызацыі з любога боку – зверху, знізу, збоку. На іх дазваляюцца наносіць стрэлкі, якія ўказваюць напрамак перадачы сігналау. Лініі сувязі неабходна наносіць на чарцяжы па найкарацейшай адлегласці і праводзіць з мінімальнай колькасцю выгібаў і перасячэнняў. Пры гэтым дапускаецца перасячэнне лініямі сувязі адлюстраванняў тэхналагічнага абсталявання і камунікацый. Перасячэнне лініямі сувязі ўмоўных абазначэнняў прыбораў і сродкаў аўтаматызацыі не дазваляецца.

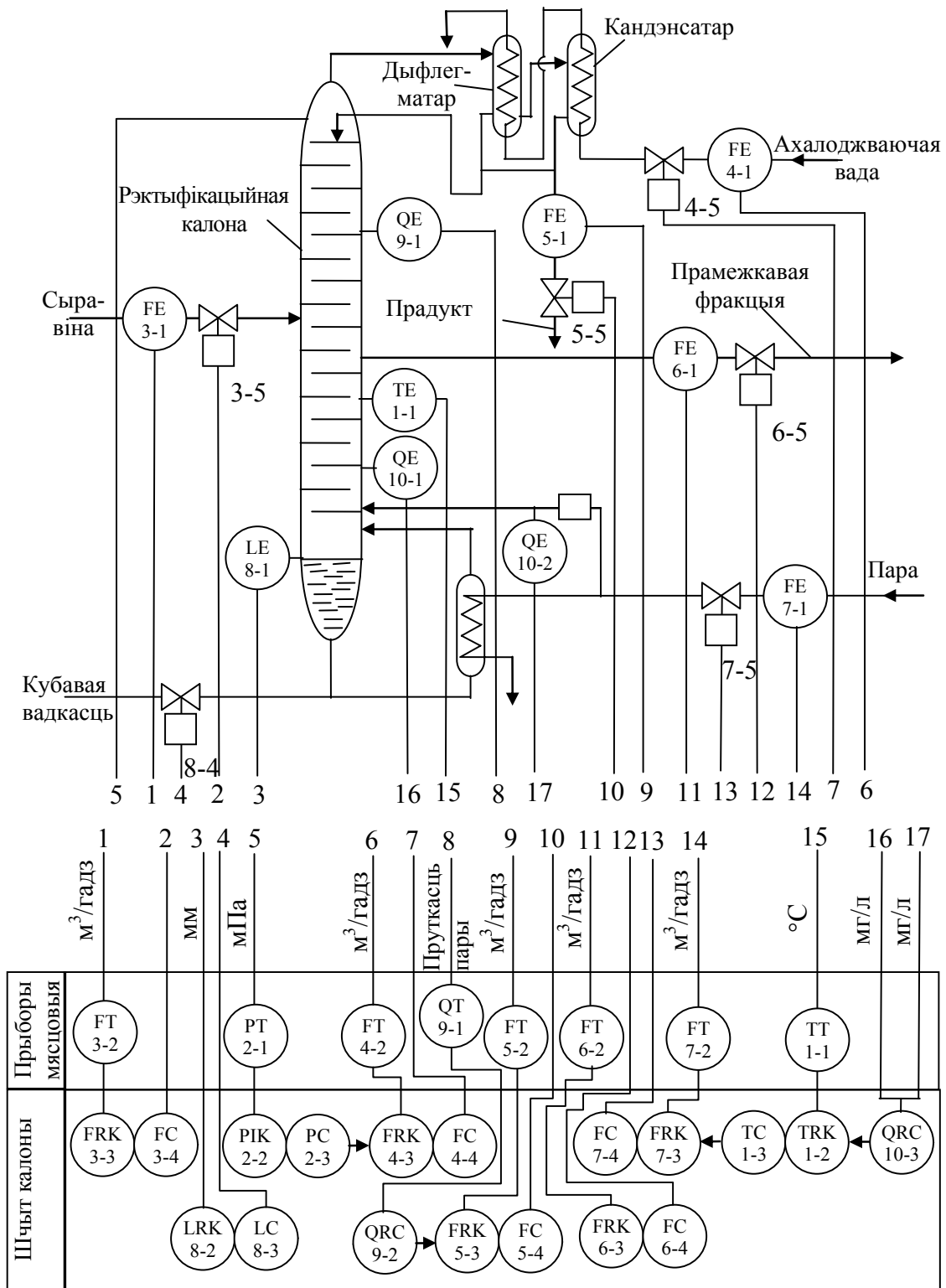
У вялікіх і складаных сістэмах аўтаматызацыі, калі вычэрчванне непарыўных ліній сувязі вядзе да складанага іх перапляцення, якое затрымлівае чытанне чарцяжа, можна разрываць лініі сувязі. Пры гэтым абодва канцы лініі ў месцах разрыву нумаруюць адной і той жа арабскай лічбай. Нумары ліній сувязі размяшчаюць у гарызантальных радах. У ніжнім радзе (з боку шчытавых прыбораў) нумары павінны быць ва ўзрастальным парадку, у верхніх радах размяшчаюцца адвольна.

Для магчымасці выбару меж вымярэння шкал прыбораў на функцыянальных схемах указваюць краявыя рабочыя значэнні вымяраемых ці рэгулюемых велічынь. Гэтыя значэнні ў адзінках вымярэння адпаведных велічынь указваюць на лініях сувязі ад адборных прылад вымяральных пераўтваральнікаў да прыбораў.

Прыклад адлюстравання сістэм аўтаматычнага кантролю і рэгулявання спрощаным і разгорнутым спосабам паказаны на мал. 11 і 12



Мал. 11. Тэхналагічная схема працэсу рэктыфікацыі з прыборамі кантролю і рэгулявання



Мал. 12. Функцыянальная схема аўтаматызацыі разгорнутым спосабам працэсу рэктывікацыі

На функцыянальных схемах аўтаматызацыі назвы апаратаў дазваляецца не прыводзіць.

Заданне 4

Згодна са спецыяльнасцю (спецыялізацыяй) і ў адпаведнасці з нумарам варыянта выбраць адзін з тэхналагічных працэсаў (табл. 13).

1. На падставе вышэйпрыведзенай метадыкі прааналізаваць тэхналагічны працэс, вызначыць параметры кантролю і рэгулявання (табл. 7).

2. Выбраць тэхнічныя сродкі аўтаматызацыі двух контураў: контура кантролю (першасны пераўтваральнік, другасны прыбор) і контура рэгулявання (першасны пераўтваральнік, другасны прыбор, рэгулятар, выканаўчы механізм) тэхналагічных параметраў працэсу. Складзі табліцу спецыфікацыі сродкаў аўтаматызацыі гэтых двух контураў (табл. 8).

3. Распрацаваць функцыянальную схему аўтаматызацыі ўсяго працэсу разгорнутым спосабам і даць апісанне работы вызначаных контураў.

Табліца 13

Зыходныя даныя да задання 4

№ варыянта	Тэхналагічны працэс
Спецыяльнасць 1-47 02 01 «Тэхналогія паліграфічных вытворчасцей» [13, 14]	
0	Аўтаматызацыя вырабу фотаформ па тэхналогіі CtF
1	Аўтаматызацыя працэсу ціснення ў вытворчасці вокладкі
2	Аўтаматызацыя працэсу клеявога бяшоўнага змацавання пры вытворчасці кніг
3	Аўтаматызацыя працэсу механічнага гравіравання пры вытворчасці форм
4	Аўтаматызацыя размяшчэння і хуткасці падачы папяровага палатна пры друку
5	Аўтаматызацыя праяўкі пры друку па тэхналогіі CtP
6	Аўтаматызацыя працэсу ламінавання матэрыялу пры аздабленні
7	Аўтаматызацыя друку флексаграфічным спосабам
8	Аўтаматызацыя працэсу цыгельнай вырубкі пры вытворчасці ўпакоўкі
9	Аўтаматызацыя працэсу друку афсетным спосабам
Спецыяльнасць 1-48 01 01 «Хімічная тэхналогія неарганічных рэчываў, матэрыялаў і вырабаў» спецыялізацыі 1-48 01 01 14 «Хімічная тэхналогія вяжучых матэрыялаў» [8]	
0	Аўтаматызацыя працэсу мокрага памолу сыравіны ў трубным шаравым млыне
1	Аўтаматызацыя працэсу памолу клінкеру ў шматкамерных млынах
2	Аўтаматызацыя працэсу падрыхтоўкі сыравіннага шламу ў балтушках
3	Аўтаматызацыя працэсу падрыхтоўкі сыравіннага шламу ў млыне «Гідрафол»

№ варыянта	Тэхналагічны працэс
4	Аўтаматызацыя турбазмяшальніка
5	Аўтаматызацыя працэсу абпалу клінкеру ў печох, якія працуюць па мокрым спосабе
6	Аўтаматызацыя працэсу абпалу клінкеру ў печох, якія працуюць па сухім спосабе
7	Аўтаматызацыя працэсу сушкі ў сушыльным барабане
8	Аўтаматызацыя працэсу складання азбестацэмантавай шыхты
9	Аўтаматызацыя працэсу фармавання азбестацэмантавых вырабаў
Спецыяльнасць 1-48 01 01 «Хімічная тэхналогія неарганічных рэчываў, матэрыялаў і вырабаў» спецыялізацыі 1-48 01 01 09 «Тэхналогія тонкай функцыянальнай і будаўнічай керамікі» [8]	
0	Аўтаматызацыя працэсу падрыхтоўкі гліністай суспензіі
1	Аўтаматычнае кіраванне працэсам памолу
2	Аўтаматычнае кіраванне працэсам падрыхтоўкі шлікерных мас
3	Аўтаматызацыя паточна-транспартных сістэм
4	Аўтаматызацыя распыляльных сушылак
5	Аўтаматызацыя канвеерных сушылак
6	Аўтаматызацыя працэсу сушкі ў сушыльным барабане
7	Аўтаматызацыя працэсу сушкі ў кіпячым пласце
8	Аўтаматызацыя трубавых печ
9	Аўтаматызацыя працэсу абпалу ў тунельных печох
Спецыяльнасць 1-48 01 01 «Хімічная тэхналогія неарганічных рэчываў, матэрыялаў і вырабаў» спецыялізацыі 1-48 01 01 06 «Тэхналогія шкла і сіталаў» [8]	
0	Аўтаматызацыя працэсу падрыхтоўкі шыхты
1	Аўтаматызацыя працэсу сушкі ў сушыльным барабане
2	Аўтаматычнае рэгуляванне ўзроўню шкламасы ў шклаварачнай печы
3	Рэгуляванне тэмпературнага рэжыму ў электрычнай шклаварачнай печы
4	Рэгуляванне тэмпературнага рэжыму ў газавай шклаварачнай печы
5	Рэгуляванне ціску ў печы
6	Аўтаматызацыя вытворчасці ліставага шкла. Рэгуляванне таўшчыні ліста
7	Аўтаматызацыя працэсаў адпалу і загартоўкі шкла
8	Аўтаматызацыя працэсаў транспартавання, рэзання і складання лістоў шкла
9	Аўтаматычны кантроль і вызначэнне дэфектаў шкла
Спецыяльнасць 1-48 01 02 «Хімічная тэхналогія арганічных рэчываў, матэрыялаў і вырабаў» спецыялізацыі 1-48 01 02 04 «Тэхналогія пластычных мас» [7]	
0	Аўтаматызацыя працэсу нагрэву полістырольнай стужкі пры вырабе тары разовага карыстання метадам тэрмафармавання

№ варыянта	Тэхналагічны працэс
1	Аўтаматызацыя працэсу сушкі ў вытворчасці пластмасавых вырабаў метадам ліцця пад ціскам
2	Аўтаматызацыя працэсу змешвання высушанага палімернага матэрыялу і фарбавальніка ў вытворчасці пластмасавых вырабаў метадам ліцця пад ціскам
3	Аўтаматызацыя працэсу гранулявання фторпалімераў у вытворчасці пластмасавых вырабаў метадам ліцця пад ціскам
4	Аўтаматызацыя працэсу сушкі парашка пры экструзіі профільных вырабаў (на прыкладзе ўшчыльняльніка для дзвярэй халадзільніка)
5	Аўтаматызацыя працэсу дазавання кампанентаў і іх змешвання (на прыкладзе ўшчыльняльніка для дзвярэй халадзільніка)
6	Аўтаматызацыя працэсу гранулявання парашку ПВХ (на прыкладзе ўшчыльняльніка для дзвярэй халадзільніка)
7	Аўтаматызацыя працэсу дазавання гранул ПВХ-пластыкату і здробненага браку і іх экструзія (на прыкладзе ўшчыльняльніка для дзвярэй халадзільніка)
8	Аўтаматызацыя працэсу калібравання
9	Аўтаматызацыя працэсу змешвання поліэтылену высокага ціску і фарбавальніка пры экструзійна-раздуўным фармаванні
Спецыяльнасць 1-48 01 02 «Хімічная тэхналогія арганічных рэчываў, матэрыялаў і вырабаў» спецыялізацыі 1-48 01 02 05 «Тэхналогія перапрацоўкі эластамераў» [9]	
0	Аўтаматызацыя працэсу шпрыцавання ў чарвячнай машыне халоднага сілкавання пры вытворчасці гумавых нефармавых вырабаў метадам шпрыцавання
1	Аўтаматызацыя працэсу награвання ў хваляводзе пры вырабе гумавых нефармавых вырабаў метадам шпрыцавання
2	Аўтаматызацыя працэсу вулканізацыі ў вулканізатары тунэльнага тыпу пры вытворчасці гумавых нефармавых вырабаў метадам шпрыцавання
3	Аўтаматызацыя працэсу астуджэння ў астуджальнай прыладзе пры вытворчасці гумавых нефармавых вырабаў метадам шпрыцавання
4	Аўтаматызацыя працэсу разагравання сумесі ў падагравальных вальцах пры вырабе фармавых гума-тэхнічных вырабаў
5	Аўтаматызацыя працэсу выраба прафіляваных нарыхтовак у прадфармавацэле пры вытворчасці фармавых гума-тэхнічных вырабаў
6	Аўтаматызацыя працэсу вулканізацыі прафіляваных нарыхтовак у прэс-формах на вулканізыцыйных прэсах пры вытворчасці фармавых гума-тэхнічных вырабаў
7	Аўтаматызацыя працэсу вулканізацыі транспарцёрных стужак на прэсе барабаннага тыпу
8	Аўтаматызацыя працэсу зборкі рукавоў метадам навіўкі
9	Аўтаматызацыя працэсу змешвання ў вытворчасці гумы

№ варыянта	Тэхналагічны працэс
Спецыяльнасць 1-48 01 05 «Хімічная тэхналогія перапрацоўкі драўніны» спецыялізацыі 1-48 01 05 04 «Тэхналогія цэлюлоза-папяровых вытворчасцей» [3, 12]	
0	Аўтаматызацыя вытворчасці драўнянай масы на дэфібрэрах
1	Аўтаматызацыя працэсу варкі цэлюлозы перыядычнага дзеяння
2	Аўтаматызацыя працэсу бесперапыннай варкі цэлюлозы
3	Аўтаматызацыя працэсу прамыўкі цэлюлозы
4	Аўтаматызацыя адбельвання цэлюлозы (працэс хларавання цэлюлозы)
5	Аўтаматызацыя адбельвання цэлюлозы (працэс шчалачэння)
6	Аўтаматызацыя адбельвання цэлюлозы гіпахларытам
7	Аўтаматызацыя напуску папяровай масы на сетку папераробчай машыны (напорная скрыня)
8	Аўтаматызацыя абязводжвання папяровага палатна
9	Аўтаматызацыя сушкі папяровага палатна
Спецыяльнасць 1-48 01 05 «Хімічная тэхналогія перапрацоўкі драўніны» спецыялізацыі 1-48 01 05 02 «Тэхналогія драўняных пліт і пластыкаў»[10, 11]	
0	Аўтаматызацыя працэсу памолу дранкі ў вытворчасці ДВП мокрым спосабам
1	Аўтаматызацыя працэсу падрыхтоўкі праклейваючых складоў і праклейка масы ў вытворчасці ДВП мокрым спосабам
2	Аўтаматызацыя працэсу фармавання дывана ў вытворчасці ДВП мокрым спосабам
3	Аўтаматызацыя працэсу гарачага прасавання ў вытворчасці ДВП мокрым спосабам
4	Аўтаматызацыя працэсу пасляпрэсавай апрацоўкі пліт (тэрмаапрацоўка і ўвільгатненне) у вытворчасці ДВП мокрым спосабам
5	Аўтаматызацыя працэсу памолу драўняных часцінак у вытворчасці ДСП
6	Аўтаматызацыя працэсу падрыхтоўкі сувязнага ў вытворчасці ДСП
7	Аўтаматызацыя працэсу змешвання драўняных часцінак з сувязным у вытворчасці ДСП
8	Аўтаматызацыя працэсу фармавання дывана ў вытворчасці ДСП
9	Аўтаматызацыя працэсу гарачага прасавання ў вытворчасці ДСП
Спецыяльнасць 1-48 01 05 «Хімічная тэхналогія перапрацоўкі драўніны» спецыялізацыі 1-48 01 05 03 «Тэхналогія лесахімічных вытворчасцей» [11]	
0	Аўтаматызацыя працэсаў перамяцця, плаўлення, адстойвання і прамывання жывіцы ў вытворчасці каніфолі і шкіпінару
1	Аўтаматызацыя працэсаў другаснага адстойвання, фільтравання, падагрэву, уварвання каніфолі і адгонкі шкіпінару ў вытворчасці каніфолі і шкіпінару

№ варыянта	Тэхналагічны працэс
2	Аўтаматызацыя працэсу вытворчасці адукту каніфолі маркі ТМ
3	Аўтаматызацыя працэсу экстракцыі здробненай драўнянай зеляніны ў вытворчасці хларафіліну натрыю
4	Аўтаматызацыя працэсу амылення бензінавага экстракту ў вытворчасці хларафіліну натрыю
5	Аўтаматызацыя працэсу прамывання памяранцавага бензінавага раствору неамыляемых рэчываў у вытворчасці хларафіліну натрыю
6	Аўтаматызацыя працэсу раскладання воднага раствору амыленых рэчываў у вытворчасці хларафіліну натрыю
7	Аўтаматызацыя працэсу нейтралізацыі воднага раствору хларафіліну-сырцу ў вытворчасці хларафіліну натрыю
8	Аўтаматызацыя працэсу адгонкі этылавага спірту ў вытворчасці хларафіліну натрыю
9	Аўтаматызацыя працэсу вытворчасці правітаміннага канцэнтрату
Спецыяльнасць 1-48 02 01 «Біятэхналогія» [1, 6]	
0	Аўтаматызацыя барбатажнага біярэактара
1	Аўтаматызацыя эрліфнага біярэактара
2	Аўтаматызацыя біярэактара з механічным змешваннем і барбатажам
3	Аўтаматызацыя біярэактара з ротарным перамешваннем і барбатажам
4	Аўтаматызацыя біярэактара калоны, секцыянаванай талеркамі
5	Аўтаматызацыя працэсу флатацыі мікробных суспензій
6	Аўтаматызацыя працэсу сепарацыі дражджэй
7	Аўтаматызацыя вакуум-выпарной устаноўкі
8	Аўтаматызацыя сушкі канцэнтрату ў сушылцы кіпячага слою
9	Аўтаматызацыя працэсу біячысткі ў аэратэнках
Спецыяльнасць 1-48 01 01 «Хімічная тэхналогія неарганічных рэчываў, матэрыялаў і вырабаў» спецыялізацыі 1-48 01 01 01» Тэхналогія мінеральных угнаенняў, солей і шчолачаў» [2, 3]	
0	Аўтаматызацыя сінтэзу карбаміду
1	Аўтаматызацыя працэсу атрымання цыклагексанону-рэктыфікату ў вытворчасці капралактаму
2	Аўтаматызацыя працэсу нейтралізацыі перагрупаванага прадукту вытворчасці капралактаму
3	Аўтаматызацыя выпарной устаноўкі ў вытворчасці экстракцыйнай фосфарнай кіслаты
4	Аўтаматызацыя экстрактару фосфарнай кіслаты
5	Аўтаматызацыя вытворчасці падвоенага суперфасфату
6	Аўтаматызацыя працэсу здраблення руды ў вытворчасці калійных угнаенняў
7	Аўтаматызацыя працэсу флатацыі калійных руд
8	Аўтаматызацыя працэсу сушкі канцэнтрату
9	Аўтаматызацыя працэсу сушкі канцэнтрату KCl у барабаннай сушылцы

ДАДАТАК

Табліца Д1

Тэрмапераўтваральнікі

Назва, тып, прызначэнне	Метралагічныя характарыстыкі
ТПП Метран-211 для вымярэнняў тэмпературы ў нейтральных і акісляльных газавых асяроддзях	НСХ– R, S. Дыяпазон вымярэння: 0–1600°C Хібнасць: клас допуску 1 $\Delta = \pm 1,0^\circ\text{C}$ (ад 0 да 1100°C) $\Delta = \pm (1 + 0,003(t - 1100))^\circ\text{C}$ (звыш 1100°C да 1300°C) клас допуску 2 $\Delta = \pm 1,5^\circ\text{C}$ (ад 0 да 600°C) $\Delta = \pm 0,0025t$ (ад 600°C да 1300°C)
ТХА Метран-231 (ТХА-1085) для вымярэнняў тэмпературы прадуктаў згарання вадкага ці газападобнага паліва	НСХ – ТХА (K). Дыяпазон вымярэння: 0–900°C Хібнасць: клас допуску 1 $\Delta = \pm 1,5^\circ\text{C}$ (ад 0 да 375°C) $\Delta = \pm 0,004t^\circ\text{C}$ (звыш 375°C) клас допуску 2 $\Delta = \pm 2,5^\circ\text{C}$ (ад 0 да 333°C) $\Delta = \pm 0,0075t$ (звыш 333°C)
ТХК Метран-232 (ТХК-1085) для вымярэння тэмпературы газападобных асяроддзяў і прадуктаў згарання	НСХ – ТХК (L) Дыяпазон вымярэння: 0–600°C Хібнасць: $\Delta = \pm 2,5^\circ\text{C}$ (ад 0 да 360°C) $\Delta = \pm (0,7 + 0,005t)^\circ\text{C}$ (звыш 360°C)
Метран 204 (ТСМ-1088), Метран 206 (ТСП-1088) для вымярэння тэмпературы вадкіх і газападобных хімічна неагрэсіўных і агрэсіўных асяроддзяў	НСХ Метран 204 – 100 М Дыяпазон вымярэння: –50–150 (кл. B); –50–180 (кл. C) НСХ Метран 206 – 100 П Дыяпазон вымярэння: –50–500 (кл. A); –200–500 (кл. B) Хібнасць па ДАСТ 6651-94: плаціна $A \Delta = \pm (0,15 + 0,002t)$; $B \Delta = \pm (0,3 + 0,005t)$; $C \Delta = \pm (0,6 + 0,008t)$ медзь $B \Delta = \pm (0,25 + 0,0035t)$; $C \Delta = \pm (0,5 + 0,0065t)$
ТХАУ(К) Метран-271 для вымярэння тэмпературы вадкіх і газападобных асяроддзяў	НСХ – ТХА (K) Дыяпазон вымярэння: праграмна ад –40–800°C да –40–1000°C З крокам 50°C Выхадны сігнал: 4–20 мА Хібнасць: $\gamma = \pm 0,5(1)\%$

ТСМУ, Метран-274, ТСПУ, Метран-276 Тэрмапераўтваральнікі мі- крапрацэсарныя для вымя- рэння тэмпературы вадкіх і газападобных асяроддзяў	НСХ ТСМУ 274 – 100 М Дыяпазон вымярэння: праграма –50–100°C; –50–150°C; –50–50°C; 0–180°C Выхадны сігнал: 4–20 мА Хібнасць: $\gamma = \pm 0,25(0,5)\%$
	НСХ ТСПУ 276 – 100 П Дыяпазон вымярэння: праграма: –50–100°C; –50–150°C; –50–50°C; 0–200°C; 0–400°C; 0–600°C Выхадны сігнал: 4–20 мА Хібнасць: $\gamma = \pm 0,25(0,5)\%$

Табліца Д2

Пераўтваральнікі ціску

Назва, тып, прызначэнне	Метралагічныя характарыстыкі
Метран 3051S для вымя- рэнняў абсалютнага, заліш- няга ціску, рознасці ціскаў	Макс. значэнне верхняй мяжы дыяпазону вымярэнняў ціску (P_{\max}): 207 кПа; 1,03 МПа; 27,6 МПа; 68,95 МПа Выхадны сігнал: 4–20 мА, HART Асноўная хібнасць: $\gamma = \pm 0,055\%$ Тэмпература вымеранага асяроддзя: –40–205°C; дадат- ковая тэмпературная хібнасць: $\pm(0,075\% + 0,05P_{\max} / P_i)$ пры $P_{\max} \gg P > P_{\max} / 10$; $\pm(0,0625\% + 0,0125P_{\max} / P_i)$ пры $P_{\max} > P > P_{\max} / 5$ P_i – верхняя мяжа вымярэнняў (шкала)
JUMO MIDAS тып 401001 для вымярэння адноснага ціску вадкіх газападобных асяроддзяў	Дыяпазон вымярэння: ад 0–1,6 да 0–100 бар Выхадны сігнал: 4–20 мА Хібнасць: $\gamma \leq 0,5\%$ Тэмпература вымеранага асяроддзя: –30–125°C
Датчык дыферэнцыяльна- га ціску EJX110A (Yoko- gawa) для вымярэння пе- рападу ціскаў, расходу вад- касці, газу ці пары, а так- сама вымярэння ўзроўню вадкасці	Верхнія межы дыяпазону вымярэнняў перападу ціску: L – 10 кПа; M – 100 кПа; H – 500 кПа Выхадны сігнал: 4–20 мА, HART Асноўная хібнасць: $\gamma = \pm 0,04\%$ Дадатковая хібнасць пры змене тэмпературы на 28°C: H : $\pm(0,4\%$ ад шкалы + $0,0125\%$ ад P_{\max}) M : $\pm(0,4\%$ ад шкалы + $0,09\%$ ад P_{\max}) L : $\pm(0,08\%$ ад шкалы + $0,065\%$ ад P_{\max})
Датчык залішняга ціску з падзяляльнай мембранай, EJX438A (Yokogawa) для вымярэння ціску, узроўню вадкасці, шчыльнасці агрэ- сіўных асяроддзяў	Макс. значэнне верхняй мяжы дыяпазону вымярэнняў ціску (P_{\max}): 0,035–3,500 МПа Выхадны сігнал: 4–20 мА Асноўная прыведзеная хібнасць: $\gamma = \pm 0,15\%$ Тэмпература вымеранага асяроддзя: ад –40 да 250°C Дадатковая хібнасць пры змене тэмпературы на 28°C: $\pm(0,5\%$ ад шкалы + $0,025\%$ ад P_{\max})
Мембраны падзяляльныя PM-5319 для засцярогі ад- чувальных элементаў ад агрэсіўных асяроддзяў	Рабочы ціск: 0,025–2,500 МПа Корпус: сталь 12X18Н10Т Мембрана: сплаў 36НХТЮ ці фтарапласт Тэмпература: –40–60°C

Узроўнямеры

Назва, тып, прызначэнне	Метралагічныя характарыстыкі
Burkert 8100 – ёмісты ўзроўнямер Вобласць ужывання: водападрыхтоўка, хімічная, харчовая прамысловасць	Дыяпазон вымярэння: (даўжыня сенсара): 500, 750, 1000, 1250, 1500, 1750, 2000, 3000 мм Рабочае асяроддзе: вадкасць з праводнасцю больш за 100 μS Рабочы ціск: 10 бар пры 25°C Хібнасць: $\gamma = \pm 1\%$ Рабочая тэмпература: -25–70°C Выхадны сігнал: 4–20 мА
Rosemount 5600 для вымярэнняў узроўню розных прадуктаў (вадкасцей, суспензій, грануляваных матэрыялаў і парашкоў)	Дыяпазон вымярэння: да 50 м у залежнасці ад тыпу антэны, характарыстык асяроддзя і стану паверхні Хібнасць вымярэння: $\Delta = \pm 5$ мм Ціск рабочага асяроддзя: 0,1–5,5 МПа Тэмпература рабочага асяроддзя: -40–400°C Выхадны сігнал: 4–20 мА, HART
Rosemount 5400 для вымярэнняў узроўню ўласных вадкасцей (нафтапрадукты, суспензіі)	Дыяпазон вымярэння: да 30 м у залежнасці ад тыпу антэны, характарыстык асяроддзя і стану паверхні Хібнасць вымярэння: $\Delta = \pm 10$ мм Ціск рабочага асяроддзя: 0,1–1,0 МПа Тэмпература рабочага асяроддзя: -40–150°C Выхадны сігнал: 4–20 мА, HART
Rosemount 3100 для бесперапыннага вымярэння ўзроўню вадкасцей (нафтапрадуктаў, водных раствораў, кіслот, і інш.)	Дыяпазон вымярэння: 0,3–11 м Хібнасць вымярэння: $\Delta = \pm 5$ мм для $L < 1$ м $\delta = \pm 0,5\%$ для $L \geq 1$ м Ціск рабочага асяроддзя: 0,025–0,300 МПа Тэмпература рабочага асяроддзя: -20–70°C Выхадны сігнал: 4–20 мА, HART, рэлейныя выходы
Rosemount 5300 для бескантактавых вымярэнняў узроўню ўласных вадкасцей і сыпкіх матэрыялаў	Дыяпазон вымярэння: 0,4–50 м Хібнасць вымярэння: $\Delta = \pm 3$ мм Тэмпературная хібнасць: $\pm 0,2$ мм/°C Ціск рабочага асяроддзя: 0,1–1,0 МПа Тэмпература рабочага асяроддзя: -20–70°C Выхадны сігнал: 4–20 мА, HART, рэлейныя выходы

Нармуючыя пераўтваральнікі

Назва, тып, прызначэнне	Метралагічныя характарыстыкі		
YTA-70 (Yokogawa)	Уваходы:		
	НСХ	Дыяпазон вымярэння (крок):	Хібнасць:
	Pt100	-200–850°C (10)	$\gamma = 0,1\%$ (0,1°C)
	ХК(L)	-100–900°C (50)	$\gamma = 0,1\%$ (0,5°C)
	ХА(K)	-180–1372°C (50)	$\gamma = 0,1\%$ (0,5°C)
ПП (R)	0–1768°C (200)	$\gamma = 0,1\%$ (1,0°C)	
	Тэмпературная хібнасць: $0,5\gamma / 10^\circ C$		
	Выхад: 4–20 мА, HART		

Заканчэнне табл. Д4

Назва, тып, прызначэнне	Метралагічныя характарыстыкі			
7NG3120 (Siemens)	Уваходы:			
	НСХ	Дыяпазон вымярэння:	Хібнасць:	
	Pt100	-200–850°C	$\gamma = \pm 0,1^\circ\text{C}$	
	ХК(L)	-100–900°C	$\gamma = \pm 1^\circ\text{C}$	
	ХА(K)	-180–1372°C	$\gamma = \pm 1^\circ\text{C}$	
	ПП (R)	0–1768°C	$\gamma = \pm 2^\circ\text{C}$	
	Выхад: 4–20 мА, HART			
Rosemount 248	Уваходы:			
	НСХ	Дыяпазон вымярэння:	Хібнасць:	
	Pt100	180–1372°C	$\gamma = \pm 0,1\%$	
	ХА(K)	-200–850°C	$\gamma = \pm 0,1\%$	
	ПП (R)	0–1768°C	$\gamma = \pm 0,1\%$	
	Тэмпературная хібнасць: 0,4 γ /10°C			
	Выхад: 4–20 мА, HART			
JUMOdTRANST02 – праграмуемы пераўтваральнік	Уваходы:			
	НСХ	Дыяпазон вымярэння:	Хібнасць:	
	ХК(L)	-200–900°C	$\gamma = \pm 0,25\%$	
	ХА(K)	-270–1372°C	$\gamma = \pm 0,25\%$	
	ПП (R)	-50–1768°C	$\gamma = \pm 0,25\%$	
	Pt100	-100–200°C	$\Delta = \pm 0,4^\circ\text{C}$	
		-200–850°C	$\Delta = \pm 0,8^\circ\text{C}$	
	Выхад: 4–20 мА, 0–10В			
Пераўтваральнік Ш932.1 (аднаканальны) Ш932.2 (двухканальны)	Уваходы:			
	НСХ	Дыяпазон вымярэння:	Хібнасць:	
	ХК(L)	-200–800°C	$\Delta = \pm 0,5^\circ\text{C}$	
	ХА(K)	-200–1300°C	$\Delta = \pm 0,5^\circ\text{C}$	
	ПП (R)	-50–1600°C	$\Delta = \pm 1,1^\circ\text{C}$	
	Pt100	-100–200°C	$\Delta = \pm 0,2^\circ\text{C}$	
			-200–400°C	$\Delta = \pm 0,3^\circ\text{C}$
			-200–200°C	$\Delta = \pm 0,4^\circ\text{C}$
	Выхад: 4–20 мА, 0–10 В			

Табліца Д5

Расхадамеры

Назва, тып, прызначэнне	Метралагічныя характарыстыкі
MAG 1100 для вымярэнняў расходаў электраправадных вадкасцей	<p>Ду (дыяметр умоўны) 6–100 мм</p> <p>Дыяпазон вымярэння: 0,021–300 м³/гадз</p> <p>Футроўка: кераміка Al₂O₃</p> <p>Электроды: плаціна</p> <p>Рабочы ціск: да 40 бар</p> <p>Тэмпература рабочага асяроддзя: -20–200°C</p>
MAG 3100 (Siemens)	<p>Ду 15–2000 мм</p> <p>Дыяпазон вымярэння: 0,15–100 000 м³/гадз</p> <p>Футроўка: тэфлон, поліурэтан, эбаніт</p> <p>Электроды: AISI 316 Ti, плаціна, хасцелой С</p> <p>Рабочы ціск: да 100 бар</p> <p>Тэмпература рабочага асяроддзя: -40–180°C</p>

MAG 6000 (Siemens)	Хібнасць: $\delta = \pm 0,25\%$ (пры $V \geq 0,5$ м/с) Выхадныя сігналы: 4–20 мА, HART Частата: 0–10 кГц Крыніца сілкавання: 12–24 В паст./перам. току 115–230 В перам. току
UFM3030 для вымярэнняў расходу вадкіх прадуктаў	Ду 15–2000 мм Хуткасць струменя: $V = 0–20$ м/с $\delta = \pm 0,5\%$ (пры $V \geq 0,5$ м/с) $\delta = \pm(2,5 \text{ мм/с})/V100\%$ (пры $V < 0,5$ м/с) Тэмпература рабочага асяроддзя: $-25–140^\circ\text{C}$ Рабочы ціск: ад 6 да 40 бар Выхадныя сігналы: ток, HART
Rotamass RCCS 30-RCCS 39 для вымярэнняў расходу вадкасцей і газаў	Ду 1,2–55 мм Дыяпазон вымярэння: 0,045–300 т/гадз (вада) Хібнасць базавая: $\delta = \pm 0,1\%$ (вадкасць); $\delta = \pm 0,5\%$ (газ) Тэмпература рабочага асяроддзя: $-180–350^\circ\text{C}$ Рабочы ціск: 25 МПа
Yokogawa DY для вымярэнняў расходу вадкасцей, пары і газаў	Ду 15–300 мм Хуткасць струменя: газ – 6–80 м/с вада – 0,35–10 м/с Хібнасць: газ – $\delta = \pm 1\%$ вадкасць – $\delta = \pm 0,75\%$ Тэмпература рабочага асяроддзя: $-198–450^\circ\text{C}$ Рабочы ціск: $-0,1–15$ МПа

Табліца Д6

Другасныя прыборы

Назва, тып, прызначэнне	Метралагічныя характарыстыкі		
Станцыя збору даных Yokogawa DX-100	Лік уваходаў DX1002:– 2		
	Уваходы:		
	Pt100	Дыяпазон вымярэння: $-200–850^\circ\text{C}$	Хібнасць: $\pm(0,15\%$ ад сведчанняў + $+ 0,3^\circ\text{C})$
	XK(L)	$-200–900^\circ\text{C}$	$\pm(0,15\%$ ад сведчанняў + $+ 0,7^\circ\text{C})$
	XA(K)	$-270–1372^\circ\text{C}$	$\pm(0,15\%$ ад сведчанняў + $+ 1^\circ\text{C})$
Рэгістратар Yokogawa μR20000	Pt100	Дыяпазон вымярэння: $200–600^\circ\text{C}$	Хібнасць: $\pm(0,15\%$ ад сведчанняў + $+ 0,3^\circ\text{C})$
	XK(L)	$-200–900^\circ\text{C}$	$\pm(0,15\%$ ад сведчанняў + $+ 0,7^\circ\text{C})$
	XA(K)	$-200–1370^\circ\text{C}$	$\pm(0,15\%$ ад сведчанняў + $+ 1^\circ\text{C})$
	ПП (R)	$-50–1760^\circ\text{C}$	$\pm(0,15\%$ ад сведчанняў + $+ 1^\circ\text{C})$
	Эфектыўная шырыня рэгістрацыі: 180 мм		

Сасна-003	Уваходы:		
	Pt100	Дыяпазон вымярэння: -80–600°C	Хібнасць: $\gamma = \pm 0,25\%$
JUMO, Індыкатарны прыбор 951520	ТХК(L)	0–600°C	$\gamma = \pm 0,5\%$
	ТХА(K)	0–1200°C	$\gamma = \pm 0,5\%$
	ТПП(S)	0–1400°C	$\gamma = \pm 0,5\%$
	Ток	0–5, 4–20	$\gamma = \pm 0,25\%$
	Pt 100	Дыяпазон вымярэння: -200–850°C	Хібнасць: $\gamma = \pm 0,2\%$
Дыск 250М для вымярэння, рэгістрацыі і рэгулявання тэхналагічных параметраў	Уваходы:		
	НСХ 50М	Дыяпазон вымярэння: -50–200°C	Хібнасць: $\gamma = \pm 0,25\%$
Альфалог-100 м для вымярэння і рэгістрацыі тэмпературы, вільготнасці, ціску, расходу, узроўню і іншых тэхналагічных параметраў	Pt100	-100–600°C	
	ХК(L)	-50–600°C	
	ХА(K)	-50–1300°C	
	ПП(R)	0–1700°C	
	ПР(B)	+300–1800°C	
	ВР(A-1)	0–2500°C	
	Ток: 4–20 мА; напруга 0–10 мВ, 0–10 В		
Рэгістратар шматканальны тэхналагічны РМТ 49D (Элемер)	Уваходныя сігналы:		
	НСХ	Дыяпазон вымярэння:	Хібнасць:
	50М	-50–200°C	$\gamma = \pm 0,25\%$
	Pt100	-50–600°C	
	ХК(L)	-100–600°C	
	ХА(K)	-50–1300°C	
	ПП(R)	0–1700°C	
Беспаяровы самапісец Logoscreen nt (JUMO)	ПР(B)	+300–1800°C	$\gamma = \pm 0,5\%$
	ВР(A-1)	0–2500°C	
	НСХ	Дыяпазон вымярэння:	Хібнасць:
	Cu50	-50–100°C	$\gamma = \pm 0,5\%$
	Pt100	-200–850°C	$\gamma = \pm 0,8\%$
	ХК(L)	-200–900°C	$\gamma = \pm 0,1\%$
	ХА(K)	-200–1372°C	$\gamma = \pm 0,1\%$
ПП(R)	0–1768°C	$\gamma = \pm 0,1\%$	
ПР(B)	0–1820°C	$\gamma = \pm 0,15\%$	
ВР(D)	0–2495°C	$\gamma = \pm 0,15\%$	

ЛІТАРАТУРА

1. Кобрынец, В. П. Аўтаматыка, аўтаматызацыя і аўтаматызаваныя сістэмы кіравання тэхналагічнымі працэсамі : вучэб.-метад. дапаможнік / В. П. Кобрынец, В. Д. Лебедзеў, У. Я. Максімаў. – Мінск: БДТУ, 2007. – 83 с.
2. Кузьміцкі, І. Ф. Аўтаматызацыя хімічна-тэхналагічных працэсаў і вытворчасцей: вучэб. дапаможнік / І. Ф. Кузьміцкі, В. П. Кобрынец. – Мінск: БДТУ, 2004. – 232 с.
3. Кузьміцкі, І. Ф. Аўтаматыка, аўтаматызацыя і аўтаматызаваныя сістэмы кіравання хімічна-тэхналагічнымі працэсамі: вучэб. дапаможнік / І. Ф. Кузьміцкі, В. П. Кобрынец, В. Д. Лебедзеў. – Мінск: БДТУ, 2005. – 318 с.
4. Круцько, Э. Т. Химия и технология лакокрасочных материалов и покрытий / Э. Т. Круцько, Н. Р. Прокопчук. – Минск: БГТУ, 2004. – 318 с.
5. Прокопчук, Н. Р. Химия и технология пленкообразующих веществ / Н. Р. Прокопчук, Э. Т. Круцько. – Минск: БГТУ, 2004. – 210 с.
6. Быков, В. А. Расчет процессов микробиологических производств / В. А. Быков, А. Ю. Винаров, В. В. Шестобитов. – Киев: Техника, 1985. – 245 с.
7. Бортников, В. Г. Производство изделий из пластических масс: в 3 т. / В. Г. Бортников. – Казань: Дом печати. – Т. 2: Технология переработки пластических масс. – 2002. – 399 с.
8. Кочетова, В. С. Автоматизация производственных процессов в промышленности строительных материалов: учебник / под ред. В. С. Кочетова. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – Л.: Стройиздат, 1986. – 392 с.
9. Аверко-Антонович, Ю. А. Технология резиновых изделий / Ю. А. Аверко-Антонович. – Л.: Химия, 1991. – 352 с.
10. Леонович, А. А. Технология древесных плит: прогрессивные решения / А. А. Леонович. – СПб.: Химиздат, 2005. – 250 с.
11. Технология лесохимических производств / В. А. Выродов [и др.]. – М.: Лесная пром-сть, 1987. – 352 с.
12. Черная, Н. В. Теория и технология клееных видов бумаги и картона: монография / Н. В. Черная. – Минск: БГТУ, 2009. – 393 с.
13. Хайди, Толивер-Нигро. Технологии печати: учеб. пособие. – М.: ПРИНТ-МЕДИА центр, 2006. – 232 с.
14. Полянский, Н. Н. Основы полиграфического производства / Н. Н. Полянский. – М.: Книга, 1991. – 360 с.

ЗМЕСТ

УВОДЗІНЫ	3
1. АГУЛЬНЫЯ МЕТАДЫЧНЫЯ ЎКАЗАЊІ	4
2. ПРАГРАМА КУРСА	5
3. КАНТРОЛЬНЫЯ ЗАДАЊІ	7
Задача № 1. Выбар вымяральнага комплексу	7
Задача № 2. Структурны аналіз і ўстойлівасць	12
Задача № 3. Разлік пераходнага працэсу ў лінейнай сістэме аўтаматычнага рэгулявання (САР)	17
Задача № 4. Пабудова схем аўтаматызацыі	24
ДАДАТАК	47
ЛІТАРАТУРА	53

АЎТАМАТЫКА, АЎТАМАТЫЗАЦЫЯ І АЎТАМАТЫЗАВАНЫЯ СІСТЭМЫ КІРАВАННЯ ТЭХНАЛАГІЧНЫМІ ПРАЦЭСАМІ

Складальнікі: **Барашка** Алег Георгіевіч
Бакаленка Уладзімір Іванавіч
Карповіч Дзмітрый Сямёнавіч і інш.

Рэдактар *Я. І. Гоман*
Камп'ютарная вёрстка *В. Ю. Шантаровіч*
Карэктар *Я. І. Гоман*

Падпісана да друку 10.06.2011. Фармат 60×84¹/₁₆.
Папера афсетная. Гарнітура Таймс. Друк афсетны.
Ум. друк. арк. 3,2. Ул.-выд. арк. 3,3.
Тыраж 350 экз. Заказ .

Выдавец і паліграфічнае выкананне:
УА «Беларускі дзяржаўны тэхналагічны ўніверсітэт».
ЛІ № 02330/0549423 ад 08.04.2009.
ЛПІ № 02330/0150477 ад 16.01.2009.
Вул. Свядлова, 13а, 220006, г. Мінск.