

Програмування контролерів у складі SCADA-системи

11. Технологія та математичне забезпечення АСУТП.

11.1 Технологія виробництва алюмінієвої катанки

Технологічна лінія з виробництва алюмінієвої катанки зазвичай складається з пічної дільниці, ливарної машини, лінії транспортування литої заготовки, прокатного стана і моталок (рис.11.1). За допомогою скіпа завантажувальної машини 1 алюмінієві брикети подаються у газову плавильну піч шахтного типу 2. Після розплавлення метал прямує в одну з двох роздавальних печей 3, де він очищується від шлаку, піддається дегазації 4 та направляється у жолоб ливарного колеса 5, охопленого сталеву стрічкою. Під впливом охолодної води розплавлений алюміній кристалізується у виливниці колеса, що обертається, та у вигляді безперервного зливка подається у прокатний стан за допомогою правильного 6 і переднього тягового 7 пристроїв. У разі незадовільної якості лиття заготовку розрізають гідравлічними ножицями 8 на дрібні мірні шматки до тих пір, поки вона не відповідатиме встановленим вимогам.

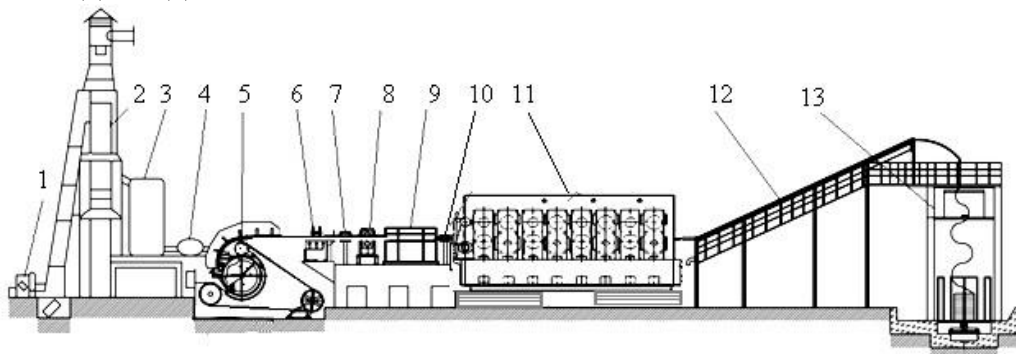


Рисунок 11.1 - Технологічна лінія неперервного лиття та прокатки

Під час виробництва дроту з алюмінієвих сплавів заготовку перед прокаткою додатково нагрівають індукційним нагрівачем 9 і за допомогою пристрою 10 подають у прокатний стан 11. Після прокатки катанка піддається процесам гартування, охолодження та сушіння 12 і подається на здвоєну моталку кошикового типу 13. Затискний тяговий пристрій разом з пристроєм утворення кілець укладає катанку в приймальний кошик, після наповнення якого відбувається заміна його на новий.

Відповідно до технології, для одержання високоякісної катанки необхідно підтримувати задану температуру розплаву у шахтній та роздавальних печах, забезпечити стабільні умови кристалізації рідкого металу у ливарному колесі, регулювати довжину алюмінієвої заготовки перед прокаткою, керувати охолодженням катанки під час прокатування у стані та процесом формування бунта у моталці. Оскільки властивості алюмінієвої катанки формуються протягом всього технологічного циклу, від плавильної печі до моталки, виконання усіх перелічених умов має відбуватися якісно. Тому до того, як розпочинати імітаційне моделювання АСУТП з виробництва алюмінієвої катанки, необхідно визначитися з математичними моделями об'єктів автоматизації, формулами та рівняннями, що описують зв'язок між окремими параметрами, а також алгоритмами керування технологічним процесом, за допомогою яких можна зрозуміти особливості

виробництва катанки, створити системи автоматизації, дослідити вплив тих чи інших параметрів на якість регулювання і налагодити роботу ливарно-прокатного агрегату на бажаний кінцевий результат.

11.2. Математичне забезпечення АСУТП з виробництва алюмінієвої катанки

Основними вихідними величинами, що характеризують процес неперервного лиття та прокатки є температура рідкого алюмінію в шахтній та роздавальних печах, температура та довжина заготовки на виході з ливарного колеса, температура катанки на виході з прокатного стану та після гартування і охолодження. Для побудови систем автоматичного регулювання динамічні характеристики усіх перелічених параметрів апроксимовані аперіодичними ланками з транспортним запізнюванням:

$$W_{(p)} = \frac{K}{T \cdot p + 1} \cdot e^{-p\tau}, \quad (11.1)$$

де K – коефіцієнт передачі, вихідна величина / % ходу регулювального органа; T – стала часу, с; τ – транспортне запізнювання, с.

Коефіцієнти зазначених об'єктів автоматизації приведені у таблиці 11.1.

Зазвичай температура розплаву у шахтних та роздавальних печах регулюється шляхом коригування витрати спалюваного газу. А охолодження заготовки під час прокатування її у стані та охолодження катанки у процесі гартування здійснюється шляхом керування витратою охолодної речовини. Оскільки на згаданих об'єктах автоматизації значення вихідних величин визначаються виключно величинами вхідних параметрів, при імітаційному моделюванні АСУТП були використані одноконтурні системи автоматичного регулювання.

Таблиця 11.1. Коефіцієнти об'єктів автоматизації

Пара- метри Коефі- цієнти	Темпера- тура рідко- го алю- мінію у шахт- ній печі	Темпера- тура рідко- го алю- мінію у роздава- льній печі	Темпера- тура заготов- ки після ливарно- го колеса	Темпер- атура катан- ки на виході з прокат- ного стана	Темпер- атура катан- ки після гартува- ння
K	2,7	15	1	2	1.5
T	32	25	15	15	15
τ	13	10	7	4	7

Разом з цим температура та довжина заготовки на виході з ливарного колеса, залежать від багатьох параметрів, серед яких швидкість лиття, температура розплаву в роздавальній печі, витрата води на охолодження та ін. Так само процес формування бунта катанки залежить від декількох параметрів: діаметра катанки,

кроку укладання витків в шарі, внутрішнього та зовнішнього радіусів бунта. Тому, аби забезпечити якісне керування вказаними параметрами та можливість проведення досліджень технологічного процесу на імітаційній моделі, необхідно при моделюванні АСУТП використовувати більш складні алгоритми керування, які б базувались на математичних формулах і рівняннях, що визначають зв'язок між регульованими параметрами та тими, що впливають на їх величину.

11.2.1. Охолодження зливка та стабілізація теплового режиму кристалізатора ливарної машини

Якість алюмінієвої заготовки і продуктивність ливарно-прокатного агрегату в значній мірі залежать від роботи системи охолодження зливка, головною метою якої є безперервне і поступове видалення тепла в процесі перетворення розплавленого алюмінію в тверду заготовку. Відбувається це за рахунок подачі води в певні зони охолодження через регульовані форсунки, що розташовані по периметру та довжині виливниці. При цьому загальна витрата води і розподіл її по зонах повинні бути такими, щоб фронт кристалізації металу у виливниці мав форму латинської літери "V", а твердіння зливка закінчувалося у момент видалення його з ливарного колеса. Проте в технічних документаціях на технологічні лінії безперервного лиття та прокатки алюмінію виробники не дають конкретних відомостей з налагодження систем охолодження, що суттєво ускладнює запуск ливарно-прокатних агрегатів у роботу. У зв'язку з цим виникає необхідність у розробленні рекомендацій щодо визначення загальної витрати води на охолодження зливка і алгоритму розподілу її між окремими зонами кристалізатора. Задля цього проведено аналіз теплового балансу кристалізатора машини неперервного лиття алюмінію:

$$Q + Q_{кр} = Q_{вод} + Q_{вил} + Q_{стс} + Q_{стд} + Q_{заз} + Q_{заб} + Q_{дов} + Q_{заг}, \quad (11.2)$$

де Q – загальна кількість теплоти, яка підводиться з рідким алюмінієм у виливницю ливарного колеса; $Q_{кр}$ – теплота, що виділяється при кристалізації зливка; $Q_{вод}$ – кількість теплоти, що втрачається з охолодною водою, $Q_{вил}$ – кількість теплоти, що витрачається на нагрів виливниці; $Q_{стс}$ – кількість теплоти, що витрачається на нагрів сталевий стрічки, що охоплює мідну виливницю; $Q_{стд}$ – кількість теплоти, що витрачається на нагрів сталевих дисків ливарного колеса; $Q_{заз}$ – кількість теплоти, що витрачається на нагрів газового зазору між стінками виливниці і зливком; $Q_{заб}$ – втрата теплоти на термічних опорах забруднень (накипу); $Q_{дов}$ – втрата теплоти в довкілля; $Q_{заг}$ – кількість теплоти, що виводиться з кристалізатора із затверділою заготовкою.

З рівняння видно, якщо розрахувати приходну частину теплового балансу, кількість теплоти, яка виводиться з кристалізатора затверділою заготовкою при заданих температурі та швидкості ливарного колеса, кількість теплоти, яка витрачається на нагрів виливниці, газового зазору та термічних опорів забруднень, а також втрату теплоти в навколишнє середовище, тоді розв'язуючи рівняння теплового балансу щодо $Q_{вод}$, можна за її величиною знайти витрату води на охолодження зливка:

$$G_{кр} = \frac{Q_{вод}}{c_в \cdot \Delta T_в}, \quad (11.3)$$

де $G_{кр}$ – витрата води, яка подається в кристалізатор, кг/с; $c_в$ – теплоємність води, Дж/(кг·К); $\Delta T_в$ – різниця між температурою води, що подається $T_{вх}$ у кристалізатор та відводиться $T_{вих}$ від нього, К.

Оскільки інтенсивність тепловідведення від розплаву залежить не тільки від витрати води на охолодження, а і від умов теплообміну в кристалізаторі, для забезпечення рівномірного твердіння рідкого металу за поперечним перерізом і довжиною зливка, витрата води в окремі зони кристалізатора має відбуватися з урахуванням коефіцієнтів теплопередачі його багат шарової стінки в цих зонах.

Для визначення алгоритму розподілу витрати води між окремими зонами кристалізатора припустимо, що коефіцієнти теплопередачі за напрямками охолодження в окремих зонах однакові і дорівнюють середньоарифметичному $K_{ср} = K_{сум} / n$. Тоді відсоток витрати води на кожну зону охолодження від загального обсягу, що подається в кристалізатор, складе:

$$G = \frac{K_{ср}}{K_{сум}} \cdot 100\%, \quad (11.4)$$

де $K_{сум} = \sum_1^n K_i$ – сумарний коефіцієнт теплопередачі багат шарової стінки кристалізатора за всіма зонами охолодження.

Якщо коефіцієнт теплопередачі K_1 більше $K_{ср}$ на $\Delta 1\%$, тоді реальна витрата води у першу зону охолодження має бути менше за уявну на $\Delta 1\%$:

$$G_1 = G - \Delta 1, \%$$

Якщо коефіцієнт теплопередачі K_2 менше $K_{ср}$ на $\Delta 2\%$, тоді реальна витрата води у другу зону має бути більше за уявну на $\Delta 2\%$:

$$G_2 = G + \Delta 2, \%$$

І так за всіма коефіцієнтами теплопередачі.

Виходячи з цього, для рівномірного твердіння металу у роторній ливарній машині за поперечним перерізом та довжиною зливка, необхідно визначити зони охолодження кристалізатора та коефіцієнти теплопередачі його багат шарової стінки за напрямками охолодження у кожній з них і воду, що подається у кристалізатор, розподілити поміж визначеними зонами охолодження, відповідно до рівняння:

$$G_i = \frac{K_{ср}}{K_{сум}} \cdot 100\% - \frac{K_i - K_{ср}}{K_{ср}} \cdot 100\% = \left(1 + \frac{1}{n} - \frac{K_i}{K_{ср}} \right) \cdot 100\% \quad (11.5)$$

де G_i – витрата води на охолодження в i -ту зону кристалізатора; n – кількість зон охолодження; K_i – коефіцієнт теплопередачі багат шарової стінки кристалізатора за напрямком охолодження в i -тій зоні; $K_{ср}$ – середній коефіцієнт теплопередачі багат шарової стінки кристалізатора за всіма зонами охолодження.

Розроблений алгоритм розподілу витрати води між окремими зонами кристалізатора був перевірений на прикладі роботи роторної ливарної машині ЛПА «LY-1600» китайського виробництва, на якій виготовляється алюмінієва заготовка.

Було вибрано три зони охолодження за напрямками: «розплав-стінка виливниці», «розплав-сталева стрічка» і «розплав-сталеві диски».

За результатами розрахунків коефіцієнти теплопередачі багатозональної стінки кристалізатора по зонах склали:

- напрям «розплав-стінка виливниці» – $K_1 = 776 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;
- напрям «розплав-сталева стрічка» – $K_2 = 817 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;
- напрям «розплав-сталеві диски» – $K_3 = 660 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

При таких значеннях сумарний коефіцієнт теплопередачі за всіма зонами охолодження дорівнює $K_{\text{сум}} = 2253 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, а середньоарифметичний – $K_{\text{ср}} = 751 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Для забезпечення рівномірного твердіння зливка при $K_{\text{ср}}$ за всіма зонами охолодження, відсоток витрати води у кожній зоні складе:

$$G1 = G2 = G3 = 100\% / 3 = 33,3\%$$

Оскільки $K1 = 776 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ більше $K_{\text{ср}} = 751 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ на 3,3%, то витрата води для реальних умов теплообміну у зоні з напрямом охолодження «розплав-стінка виливниці» має бути:

$$G1 = 33,3\% - 3,3\% = 30\%$$

Оскільки $K2 = 817 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ більше $K_{\text{ср}} = 751 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ на 8,8%, то витрата води для реальних умов теплообміну у зоні з напрямом «розплав-сталева стрічка» має бути:

$$G2 = 33,3\% - 8,8\% = 24,5\%$$

Оскільки $K3 = 660 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ менше $K_{\text{ср}} = 751 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ на 12,1%, то витрата води для реальних умов теплообміну у зоні з напрямом «розплав-сталеві диски» має бути:

$$G3 = 33,3\% + 12,1\% = 45,4\%.$$

Розрахунок температур за поперечним перерізом зливка при знайдених відсотках розподілу витрати води поміж зонами охолодження проводився в інструментальній системі Comsol 3.5a на підставі розробленої математичної моделі. В результаті розв'язання нестационарної задачі теплопровідності отримано картини розподілу температурного поля в алюмінієвому зливку на протязі його кристалізації, які підтверджують рівномірність твердіння металу за поперечним перерізом і довжиною зливка.

Таким чином, завдяки розподілу витрати води поміж зонами охолодження з урахуванням коефіцієнтів теплопередачі багатозональної стінки кристалізатора за напрямками охолодження в окремих його зонах, забезпечується однакова швидкість кристалізації та рівномірне твердіння розплаву з усіх боків зливка на протязі всього часу кристалізації.

Після визначення загальної витрати води на охолодження зливка, а також розподілу її за зонами кристалізатора, стабілізувати його тепловий режим за наявності збурень можна тільки з використанням системи автоматичного регулювання.

Зазвичай на подібних агрегатах стабілізацію теплового режиму реалізують за рахунок коригування витрати води, що подають на охолодження зливка. Проте недоліком таких систем автоматизації є те, що регулювання теплового режиму кристалізатора здійснюють не за прямими показниками його стану, а шляхом регулювання охолодження зливка за непрямыми показниками – температурою води

до та після охолодження. Тому, для підвищення якості регулювання бажано використовувати у системі автоматизації параметр, що напряму характеризує тепловий режим кристалізатора.

Виходячи з рівняння теплового балансу, таким параметром можна вважати теплоту, що виводиться з кристалізатора із затверділою заготовкою $Q_{заг}$:

$$Q_{заг} = \rho \frac{V}{60} \cdot F \cdot h_{роз} - G_{роз} \cdot (h_{роз} - h_{заг}), \quad (11.6)$$

де $G_{\delta i \zeta} \cdot (h_{\delta i \zeta} - h_{\zeta \delta \bar{a}})$ – теплота, що віддається гарячим теплоносієм, Вт; $G_{\delta i \zeta}$ – витрата розплаву, що визначається продуктивністю агрегату та швидкістю лиття, кг/с; $h_{\delta i \zeta} = L + c_i \cdot T_{\delta i \zeta}$ – ентальпія сплаву на початку виливниці, Дж/кг; $h_{\zeta \delta \bar{a}} = L + c_{\bar{a}} \cdot T_{\zeta \delta \bar{a}}$ – ентальпія сплаву у кінці виливниці, Дж/кг; $T_{роз}$ – початкова та $T_{заг}$ – кінцева температура алюмінієвого сплаву у виливниці, °С; c_n , c_k – теплоємність алюмінієвого сплаву, відповідно, для початкової та кінцевої температур, Дж/(кг·°С).

При цьому, якщо в якості допоміжного параметра використовувати кількість теплоти, що втрачається з охолодною водою $Q_{вод}$:

$$Q_{вод} = c_w \cdot G_w \cdot \Delta T_w \quad (11.7)$$

тоді можна реалізувати систему автоматичного регулювання теплового режиму кристалізатора, яка буде коригувати витрату води на охолодження зливка не тільки за відхиленням основного параметру $Q_{заг}$, а і за збуреннями, що надходять з боку $Q_{вод}$. На рис.5.2 приведено структурну схему системи автоматичного регулювання теплового режиму кристалізатора.

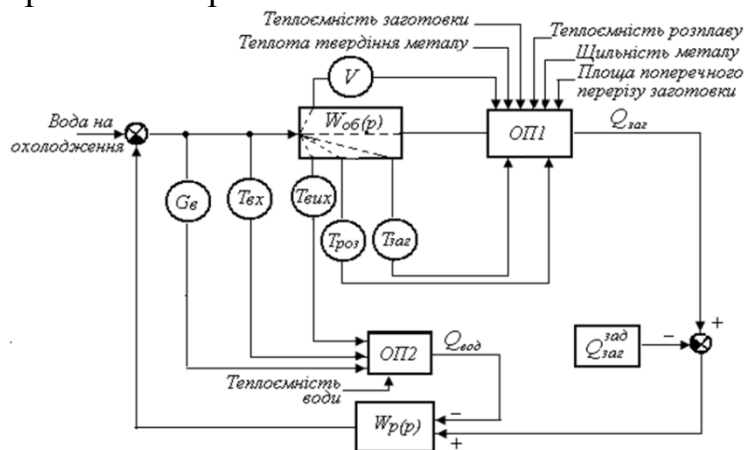


Рисунок 11.2 – Структурна схема системи автоматичного регулювання теплового режиму кристалізатора

На підставі інформації з датчиків швидкості лиття V , температури розплаву $T_{роз}$ та температури затверділої заготовки $T_{заг}$ з урахуванням відомих значень решти параметрів, обчислювальний пристрій $ОП1$ за формулою (11.6) обчислює поточне значення теплоти, що виводиться заготовкою з кристалізатора $Q_{заг}$, яку порівнюють з розрахованим заздалегідь заданим значенням $Q_{заг}^{зад}$ для встановленої швидкості лиття та теплофізичних характеристик розплаву, що кристалізують. Сигнал, пропорційний різниці цих величин прямує на перший вхід регулятора $Wр(p)$. Під час не збігання розрахованих параметрів $Q_{заг}$ і $Q_{заг}^{зад}$ регулятор змінює

подавання води на охолодження зливка до повної компенсації розбалансу на його вході.

Під час змінювання вхідних параметрів G_6 , T_{ex} або $T_{вих}$, що впливають на ступінь охолодження зливка, у системі регулювання з'являється збурення з боку теплоти, що втрачають з охолодною водою $Q_{вод}$. Обчислювальний пристрій ОПЗ за формулою (11.7) обчислює поточну величину $Q_{вод}$ і подає сигнал пропорційний цьому параметру на другий вхід регулятора $Wp(p)$, що здійснює випереджувальне коригування витрати охолодної води у бік компенсації збурення $Q_{вод}$. Оскільки запізнювання за каналом регулювання $Q_{вод}$ на порядок менше запізнювання за каналом регулювання $Q_{заг}$, використання інформації про теплоту, яку втрачають з охолодною водою, підвищить якість регулювання, що призведе до стабілізації процесу кристалізації та покращенню структури заготовки.

11 2.2. Формування заготовки та бунта готової катанки

11.2.2.1 Алгоритм регулювання довжини заготовки

В більшості випадків регулювання довжини заготовки здійснюється одноконтурною САР, яка реалізує ПІ-закон. Проте така система не забезпечує необхідну якість регулювання. Тому для імітаційного моделювання АСУТП виробництва алюмінієвої катанки застосована комбінована система автоматичного регулювання, рис.112, , яка на підставі математичної моделі:

$$L = L_{заг} + \left(V_{Л} \cdot c_1 (T_{вих} - T_{ex}) + V_{Л} - \frac{c_2 n}{\lambda} \right) \cdot \Delta t, \quad (11.8)$$

де L - загальна довжина алюмінієвої заготовки, м; $L_{заг} = V_{Л} \cdot \Delta t$ – базова довжина отриманого зливка за цикл лиття, м; $V_{Л}$ – лінійна швидкість заготовки на виході з ливарного колеса, м/с; c_1 – коефіцієнт температурного подовження алюмінію; $T_{вих}$ – температура зливка на виході з ливарного колеса, К; T_{ex} – температура металу на вході в ливарне колесо, К; c_2 – коефіцієнт передачі швидкості прокатного стана; n – швидкість обертання електропривода; λ - коефіцієнт витяжки прокатного стана; Δt – цикл лиття, с;

працює не тільки за довжиною заготовки L , а і за збуреннями, які виникають при відхиленнях лінійної швидкості заготовки $V_{Л}$ на виході з ливарного колеса, температур металу на вході T_{ex} і виході $T_{вих}$ з ливарного колеса, а також коефіцієнта витяжки прокатного стан λ .

Вираз у дужках цього рівняння визначається нестабільністю роботи ливарного колеса й прокатного стана, а тому характеризує величину прирощення заготовки ΔL під впливом збурень, діючих в ЛПА.

11.2.2.2 Алгоритм керування роботою моталки

Аби метал, який безперервно прокатують, набував не лише компактної форми, а і заданих властивостей за всією його довжиною, при створенні імітаційної моделі АСУТП використано спосіб, за допомогою якого можна коригувати швидкість виткоутворювача моталки під час формування бунта на кожному його шарі з урахуванням діаметра змотуваної катанки та бажаного кроку укладання

витків. При цьому швидкість для i -того витка змінюється ступінчасто, відповідно до виразу:

$$\omega_i = \frac{V}{R_{\max(\min)} \mp (i-1)d \cdot \alpha}, \quad (11.9)$$

а тривалість керування, яка дорівнює часу формування i -того витка, визначається із співвідношення:

$$T_i = \frac{2\pi}{\omega_i}, \quad (11.10)$$

де ω_i – кутова швидкість обертання проводки, рад/с; V – швидкість подачі катанки, м/с; R_{\max} – радіус максимального витка, м; R_{\min} – радіус мінімального витка, м; d – діаметр катанки, м; $1 \leq i \leq n$, $n = \frac{R_{\max} - R_{\min}}{d \cdot \alpha}$ – кількість витків у шарі, α – крок укладання витків, $1 \leq \alpha \leq \frac{R_{\max} - R_{\min}}{2d}$, « R_{\max} –» – при укладанні шару від периферії до центру, « R_{\min} +» – при укладанні шару від центру до периферії.

Як видно з наведених формул, рівнянь та алгоритмів керування вони відображають зв'язки між окремими технологічними параметрами і відповідають вимогам, висунутим до математичного забезпечення створюваної імітаційної моделі АСУТП.

11.3 Програмна реалізація імітаційної моделі АСУТП з виробництва алюмінієвої катанки.

Імітаційна модель технологічної лінії неперервного лиття і прокатки алюмінієвої катанки розроблена на одній обчислювальній машині з використанням пакетів програмування Unity Pro виробництва Schneider Electric і TIA Portal компанії Siemens. Зв'язок між цими пакетами було створено за допомогою відповідних налаштувань у кожному з них. В Unity Pro за допомогою мов FBD і ST реалізовані програми моделювання та управління роботою шахтної та роздавальними печами печі, ливарного колеса, кристалізатора і прокатного стана, моталки і гартівного пристрою, а також програма управління станом об'єктів візуалізації. В пакеті TIA Portal створено чотири екрана візуалізації: стартовий, шахтної та роздавальних печей, ливарної машини і прокатного стана, гартівного пристрою та моталки. Як додаток до них розроблено дев'ять екранів відображення трендів основних технологічних параметрів і установлення налаштувань характеристик відповідних агрегатів і засобів автоматизації.

Всього у проекті задекларовано 314 змінних. З них 6 – типу ARRAY OF REAL, 176 – типу BOOL, 9 – типу INT, 123 – типу REAL, 64 – символічні і 250 – локалізовані.

Архітектура імітаційної моделі АСУТП з виробництва алюмінієвої катанки на ливарно-прокатному агрегаті приведена на рисунку 11.3. Основою для спілкування людини з імітаційною моделлю є екран ЕОМ, в якому за допомогою миші та меню можна вибрати три базових вікна візуалізації окремих ділянок технологічної лінії. В кожному з цих вікон зображені відповідні агрегати та механізми з технологічними лініями зв'язку, а також пульти керування з кнопками

вибору режимів роботи, ручного або автоматичного, та засобами контролю за технологічними параметрами.

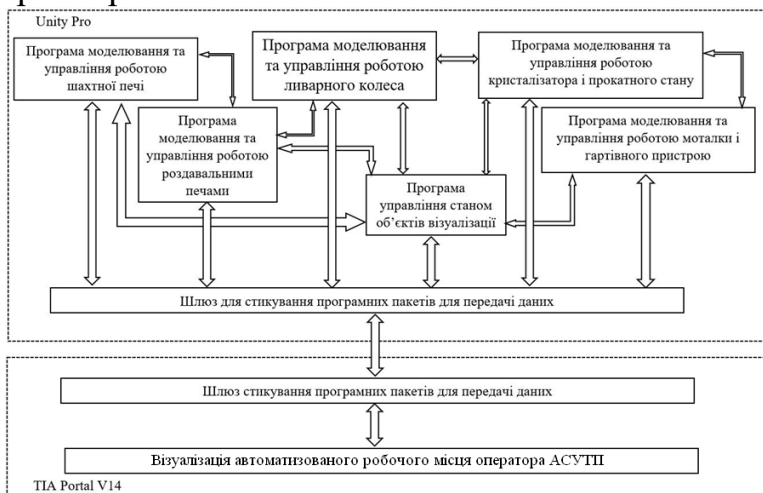


Рисунок 11.3 – Архітектура імітаційної моделі АСУТП виробництва алюмінієвої катанки

Для налагодження та дослідження роботи технологічної лінії в кожному з вікон можна викликати панель коригування коефіцієнтів окремих об'єктів автоматизації, настроювання параметрів регулятора та активізації збурень, що впливають на хід технологічного процесу. Результат досліджень представляється у вигляді графіків зміни контрольованих величин.

У першому вікні імітаційної моделі зображені шахтна та дві роздавальні печі з відповідними технологічними лініями зв'язку, а також пульти керування з кнопками вибору режимів роботи, ручного керування та засобами контролю за рівнем і температурою металу в печах (рис. 11.4). Програмою передбачено завантаження шахтної печі алюмінієвим ломом, увімкнення її в роботу, ручне і автоматичне регулювання температури розплаву на рівні 750 °С, зливання його в одну з роздавальних печей з автоматичною стабілізацією температури (700°С) та подачу розплавленого алюмінію у ливарну машину. Рівень металу в печах відслідковується синім кольором.

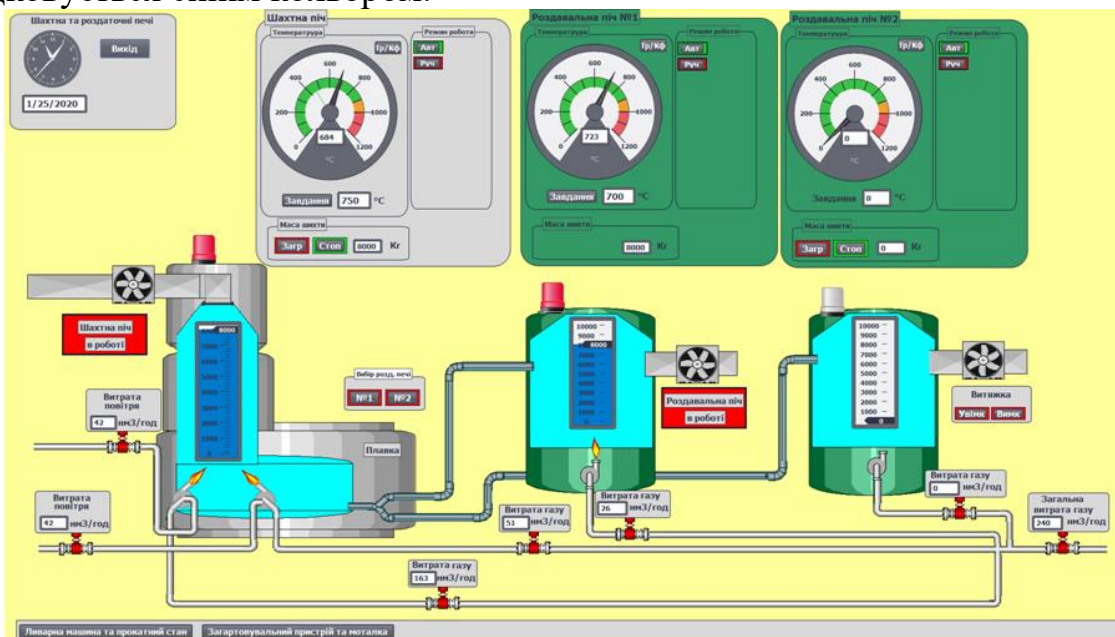


Рисунок 11.4 – Вікно візуалізації пічної ділянки

Робочий режим печей попереджається відповідним повідомленням на червоному фоні під вентиляторами, а біля пальників з'являється полум'я. Після злиття розплаву печі зупиняють, попередження про їх робочий стан зникає, а на його місці з'являються кнопки керування роботою вентиляторів, які призначені для провітрювання внутрішнього простору печей.

Програма моделювання роботи шахтної печі приведена на рисунку 11.5.

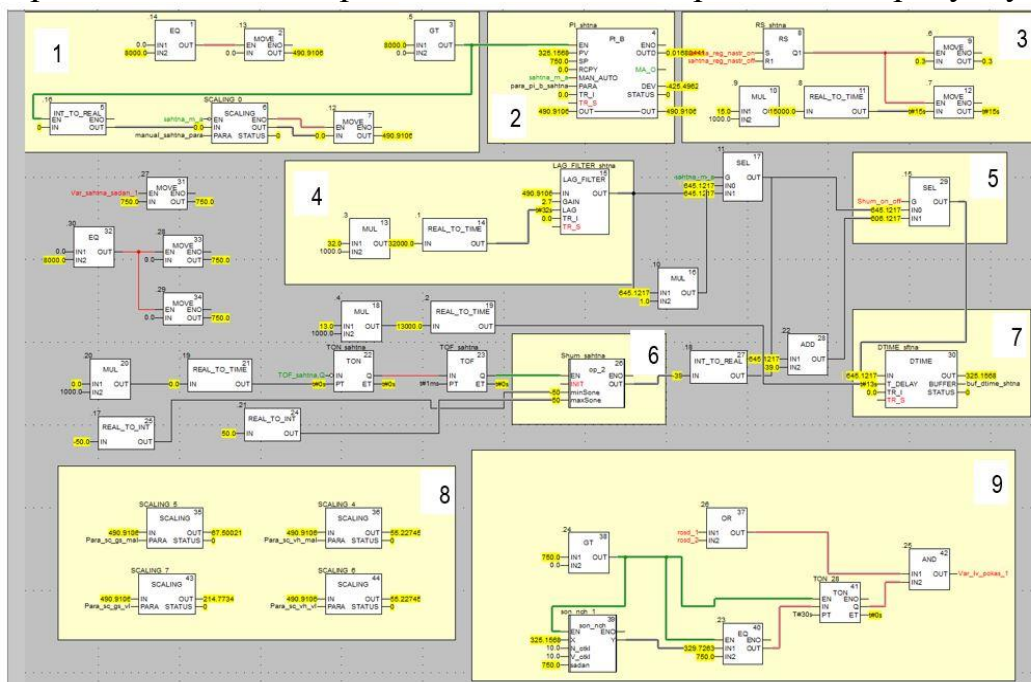


Рисунок 11.5 – Програма моделювання роботи та анімації шахтної печі

Функціональний блок 1 реалізує пуск програми в роботу, блоками 2 і 3 запрограмовані ПІ регулятор і алгоритм керування його настройками. Інерційною ланкою 4 і транспортним запізнюванням 7 представлена шахтна піч. Формування збурень, що випадково з'являються у системі регулювання, реалізовано у блоці 6, а у фрагменті 8 вихідні сигнали регуляторів перетворюється у реальну витрату газу та повітря, що надходять до пальників. Дозвіл на злив розплаву з шахтної печі реалізовано у блоці 9.

Панель установалення параметрів об'єкта, настройок регулятора та активізації збурень, що випадково з'являються у системах автоматизації, показана на рисунку 11.6.

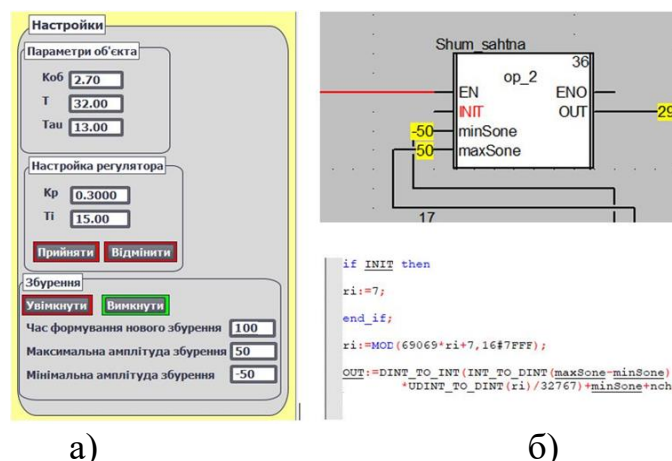


Рисунок 11.6 – Панель настроювання системи автоматичного регулювання (а) та програмний блок формування випадкових збурень (б)

У другому вікні показані ливарна машина із заготовкою та прокатний стан з пультами керування роботою агрегатів і приладами, що показують значення регульованих параметрів: теплоти, яка виноситься заготовкою з ливарної машини і температури заготовки до та після прокатного стану (рис.11.7). Ливарна машина і прокатний стан запускаються в роботу в ручному режимі. При цьому ливарне колесо на екрані розпочинає мигати, а фоновий колір прокатного стану змінюється з червоного на зелений. На виході ливарного колеса з'являється заготовка, яка за певною траєкторією збільшується у розмірі. На початковому етапі роботи ливарної машини якість заготовки не задовільна, тому при зростанні її довжини до 10 м, яка відображається у круглому вікні під петлею заготовки, гідравлічні ножиці відрізають браковану частину. Для охолодження зливка у ливарній машині та заготовки у прокатному стані, під цими агрегатами показані ємності з водою та емульсією, рівень яких у синьому кольорі підтримується в заданих межах.

Програмне забезпечення цього вікна дозволяє в реальному масштабі часу здійснити з анімацією вмикання в роботу ливарної машини та прокатного стану, керування їх швидкістю в ручному режимі, відслідковування вторинними приладами значень контролюваних і регульованих параметрів, формування траєкторії руху катанки від кристалізатора до прокатного стану, відрізання гідравлічними ножицями бракованої частини заготовки та автоматичне регулювання теплового режиму кристалізатора, довжини заготовки і температури катанки після прокатного стану.

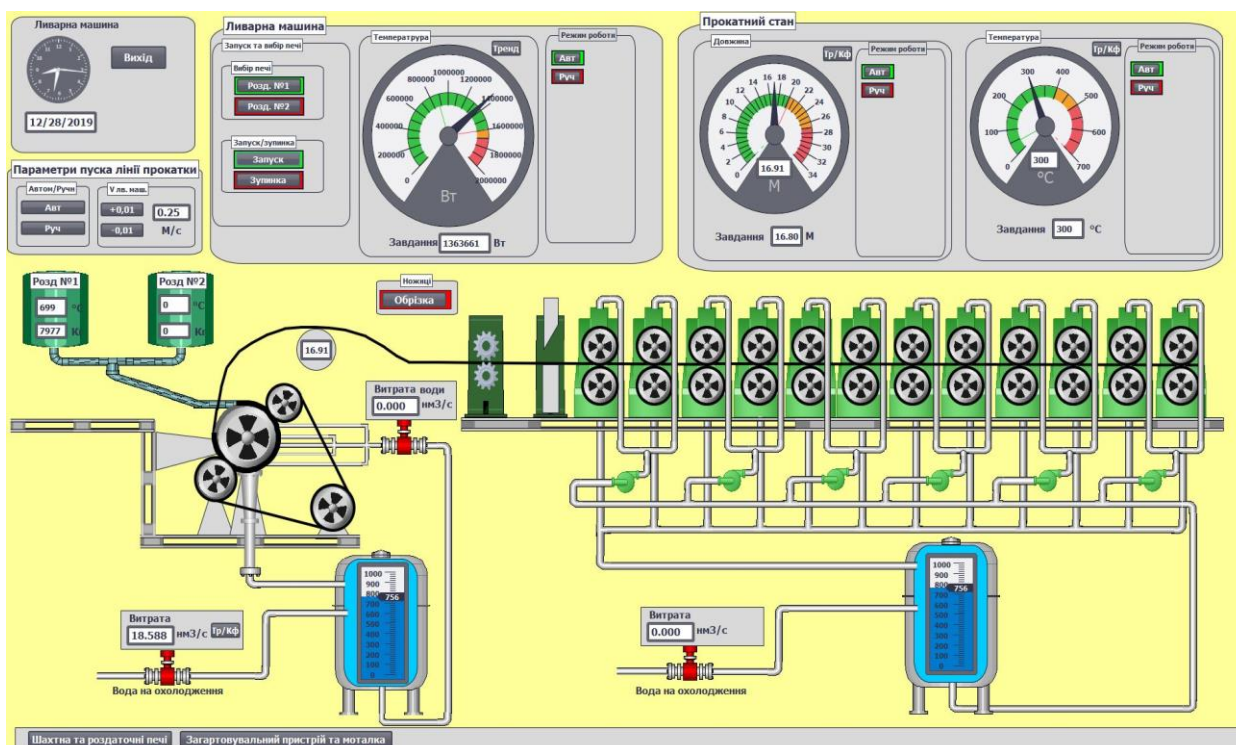


Рисунок 11.7 – Вікно візуалізації ливарної машини та прокатного стану

Програма регулювання теплового режиму кристалізатора за розрахованими значеннями кількості теплоти, що виноситься із заготовкою з кристалізатора, і кількості теплоти, що втрачається з охолодною водою, приведена на рисунку 11.8.

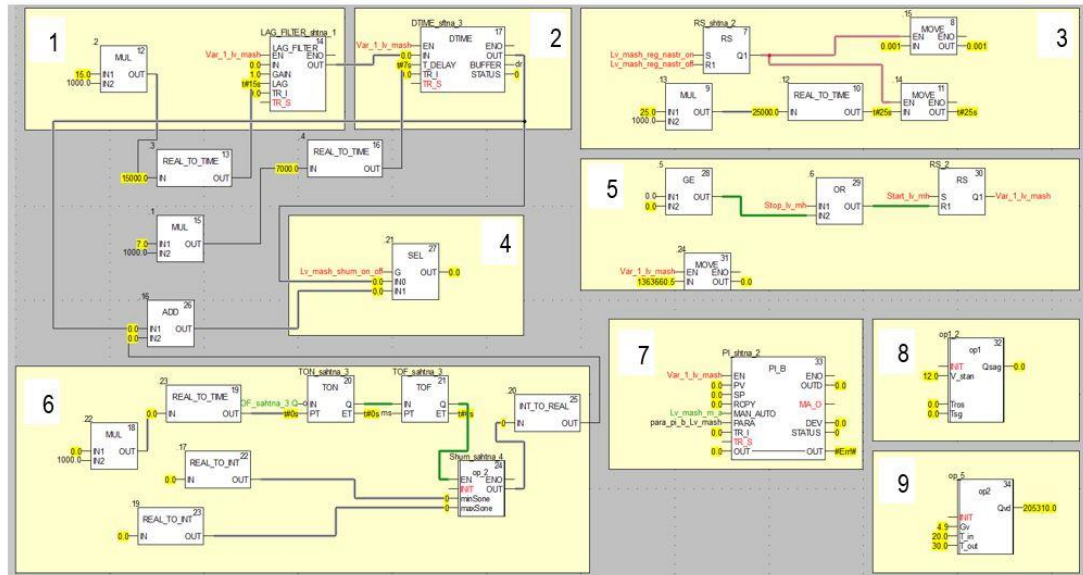
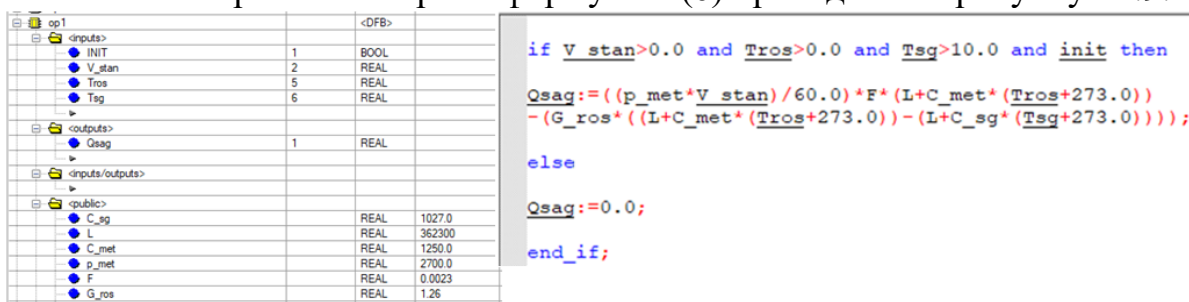


Рисунок 11.8 – Програма регулювання теплового режиму кристалізатора

Програма включає 9 основних фрагментів: моделі кристалізатора 1 і транспортного запізнювання 2, блоки формування 6 і увімкнення 4 збурень, блоки розрахунку кількості теплоти, що виноситься із заготовкою з кристалізатора 8, і кількості теплоти, що втрачається з охолодною водою 9, та блоки ПІ-регулятора 3 і зміни його настройок 7.

Функціональний блок розрахунку кількості теплоти, що виноситься із заготовкою з кристалізатора за формулою (6) приведено на рисунку 11.9.

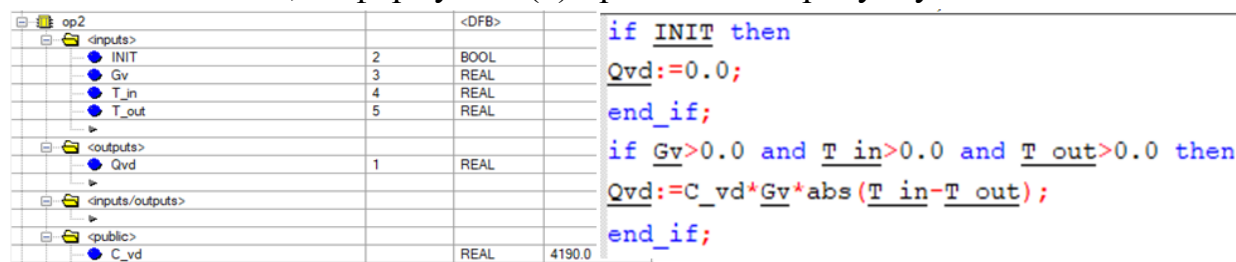


а)

б)

Рисунок 11.9 – Оголошені змінні (а) та код блока розрахунку кількості теплоти, що виноситься із заготовкою з кристалізатора (б)

Функціональний блок розрахунку кількості теплоти, що втрачається з охолодною водою, за формулою (7) приведено на рисунку 11.10.



а)

б)

Рисунок 11.10 – Оголошені змінні (а) та код (б) блока розрахунку кількості теплоти, що втрачається з охолодною водою

На рисунку 11.11 показана панель налаштування САР теплового режиму кристалізатора і графік перехідного процесу після встановлення заданого значення

кількості теплоти, що виноситься із заготовкою з кристалізатора, при появі випадкових збурень та після зменшення завдання.



Рисунок 11.11 – Панель настроювання САР теплового режиму кристалізатора (а) та графік перехідного процесу при зміні завдання та під впливом випадкових збурень (б)

Програма імітації роботи системи автоматичного регулювання довжини заготовки приведена на рисунку 11.12. Основними у її структурі є функціональні блоки, що формують петлю заготовки та розраховують її довжину між ливарним колесом і прокатним станом 2, моделюють ПІ-регулятор 1 і надають можливість коригувати його настройки 3.

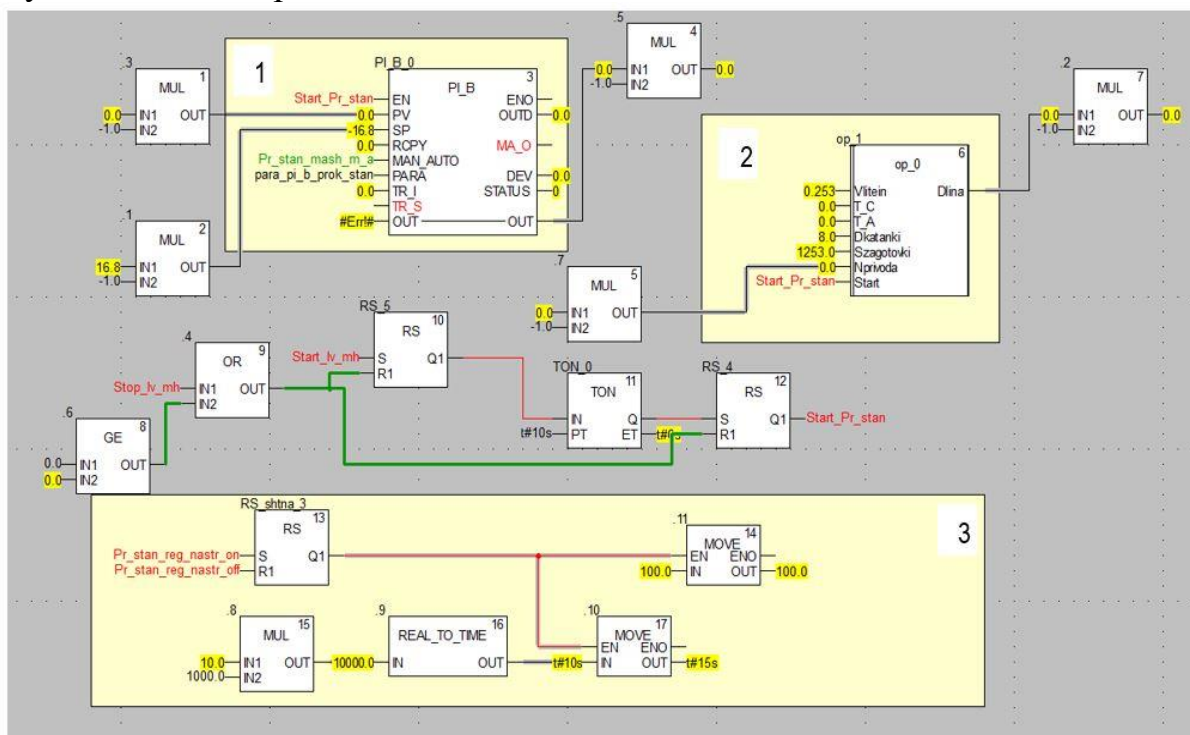


Рисунок 11.12 – Програма імітації формування заготовки та регулювання її довжини

Блок розрахунку поточної довжини заготовки, за формулою (8), а також керування роботою механічних ножів, за допомогою яких відрізаються перші 10

метрів неякісної заготовки на початку роботи ливарного колеса, приведено на рисунку 11.13.

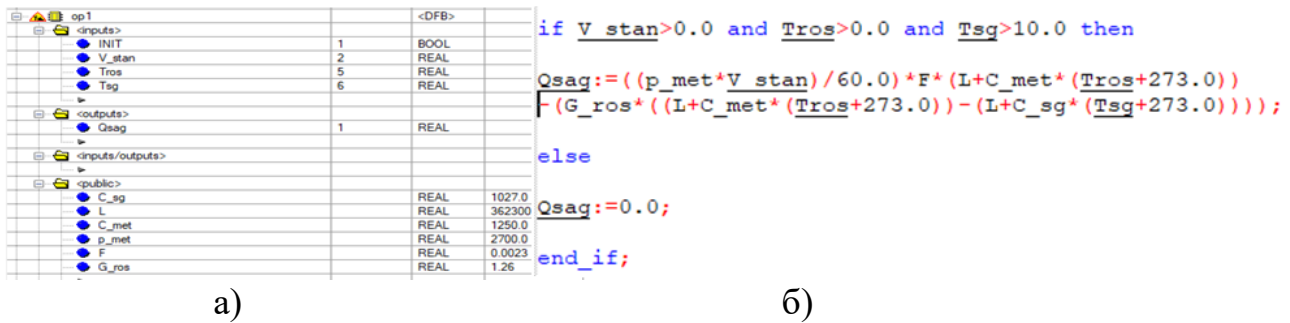


Рисунок 11.13 – Оголошені змінні (а) та код (б) блока розрахунку поточної довжини заготовки

У третьому вікні імітатора представлено пристрій для гартування й охолодження катанки та здвоєна моталка кошикового типу. Також передбачені візуальні засоби контролю та керування відповідними технологічними параметрами (рис.11.14).

З пульта оператора за допомогою кнопок можна увімкнути в роботу та вимкнути моталку, настроїти її роботу на відповідний діаметр катанки із заданим кроком укладання. При цьому на екрані відбувається емуляція її роботи та графік зміни швидкості виткоутворювача залежно від установлених параметрів формування бунта.

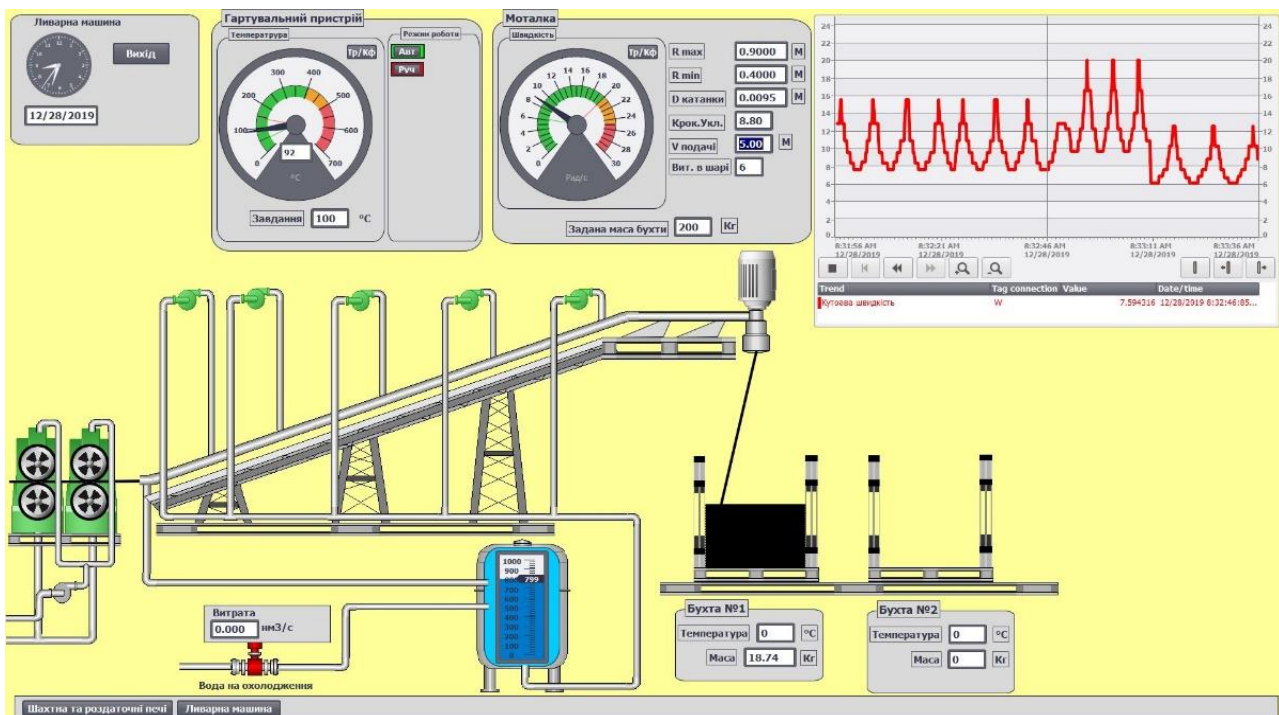


Рисунок 11.14 – Вікно візуалізації гартувального пристрою та моталки

Код програми, що дискретно керує швидкістю виткоутворювача моталки, приведено на рисунку 11.15.

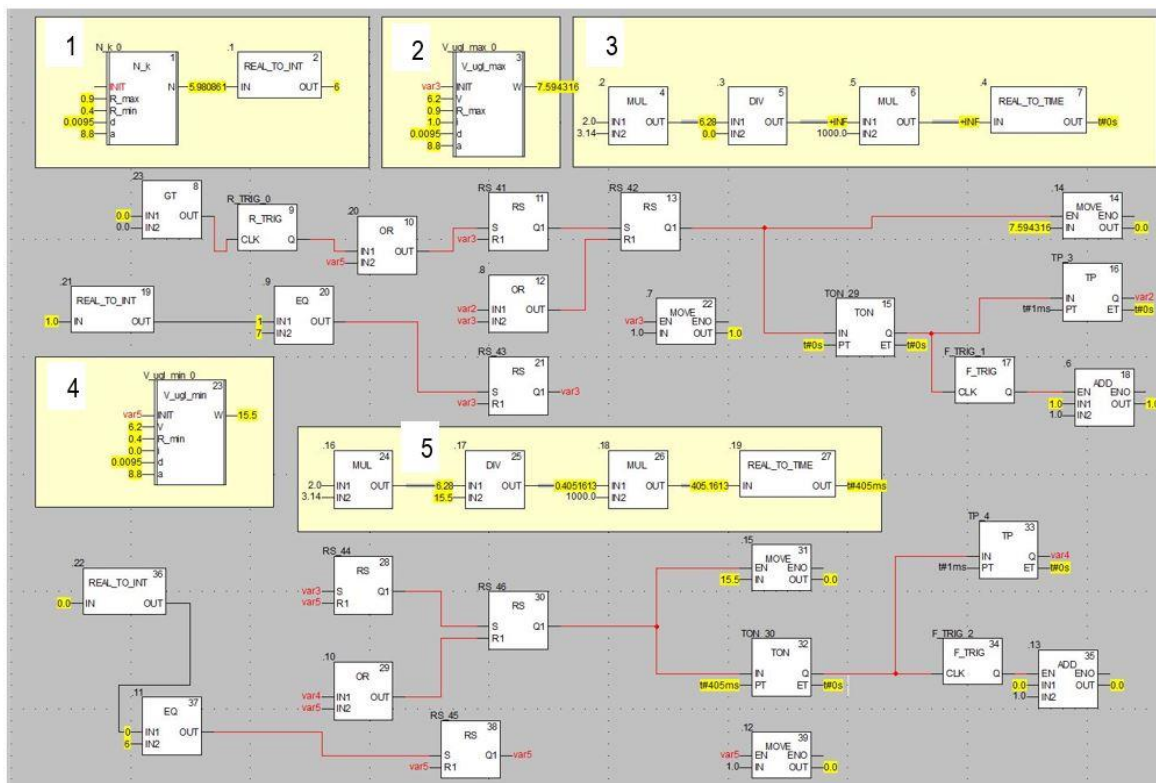


Рисунок 11.15 – Програма керування швидкістю виткоутворювача моталки

У блоці 1 розраховується кількість витків у шарі, у блоках 2 і 4 за формулою (9) – кутова швидкість проводки виткоутворювача при укладанні витків, відповідно, від периферії до центру і навпаки, а у блоках 3 і 5 за формулою (10) розраховується час формування витків при кожній швидкості виткоутворювача.

Функціональний блок, що розраховує кутову швидкість обертання виткоутворювача, приведено на рисунку 11.16.

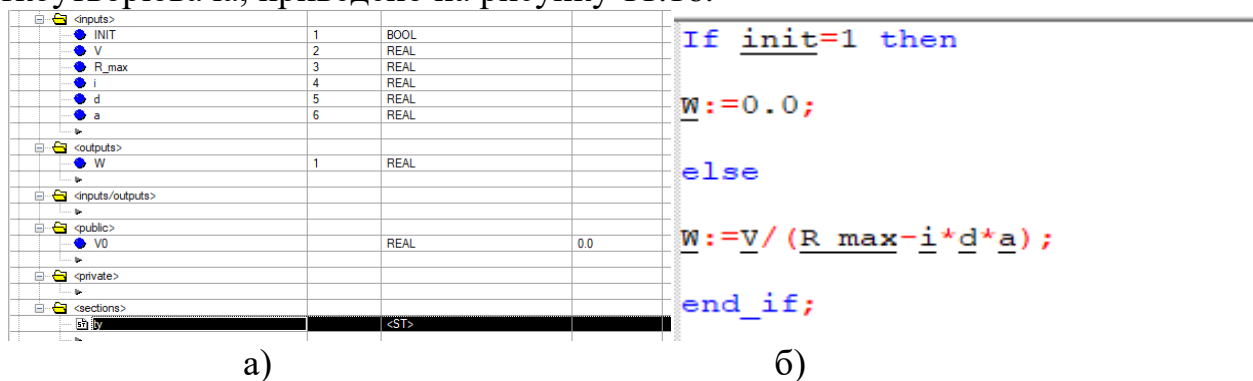


Рисунок 11.16 – Оголошені змінні (а) та код (б) блока розрахунку кутової швидкості виткоутворювача

Програмне забезпечення імітаційної моделі АСУТП з виробництва алюмінієвої катанки дозволяє реалізувати два ручних режими керування ливарно-прокатним агрегатом – вільний і заблокований, а також автоматичний. При реалізації вільного режиму управління, кожна група механізмів управляється самостійно, що дозволяє оператору вручну синхронізувати їх роботу. При заблокованому режимі робота всіх механізмів прив'язана до швидкості ливарного колеса, яка визначає продуктивність ливарно-прокатного агрегату. В автоматичному режимі регулювання технологічних параметрів та управління

виробничими процесами відбувається у реальному часі. Передбачена можливість коригування коефіцієнтів в об'єктах автоматизації, зміни значень параметрів в алгоритмах керування, налаштувань регуляторів та активізації збурень, що впливають на хід технологічного процесу. Усе це створює можливості для імітування різних ситуацій у роботі пічної дільниці та ливарно-прокатного агрегату, дослідити вплив тих чи інших параметрів на хід технологічного процесу, а також відпрацювати дії оператора-технолога АРМ та наладників АСУТП.

12.2. Дослідження роботи імітаційної моделі АСУТП з виробництва алюмінієвої катанки

Для підтвердження можливостей розробленої імітаційної моделі АСУТП з виробництва алюмінієвої катанки методом неперервного лиття та прокатки проведені деякі дослідження у технологічному процесі та у роботі систем автоматичного регулювання.

Для одержання заготовки бажаної якості необхідно забезпечувати стабільні умови кристалізації рідкого металу або здійснювати управління процесом його твердіння. У зв'язку з цим проведені дослідження впливу швидкості обертання ливарного колеса, температури металу на вході і виході з кристалізатора на величину теплоти, що виноситься заготовкою з ливарної машини, а також довжину заготовки на шляху до прокатного стану. Для цього в імітаційній моделі у ручному режимі роботи по черзі змінювали швидкість ливарного колеса у діапазоні 0,19 – 0,21 м/с, температуру розплаву від 963К до 983К та температуру заготовки на виході з ливарного колеса з 723К до 773К і за показаннями приладів у другому вікні імітаційної моделі відслідковували кількість теплоти, що виноситься заготовкою з ливарного колеса та довжину заготовки. За результатами досліджень встановлено, що найбільший вплив на кількість теплоти, що виноситься з заготовкою має швидкість ливарного колеса та температура заготовки на його виході. При коливаннях швидкості ливарного колеса в межах (0,19 – 0,21)м/с та незмінних умовах охолодження розплаву, кількість теплоти, що виноситься заготовкою з ливарної машини, змінюється з 1029273Вт до 1194647Вт тобто на 13,8%. При підвищенні температури заготовки на виході з ливарної машини з 723К до 773К, кількість теплоти, що виноситься заготовкою з ливарного колеса збільшується з 1111960Вт до 1192411Вт, на 6,8%. У той же час вплив температури алюмінієвого розплаву незначний. При коливаннях його температури від 963К до 983К, кількість теплоти, що виноситься заготовкою змінюється від 1114764Вт до 1140656Вт, на 2,3%.

Результати досліджень, що до впливу розглянутих параметрів на довжину заготовки показали, що найбільший вплив має швидкість ливарного колеса. Коливання її в межах $\pm 0,5\%$ від базового 0,2м/с приводять до зміни довжини заготовки на 0,18м або на 1,07%. Зміна температури розплаву від 963К до 983К та температури заготовки в діапазоні (723–773)К практично не впливають на довжину заготовки. Її коливання складають доли процента. Додаткові дослідження впливу коефіцієнта витяжки металу при його прокатуванні показали, що цей параметр має такий самий вплив на довжину заготовки, як і швидкість ливарного колеса. При зміні коефіцієнта витяжки від 22,4 до 21,4 довжина заготовки між ливарною машиною та прокатним станом збільшилась на 0,16м.

Якість роботи систем автоматичного регулювання можна дослідити за будь-яким технологічним параметром від шахтної печі до моталки. Для цього на кожному з трьох основних екранів імітаційної моделі необхідно установити автоматичний режим роботи і за допомогою настроювальної панелі вибрати настройки регулятора, активізувати появу збурень і змінити задане значення. Результати роботи системи автоматичного регулювання можна спостерігати на відповідному тренді. В роботі приведені дослідження систем автоматичного регулювання теплоти, що виноситься заготовкою з ливарного колеса, та довжини заготовки, а також системи автоматичного керування роботою моталки. На рисунку 11.17 послідовно показані перехідні процеси в системі автоматичного регулювання теплоти, що виноситься заготовкою з ливарного колеса, при зміні завдання, при регулюванні тільки за відхиленням теплоти, що виноситься заготовкою, та при регулюванні за відхиленням теплоти і збуренням, що надходить з боку системи охолодження зливка. Як видно з рисунку, якість регулювання у комбінованій системі автоматичного регулювання краща за всіма показниками: максимальне динамічне відхилення, перерегулювання та тривалість перехідного процесу. Це суттєво сприяє стабілізації теплового режиму в кристалізаторі та одержанню заготовки з необхідними властивостями.

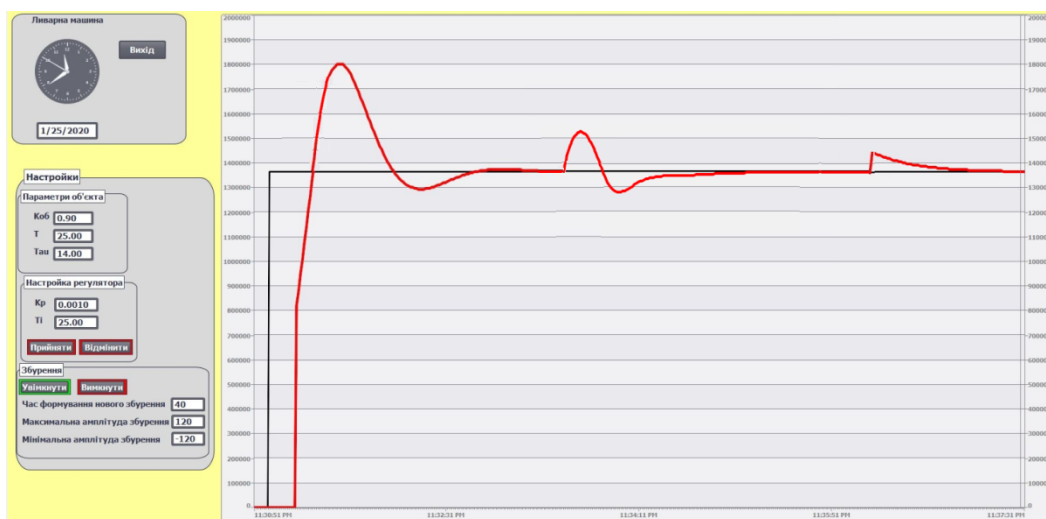


Рисунок 11.17 – Перехідні процеси в САР теплоти, що виноситься заготовкою з ливарного колеса

На рисунку 11.18 приведені перехідні процеси, що отримані у системі автоматичного регулювання довжини заготовки, яка працює тільки за відхиленням регульованого параметра і за алгоритмом, що використаний у імітаційній моделі. Аналіз приведених графіків показав, що якість регулювання за всіма показниками краща при комбінованій системі автоматичного регулювання (останній фрагмент графіка).



Рисунок 11.18 – Перехідні процеси в САР довжини заготовки

При дослідженні системи автоматичного керування укладанням катанки в бунт на екрані, що відображає гартівник та моталку, установили діаметр катанки 9,5мм і по черзі змінювали крок укладання, так, щоб у кожному шарі бунта формувалось послідовно – 6, 3 і 18 витків. На рисунку 11.19 видно, що керування швидкістю виткоутворювача відбувається дискретно, чим більше кількість витків у шарі, тим більше частота зміни швидкості роботи виткоутворювача.

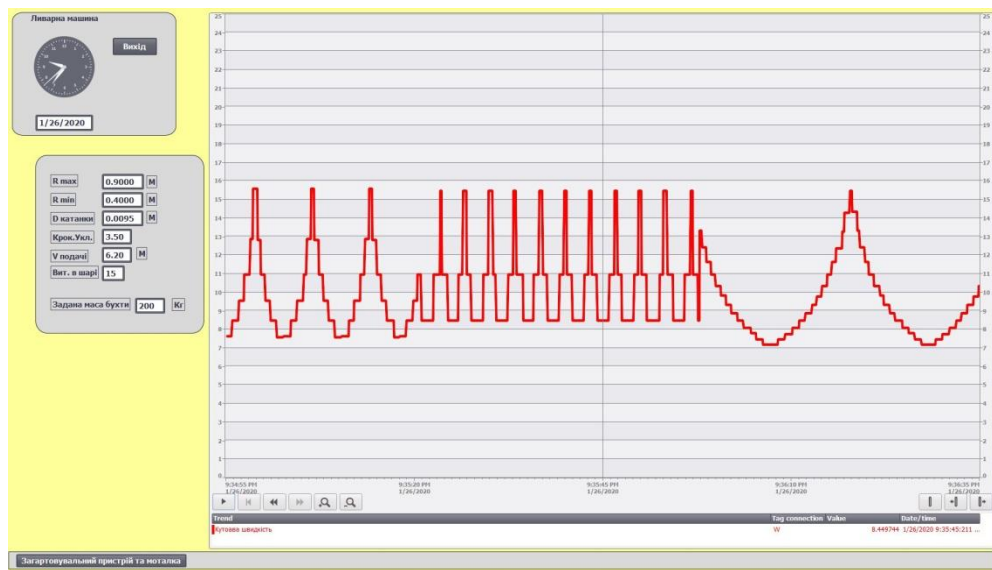


Рисунок 11.19 – Графік зміни швидкості виткоутворювача при кількості витків катанки у шарі, відповідно 6, 3 і 18