

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

На правах рукопису

МІРКЕВИЧ РОМАН МИКОЛАЙОВИЧ



УДК 658.52.011.56:664

**АВТОМАТИЗОВАНЕ УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЦТВОМ МОЛОЧНИХ
ПРОДУКТІВ З ПІДСИСТЕМОЮ ОПЕРАТИВНО-КАЛЕНДАРНОГО
ПЛАНУВАННЯ**

Спеціальність 05.13.07 – Автоматизація процесів керування

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ - 2019

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі інтегрованих автоматизованих систем управління Національного університету харчових технологій Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Пупена Олександр Миколайович,
Національний університет харчових технологій,
м. Київ,
доцент кафедри інтегрованих автоматизованих систем управління.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Хобін Віктор Андрійович,
Одеська національна академія харчових технологій,
м. Одеса,
завідувач кафедри автоматизації технологічних процесів і робототехнічних систем.

кандидат технічних наук, доцент
Степанець Олександр Васильович,
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
м. Київ,
доцент кафедри автоматизації теплоенергетичних процесів

Захист відбудеться «03» квітня 2019 року о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 26.058.05 Національного університету харчових технологій за адресою: 01601, м. Київ, вул. Володимирська, 68, ауд. А-311.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету харчових технологій за адресою: 01601, м. Київ-33, вул. Володимирська, 68.

Автореферат розісланий «01» березня 2019 року.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради К 26.058.05,
к. т. н., доцент



Л. О. Власенко

Загальна характеристика роботи

Актуальність роботи. Для молочного виробництва характерна висока ступень складності виробничих процесів, пов'язаних із випуском багатоасортиментної продукції, зі зміною кількості та номенклатури продукції, що випускається на тому ж обладнанні, зі зміною рецептури. Актуальність роботи полягає у підвищенні ефективності функціонування технологічного комплексу (ТК) виробництва цільномолочних продуктів, з урахуванням змінної номенклатури продукту, змінної рецептури та обсягів виробництва, наявності багатоцільового виробничого обладнання, за рахунок зменшення часу вироблення, зменшення кількості матеріальних та енергетичних ресурсів, шляхом впровадження нових принципів оперативно-календарного планування (ОКП) в складі інтегрованих автоматизованих систем управління.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація виконана в рамках науково-дослідних робіт кафедри інтегрованих автоматизованих систем управління Національного університету харчових технологій «Інноваційні підходи до розробки і впровадження мікропроцесорних комп'ютерно-інтегрованих систем управління» (номер державної реєстрації 0113U007690) та «Наукові основи створення автоматизованих систем управління для комп'ютерно-інтегрованих виробництв харчової промисловості» (номер державної реєстрації 0112U001496).

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності функціонування технологічного комплексу виробництва цільномолочної продукції за рахунок розробки та впровадження підсистем ОКП та рецептурно-базисної структури АСУТП в складі інтегрованої автоматизованої системи управління.

Досягнення поставленої мети здійснюється шляхом розв'язання наступних науково-технічних завдань:

1. Виконати аналіз існуючих вітчизняних та зарубіжних молочних підприємств з багатоасортиментним випуском продукції та зі змінною рецептурою з метою визначення стану та проблем ОКП а також способів їх вирішення.

2. Провести системний аналіз технологічних процесів виготовлення цільномолочних продуктів з метою виділення основних операцій та формування рецептурних компонентів з визначенням тривалості їх виконання.

3. Провести декомпозицію технологічного комплексу цільномолочного виробництва як складної організаційно-технічної системи, на основі чого побудувати ієрархічну модель обладнання, виділити керівні діяльності системи управління виробництвом цільномолочної продукції та шляхи їх реалізації.

4. Визначити та обґрунтувати методи та розробити математичну модель технологічного комплексу виробництва цільномолочної продукції застосовні для оперативно-календарного планування.

5. Розробити концепцію і структуру підсистеми ОКП в складі автоматизованої системи управління виробництвом цільномолочної продукції та критерії оптимальності для розрахунку та реалізації оптимального

управління виробничими обладнанням з урахуванням: актуального стану виробничих потужностей на горизонті планування; номенклатури (рецептури) необхідної продукції; можливості зміни, добавлення та видалення рецептур; перерахування план-графіку за умови непередбачуваних обставин та зміни замовлення.

6. Розробити структуру інтегрованої автоматизованої системи управління молочним підприємством з урахуванням математичних моделей та концепцій.

7. Розробити та реалізувати алгоритми для ОКП, АСУТП та інших підсистем, що забезпечують розрахунок оптимальних план-графіків, управління та контроль за їх виконанням.

Об'єктом дослідження є технологічний комплекс та показники функціонування виробництва цільномолочних продуктів в складі молочного підприємства.

Предметом дослідження є теоретичні, методичні та практичні проблеми управління технологічними комплексами виробництва цільномолочних продуктів.

Методи дослідження. При розробці підсистеми ОКП та структури системи управління виробництвом використовувався системний підхід та методи сучасної теорії управління. При розробці алгоритмів ОКП використовувалися методи математичного програмування (змішане цілочисельне програмування) та підходи теорії розкладів. Результати досліджень підтверджувались шляхом використання комп'ютерного моделювання та аналізу експериментальних даних.

Наукова новизна:

- вперше розроблені концепції ОКП в складі автоматизованої системи управління виробництва цільномолочної продукції, які базуються на методах RTN (ресурсно-задачних мереж) та враховують гнучкість виробничих ліній, змінювану номенклатуру продуктів та можливість оперативної зміни плану, що дозволяє підвищити ефективність роботи технологічного комплексу;
- вдосконалено структуру автоматизованої системи управління виробництвом цільномолочних продуктів, яка передбачає інтеграцію розробленого модуля ОКП з іншими підсистемами, що дозволяє впровадити їх на підприємствах з існуючими системами АСУТП та MES;
- набули подальшого розвитку принципи використання даних, які потрібні для розрахунку параметрів операцій, з моделей рецептур та обладнання згідно стандартів ІЕС 61512 та ІЕС 62264, що дозволяє автоматизувати процес створення параметрів моделі для ОКП;
- набули подальшого розвитку механізми використання сервісів хмарного обчислення в автоматизованому виробництві, що дозволяє використовувати потужні обчислювальні ресурси для розрахунку складних задач планування та імітаційного моделювання;
- набули подальшого розвитку принципи використання імітаційних моделей в складі програми управління, що дозволяє перевірити ефективність розрахованих планів при різних нештатних ситуаціях;

– набули подальшого розвитку концепції використання взаємопов’язаного набору рекомендацій до розробки прикладного програмного забезпечення для програмованих контролерів, що дає можливість швидко впроваджувати алгоритмічно складні системи управління для багато-рецептурного виробництва.

Практичне значення та реалізація отриманих результатів. Системи управління, що побудовані за розробленою структурою можуть бути впроваджені на будь якому підприємстві молочної промисловості. Програмна реалізація підсистеми ОКП може бути використана в будь якій автоматизованій системі управління, що мають відкритий програмний інтерфейс. Концепції розробки прикладного програмного забезпечення є універсальними і можуть бути використані при реалізації АСУТП для більшості виробництв. Результати дисертаційної роботи були передані до впровадження на ТДВ «Яготинський маслозавод».

Особистий внесок здобувача. Основні наукові результати, що викладені в дисертаційній роботі, отримані здобувачем особисто. В публікаціях у співавторстві особистий внесок автора полягає в наступному: в [1] визначення сучасних стандартів для побудови інтегрованих автоматизованих систем управління; в [2] використання імітаційного моделювання на віртуальних машинах реалізованих на імітаторах ПЛК; в [3] особливості використання стандартів інтегрованого управління на вітчизняних підприємствах; в [4] розробка типової структури та об’єктів для програм ПЛК та SCADA/HMI; в [5] аналіз підходів та методів ОКП на молочних підприємствах; в [6] запропонована структура інтегрованої автоматизованої системи управління виробництвом молочних продуктів.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи обговорювались та доповідались на: Наукових конференціях молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті» (Київ, НУХТ, 2015-2018); International scientific – practical conference of young scientists «BUILD-MASTER-CLASS–2016» (Kiev, Ukraine, 2016); III Міжнародній науково-технічній Internet-конференція «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами» (Київ, НУХТ, 2016).

Публікації. Основні результати роботи викладено у 11 друкованих працях, з яких 5 статей у фахових виданнях, 1 стаття в іноземному виданні та 5 тез доповідей.

Структура та об’єм роботи. Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел (88 найменувань) і додатків. Загальний обсяг становить 263 стор., з яких зміст викладено на 160 стор. тексту і включає 66 рисунків, 4 таблиць та 8 додатків.

Основні положення, що виносяться на захист: результати досліджень технологічних комплексів виробництва цільномолочних продуктів як складного об’єкта управління в умовах змінної номенклатури продукції та

багатофункціональності обладнання; інформаційні моделі обладнання та процедурного управління; моделі оперативно-календарного планування цільномолочного виробництва; алгоритми ОКП; структура автоматизованої системи управління виробництвом цільномолочних продуктів з підсистемою ОКП; концепції побудови програмного забезпечення для АСУТП.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ. Обґрунтовано актуальність роботи, яка полягає у необхідності впровадження нових принципів оперативно-календарного планування в складі інтегрованих автоматизованих систем управління за умови змінної номенклатури продукту, змінної рецептури та обсягів виробництва при наявності багатоцільового виробничого обладнання, що має підвищити ефективність роботи технологічного комплексу. Визначено предмет та об'єкт дослідження, сформульовано мету та задачі дослідження, наукову новизну та практичне значення одержаних результатів.

Перший розділ присвячений аналізу сучасного стану та проблем управління виробництвом на молочних підприємствах, впливу підготовки різних видів забезпечення виробництва на процес управління, стану та проблемам ОКП на молочних підприємствах.

Розглянуті сучасні підходи до ОКП взагалі та, зокрема, у молочному виробництві. Показане місце функцій ОКП у типовій ієрархічній структурі планування інтегрованої автоматизованої системи управління підприємством.

Показано призначення та особливості використовуваних концепцій планування і створення графіків виробництв в MRP II, APS та MES-плануванні. Зроблений огляд останніх статей зарубіжних і вітчизняних видань та виділені загальні підходи до планування та створення графіків виробництв, особливості та проблеми їхнього функціонування на молочних підприємствах.

Показано необхідність використання в діяльності планування інформації про актуальний стан ресурсів підприємства, що робить доцільним використання моделей відповідно до стандартів ІЕС 62264 та ІЕС 61512. Відмічені перспективи використання хмарних обчислень (Cloud computing) при ОКП.

Другий розділ присвячений аналізу технологічних процесів, а також функціонування технологічного комплексу виробництва цільномолочних продуктів в складі молочного підприємства, як об'єкта управління.

У результаті аналізу технологічних процесів виробництва цільномолочних продуктів на обладнанні, типовому для більшості підприємств, були виділені основні технологічні операції та визначено їх параметри. Було визначено, що технологія виготовлення всіх продуктів складається з набору типових операцій, змінюється тільки їх послідовність виконання та параметри, які, в свою чергу, залежать від рецептури та використовуваного обладнання.

Було проаналізовано типове виробництво цільномолочних продуктів з точки зору технологічних процесів та обладнання. Визначено, що технологічний процес включає три основні стадії (Рис. 1): пастеризацію, приготування та фасування (розлив). Також визначено, що в ТК що будь-який

апарат з кожної стадії виробництва може бути з'єднаний з будь-яким апаратом наступної стадії, що характерно для послідовно-паралельної топології виробництва.

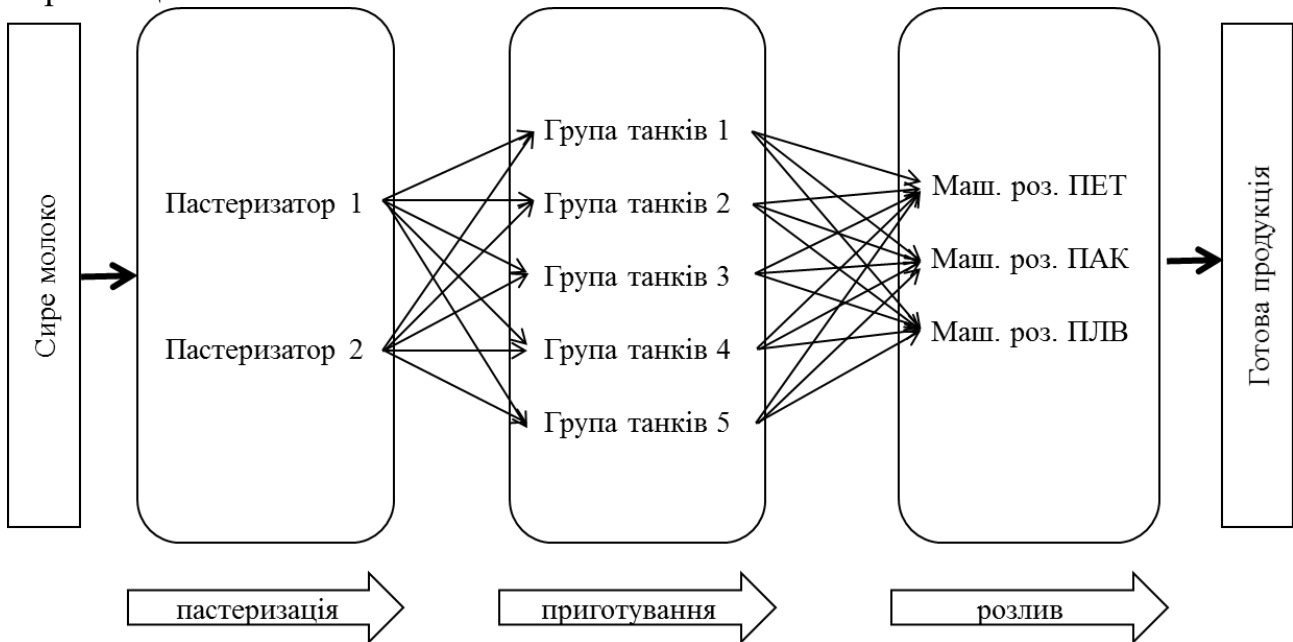


Рис. 1. Проходження технологічних стадій в типовому ТК виробництва цільномолочних продуктів

Визначені умови об'єднання деяких операцій при їх паралельному проходження, зокрема:

- для певних продуктів етапи наповнення та охолодження при плануванні об'єднується в одну операцію «наповнення з охолодженням»;
- для певних продуктів етапи наповнення та нагрівання при плануванні об'єднується в одну операцію «наповнення з нагріванням»;
- етап перемішування є частиною інших операцій, тому не враховується при плануванні.
- Виділені ті операції, які проходять завжди паралельно на різному обладнанні зокрема:
 - набору та пастеризація, тому окремо операція пастеризація при плануванні не виділяється;
 - фасування та вивантаження, тому окремо операція фасування при плануванні не виділяється;

Визначено, що додаткове обладнання, операції в якому відбуваються одночасно з тим, що приймає участь в плануванні в момент проходження операції вважається недоступним. Технологічні комунікації, теплообмінники та інше обладнання в потоці, що потребує додаткового обслуговування, наприклад мийки, використовується в плануванні тільки як «зайнятий» або «вільний» ресурс та такий, що потребує мийки.

Визначено, що тривалість деяких операції таких як наповнення, вивантаження, нагрівання, охолодження залежать від кількості продукту та використовуваного обладнання. Операція сквашування проходить в результаті біотехнологічних процесів з використанням заквасочних культур, які вводять

пропорційно до кількості, тому тривалість таких операцій залежить тільки від правильності проходження технологічного процесу та штаму культури.

Визначено, що згідно ієрархії моделі обладнання, відповідно до стандарту ІЕС 62264, ТК цільномолочного виробництва відноситься до цеху (Area). Для більшості виробництв в складі цеху є такі робочі центри (Work center): виготовлення цільномолочних продуктів, станції СІР-мийок, відділення фасування. Також визначено, що з точки зору типу виробництва робочий центр виготовлення цільномолочної продукції відноситься до типу періодичних, рецептурних виробництв (Batch), тому є сенс використовувати підходи та моделі стандартів рецептурного управління, а саме ІЕС 61512. Відповідно до цього розроблена ієрархічна модель обладнання, в якій виділені наступні важливі рівні з точки зору планування:

- відділення виготовлення цільномолочних продуктів – робочий центр типу технологічна комірка (Process Cell);
- танки приготування, пастеризатор (ПОУ), фасувальні машини – апарати (Unit);
- технологічні комунікації, теплообмінники та інше обладнання в потоці – блоки обладнання (Equipment module);
- обладнання КВПіА нижнього рівня віднести до модулів управління.

Розроблені моделі в нотації UML для обладнання технологічного комплексу цільномолочного виробництва, що дало можливість використати їх в діяльності планування, керування та контролю роботи обладнання та технологічного процесу.

Обґрунтовано, що для управління цільномолочними виробництвами необхідні керувальні дії, які описані в стандарті ІЕС 61512 (Рис. 2). Це зумовлено тим, що принципи їх використання більш пророблені для нижнього рівня MES ніж ті, що описані в ІЕС 62264.

Реалізація частини з наведених керувальних дій є типовою і проводиться за типовими підходами, зокрема:

- керування технологічною коміркою та керування апаратом передбачає взаємодії підсистем через пару «команда-статус», механізми зайняття та вивільнення обладнання, виконання рецептурних процедур, і т. п., які описані в стандарті ІЕС 61512,
- керування рецептами передбачає використання механізмів опису рецептур, які також дані в стандарті ІЕС 61512;
- керування виробничою інформацією вирішується спеціалізованими інструментами за умов реалізації системи управління за вимогами ІЕС 61512;
- планування і складання графіків виробництва не визначено в стандарті і залежить від особливостей виробництва і використовуваних методів.

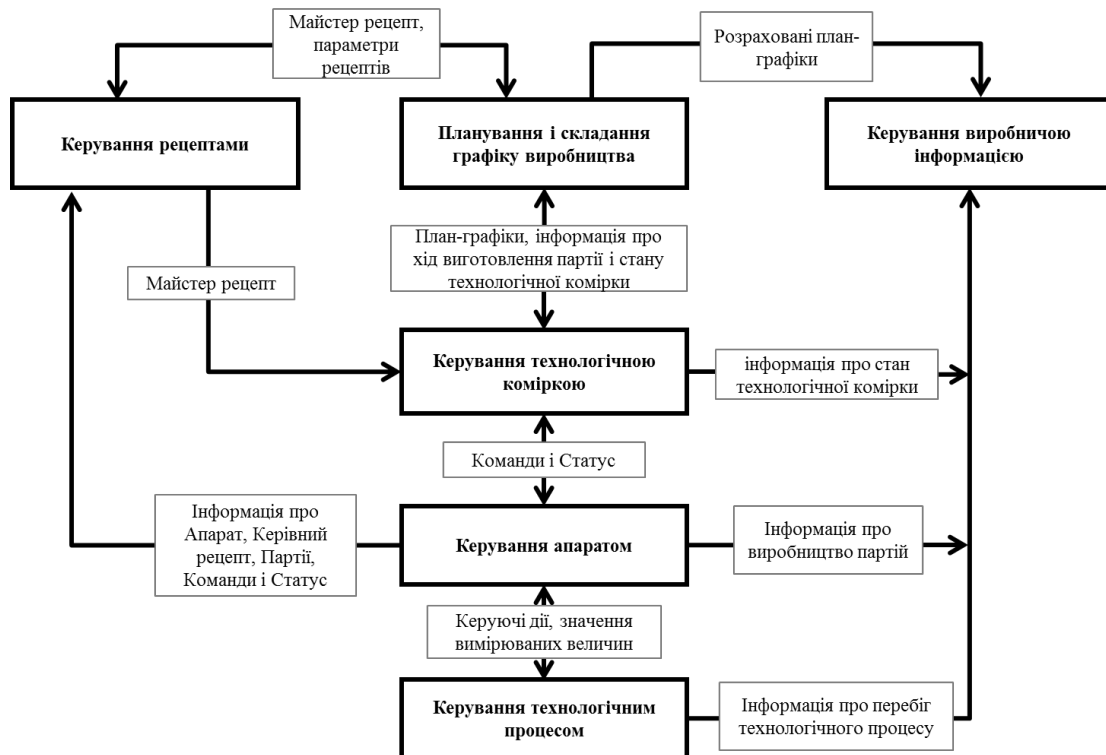


Рис. 2. Керувальні дії для управління цільномолочним виробництвом.

Враховуючи необхідність використання в ОКП даних з рецептури, проаналізовано існуючі мови та способи означення рецептів, визначено їх переваги та недоліки. Визначено, що для рецептів без паралельних виконань етапів найбільш практичним є табличний спосіб представлення, для всіх інших – нотація PFC, з підтримкою XML імплементації.

Визначено, що для можливості реалізації функції планування в існуючих системах АСУТП необхідно: розробити типову структуру програмного забезпечення для контролерів та SCADA/HMI з дотримання вимог IEC 61512; розробити функціональну структуру системи управління виробництвом цільномолочної продукції з урахуванням особливостей існуючих реалізацій та наведених вимог; передбачити використання сучасних технологій хмарних обчислень, як альтернативу локальним для підвищення швидкості обробки даних.

Проведене означення продукту, тобто з чого (матеріали та сировина) та яким чином (необхідні операції і вимоги до обладнання) виготовити продукт. Зокрема приготування кефіру може відбуватися в будь-якому танку, а його фасування на будь-якому фасувальному автоматі (Рис. 3).

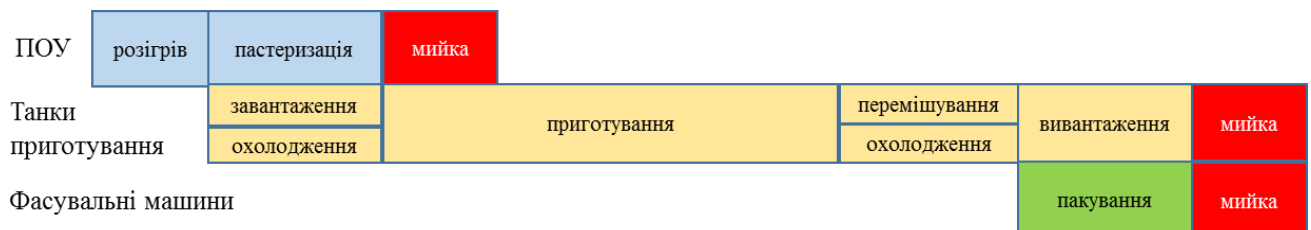


Рис. 3. Основні операції виробництва цільномолочних продуктів.

Показані методики визначення часу операцій, що потребується при ОКП. Зокрема, для фізичних процесів (таких як завантаження танку або вивантаження, нагрівання або охолодження) тривалість операції визначається аналітичним способом. Для біологічних процесів (таких як сквашування) прогнозований час операції для кожного апарату і кожного типу продукту розраховується на основі статистичного аналізу архівних даних функціонування системи управління як:

$$t_{оч} = \frac{t_{min} + 4t_{нй} + t_{max}}{6} \quad (1)$$

де $t_{оч}$ – очікуваний час виконання операції, t_{min} – мінімальний час виконання операції, $t_{нй}$ – найбільш ймовірний час виконання операції, t_{max} – максимальний час виконання операції.

Третій розділ присвячений вибору методів та розробці моделі ОКП для цільномолочного виробництва.

Для представлення моделі планування виробництва (Рис. 4) використано концепцію ресурсно-задачній мережі (RTN, Recourse-Task Network). Мережа представляє собою об'єднання двох типів вузлів – ресурси (сировина, проміжні та кінцеві продукти, обладнання та ін.) та задачі (операції обробки).

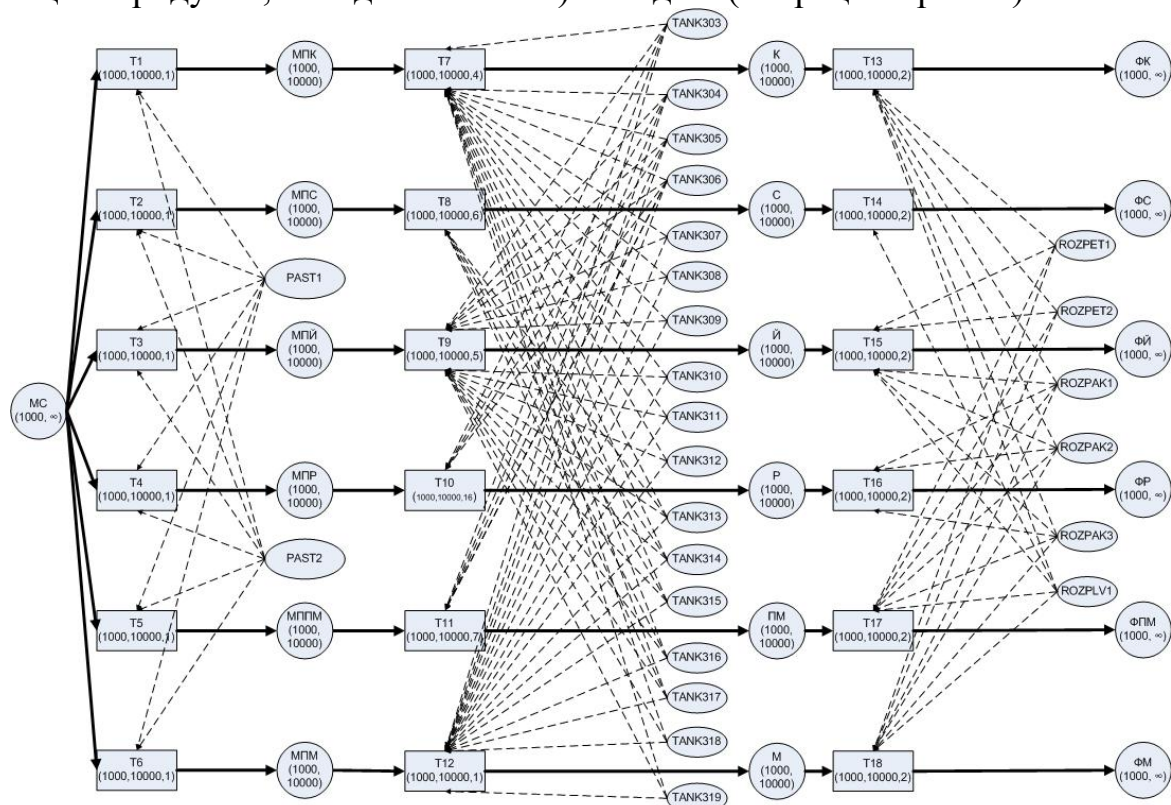


Рис. 4. Графічне представлення моделі ресурсно-задачній мережі (Resource-Task Network) для цільномолочного виробництва: овали – ресурси; прямокутники – задачі.

З метою спрощення процесу створення моделей для більшості ТК, для розроблювальної підсистеми ОКП було вибране дискретне представлення часу, що передбачає розділення часового горизонту на інтервали однакової тривалості (глобальна часова сітка). Події будь-якого типу, такі як початок або кінець обробки окремої задачі, зміни в доступності обладнання та інших

ресурсів і т. д., дозволяються лише на інтервальних межах. Для поставлених завдань добовий горизонт був поділений на 144 інтервали по 10 хвилин, що в межах необхідної точності.

Основні обмеження для моделі планування, які необхідно задовольнити:

- вирішення конфліктів розподілу обладнання між задачами;
- обмеження на ємність апаратів та станцій зберігання;
- матеріальні баланси.

Обмеження щодо розподілу обладнання між задачами описується:

$$\sum_{i \in I_j} \sum_{t'=t-p_{ij}+1}^t W_{ijt'} \leq 1 \quad (2)$$

де $W_{ijt} = 1$ якщо задача i була розпочата в апараті j в момент часу t , інакше $= 0$; p_{ij} – час обробки задачі i в апараті j . Дане обмеження означає, що з початку обробки i на час тривалості в конкретному апараті може виконуватися лише одна задача.

Обмеження на кількість сировини яка може бути оброблена в апараті за один раз або знаходитися в певному стані можна описати наступними двома обмеженнями:

$$V_{ij}^{min} W_{ijt} \leq B_{ijt} \leq V_{ij}^{max} W_{ijt} \quad \forall i, j \in J, t \quad (3)$$

де B_{ijt} – кількість речовини яка проходить обробку задачею i в апараті j в момент часу t ; V_{ij}^{min} , V_{ij}^{max} – відповідно мінімальна і максимальна кількість речовини яку може обробляти задача i в апараті j .

$$C_s^{min} \leq S_{st} \leq C_s^{max} \quad \forall s, t \quad (4)$$

де S_{st} – кількість речовини або матеріалу s в момент часу t , C_s^{min} , C_s^{max} – відповідно мінімальна і максимальна кількість речовини або матеріалу, що може знаходитись в стані s .

Масові баланси описуються наступною формулою:

$$S_{st} = S_{s(t-1)} + \sum_{i \in I_s^p} \rho_{is}^p \sum_{j \in J_i} B_{ij(t-p_{ij})} - \sum_{i \in I_s^c} \rho_{is}^c \sum_{j \in J_i} B_{ijt} + \Pi_{st} - D_{st} \quad \forall s, t \quad (5)$$

де I_s^p – множина задач, що виробляють матеріал для стану s ; I_s^c – множина задач, що споживають матеріал зі стану s ; ρ_{is}^p – пропорція матеріалу для стану s , що виробляється задачею i ; ρ_{is}^c – пропорція матеріалу стану s , що споживається задачею i ; Π_{st} – кількість матеріалу (сировини) стану s отриманого в час t , D_{st} – кількість матеріалу (продукту) стану s вивантаженого в час t .

Дана модель планування підтримує можливість використання різних цільових функцій, які являють собою різні лінійні комбінації змінних W_{it} ,

B_{it} та R_{rt} : мінімізація часу виробництва, максимізація прибутку, мінімізація проміжного зберігання напівпродуктів. У даній роботі для досліджень була обрана така цільова функція, як мінімізація часу виробництва (Makespan), яку можна поррахувати за наступною формулою:

$$F = \sum_i \sum_j \sum_t t W_{ijt} \rightarrow \min \quad (6)$$

де t – момент часу. Її можна трактувати наступним чином: при кожному віддаленні від точки початку горизонту планування при запуску на виробництво нової партії продукції на цільову функцію будуть накладатись штраф у розмірі, що відповідає величині номеру часового інтервалу.

Запропоновано розв'язувати задачу ОКП методами змішаного цілочисельного лінійного програмування (MILP, Mixed Integer Linear Programming), оскільки цільова функція лінійна, змінна W_{ijt} – дискретна, змінні S_{st} та B_{ijt} – дійсні. Серед них був вибраний алгоритм гілок і границь, який дозволяє при обмеженому часі на розрахунок план-графіку, знайти оптимальне рішення або хоча б одне можливе.

У якості обчислювача вибраний сучасний програмний пакет IBM ILOG CPLEX, що надає можливість розрахунку завдань MILP як на локальних так і хмарних обчислювальних ресурсах, а також інтеграції його з іншими програмними модулями через різні типи API (Application Program Interface).

На прикладі технологічного комплексу з 17-ма танками створено модель планування та проведено розрахунок на IBM ILOG CPLEX. Результати розрахунку показані у вигляді діаграми Ганта на Рис. 5. Час виконання плану порівняно з фактичним часом менше на три години.

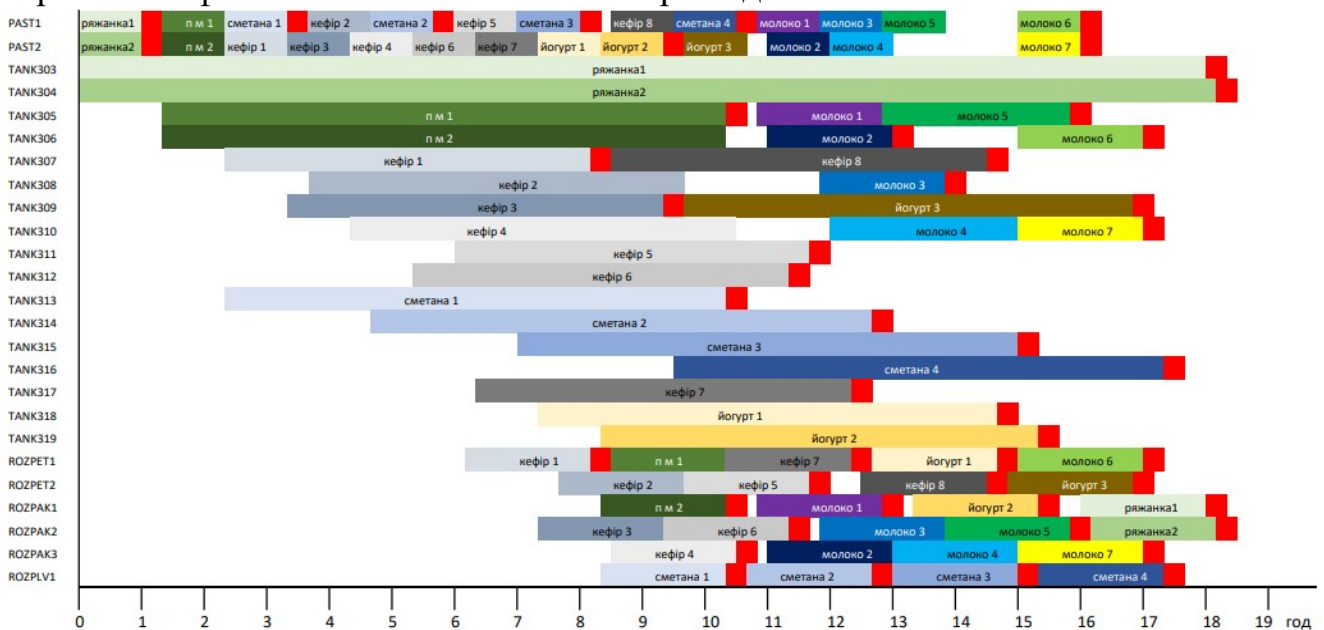


Рис.4. Діаграма Ганта розрахованого плану-графіку виробництва для прикладу виробничої лінії на 17 танків.

У четвертому розділі показана реалізація автоматизованої системи управління виробництвом цільномолочної продукції з підсистемою ОКП.

Розроблено структури програмного забезпечення ПЛК та SCADA, структури об'єктів відповідно до вимог рецептурного управління та ОКП. За основу взята концепція розробки програмного забезпечення для промислових контролерів (PAC Framework), що була розроблена здобувачем у співавторстві іншими співробітниками кафедри ІАСУ НУХТ та апробована на кількох об'єктах. Концепція базується на стандартах ІЕС 61512 з реалізацією певних особливостей, що дало можливість робити АСУТП більш гнучкими та функціональними. Зокрема, у ієрархії об'єктів виділено 3 підрівні модулів управління (Рис. 6) та розроблені програмні елементи для типових апаратних об'єктів.

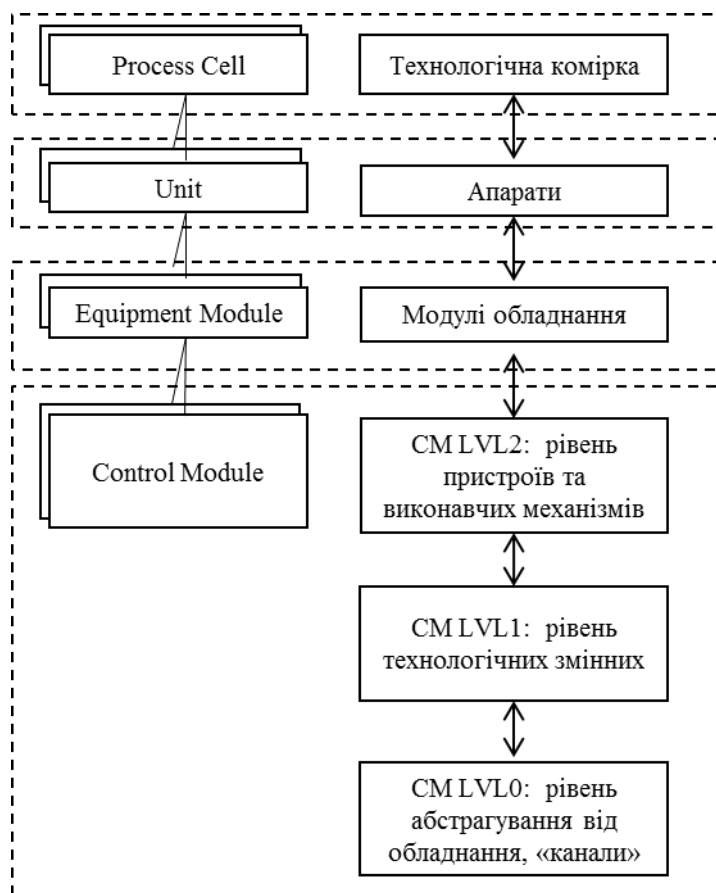


Рис.6. Ієрархія об'єктів управління в програмному забезпеченні.

У дисертаційній роботі дана концепція знайшла подальший розвиток, шляхом вдосконалення розроблених структур даних та алгоритмів для об'єкту типової процедури обладнання з урахуванням вимог до рецептурного управління та часових характеристик. Це дало можливість автоматизувати процес розрахунку тривалості операції, контролювати час виконання операції, прогнозувати відхилення від плану.

Таб.1. Структура даних об'єкту процедурного управління

Атрибут	Тип	Опис
ID	INT	ідентифікатор (може вміщувати також CLSID)
STA	INT	біти стану X8 TMAXERR – помилка максимуму часу виконання X9 TMINERR – помилка мінімуму часу виконання X10 ALM – наявність помилки процедури
CMD	INT	команди
PRM	INT	бітові параметри
STEP1	INT	крок стану (STA повторює STEP1)
STEP2	INT	крок всередині стану
T_STEP1	UDINT	час виконання процедури (знаходження в Running), в Paused як правило заморожується, в Holding обнуляється.
T_STEP2	UDINT	час виконання кроку процедури
T_MIN	UDINT	обмеження по мінімуму часу виконання, с
T_MAX	UDINT	обмеження по максимуму часу виконання, с
T_SP	UDINT	очікуваний час виконання
T_END_SP	UDINT	очікуваний час закінчення
T_START_SP	UDINT	час запуску

У роботі використаний розроблений та апробований на практиці типовий автомат станів для рецептури (Рис. 7). Такий автомат станів дає можливість управляти та контролювати виконання операцій сумісно з іншими підсистемами управління виробництвом у тому числі ОКП.

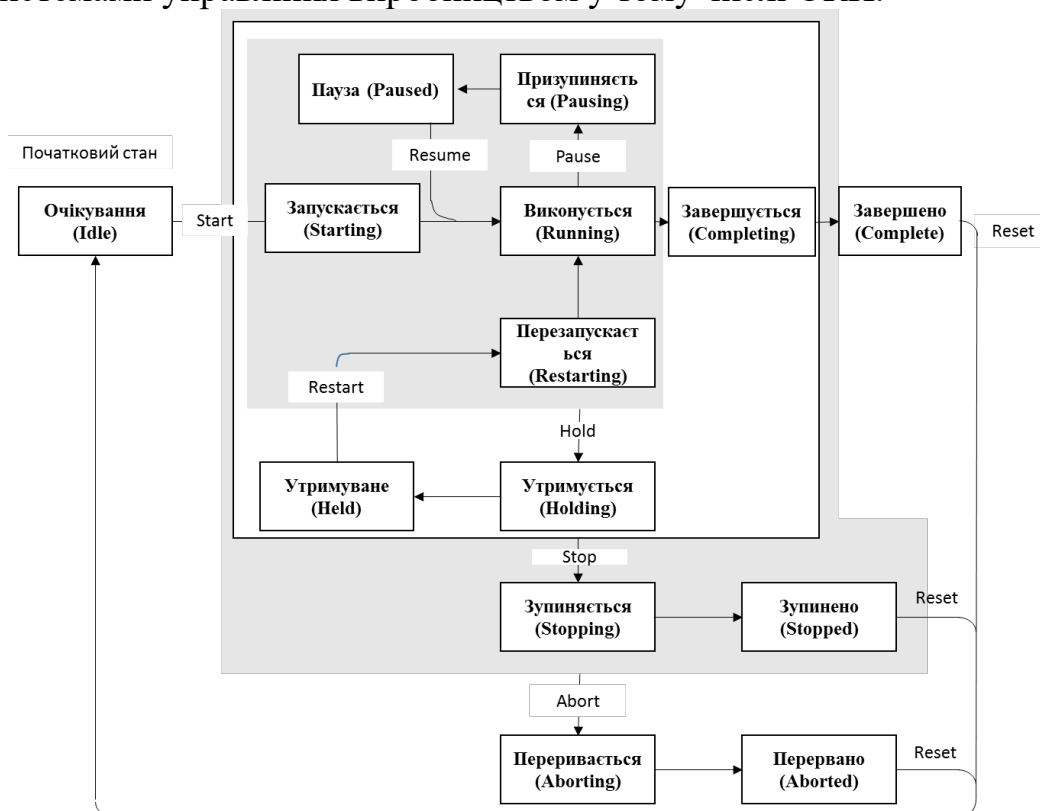


Рис.7. Автомат станів для типового процедурного об'єкту.

Розроблено структуру системи управління виробництвом цільномолочної продукції з підсистемою ОКП з урахуванням:

- можливості інтеграції з існуючими системами управління;

– використання прогресивних програмних продуктів та сервісів з можливістю імітаційного моделювання автоматизованого комплексу з контролем виконання операцій згідно плану та можливості оперативного перерахунку (Рис. 8).

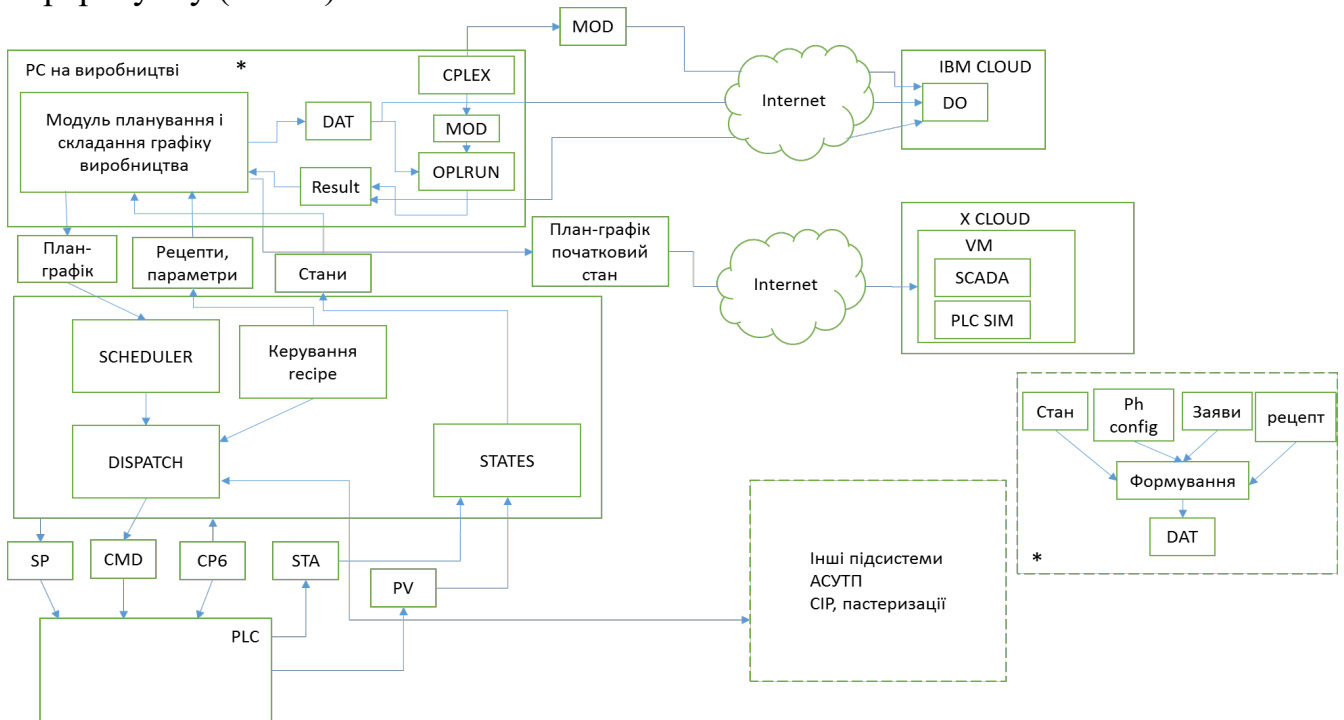


Рис. 8. Структура системи управління виробництвом ЦМП.

Розроблено прототип з наступними елементами програмного забезпечення:

- для ПЛК: об'єкти апаратного та процедурного управління, що дають можливість модернізувати існуючі прикладні програми для контролерів MEK 61131;
- процедури для апаратних етапів танків для реалізації процедурного управління цільномолочного виробництва на платформі TIA Portal (Рис.9);
- процедурне управління на рівні SCADA з використанням Batch-модуля з використанням SCADA zenon;
- VBA макрос в складі SCADA системи для реалізації:
 - формування файлу даних (*.DAT) за параметрами апаратних етапів рецептури та плинного стану обладнання;
 - взаємодії між інтерфейсом оператора та програмним забезпеченням IBM ILOG CPLEX зокрема запуск на виконання на локальний/віддалений (в хмарі) та отримання результатів з занесенням їх в таблицю план-графіка;
 - відправки розрахованих даних планування в модуль диспетчеризації та в модуль імітаційного моделювання.

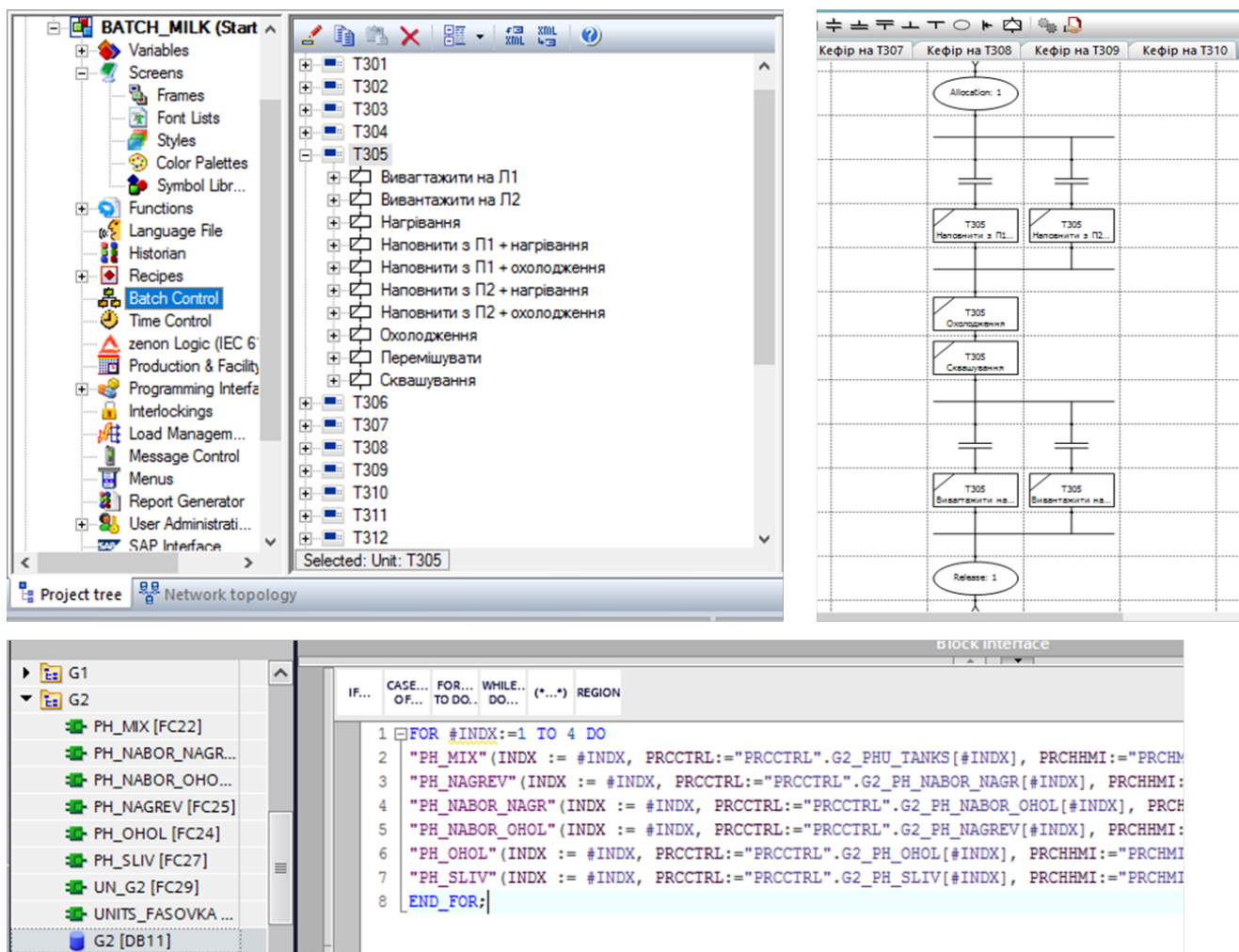


Рис.8. Фрагменти реалізації програмного забезпечення підсистеми ПЛК та SCADA

Основні висновки та результати

У дисертаційній роботі розв'язане науково-технічне завдання підвищення ефективності роботи молочного підприємства за рахунок розробки та впровадження підсистеми ОКП в складі автоматизованої системи управління виробництвом цільномолочної продукції.

Отримані наступні висновки та результати:

1. Проведено системний аналіз ТК виробництва цільномолочних продуктів як об'єкта управління в результаті якого: виділені основні операції приготування цільномолочних продуктів з урахуванням використання типового обладнання для задач планування виробництва; визначені залежності тривалості технологічних операцій від параметрів обладнання та інших факторів.

2. Розроблені інформаційні моделі обладнання та рецептур і принципи використання даних з цих моделей для розрахунку параметрів операцій відповідно до стандартів інтегрованого управління виробництвом ІЕС 61512 та ІЕС 62264, що дозволяє автоматизувати процес створення моделі для ОКП.

3. Вперше розроблені концепції ОКП в складі автоматизованої системи управління виробництва цільномолочної продукції, які базуються на методах RTN та враховують гнучкість виробничих ліній, змінювану

номенклатуру продуктів та можливість оперативної зміни плану, що дозволяє підвищити ефективність роботи технологічного комплексу.

4. Набули подальшого розвитку механізми використання сервісів хмарного обчислення в автоматизованому виробництві, що дозволяє використовувати потужні обчислювальні ресурси для розрахунку складних задач планування та імітаційного моделювання.

5. Набули подальшого розвитку принципи використання імітаційних моделей в складі програми управління, що дозволяє перевірити ефективність розрахованих планів при різних нештатних ситуаціях.

6. Адаптовані до молочного виробництва концепції використання взаємопов'язаного набору рекомендацій, структур даних та програм до розробки прикладного програмного забезпечення для програмованих пристроїв, таких як промислові контролери, але не обмежених ними, з урахуванням типових вимог до систем управління, сучасних світових стандартів (ISA, IEC, ISO) та тенденцій (Industry 4.0, IoT), що дає можливість швидко впроваджувати алгоритмічно складні системи управління для багато-рецептурного виробництва.

7. Вдосконалено структуру автоматизованої системи управління виробництвом цільномолочних продуктів, яка передбачає інтеграцію розробленого модуля ОКП з іншими підсистемами, що дозволяє впровадити їх на підприємствах з існуючими системами АСУТП та MES і формувати ефективні керувальні дії для забезпечення необхідного стану функціонування технологічного об'єкту.

8. Результати роботи використовуються в навчальному процесі кафедри інтегрованих автоматизованих систем управління Національного університету харчових технологій та передані для впровадження на ДТВ «Яготинський маслозавод», що підтверджено відповідними довідками.

СПИСОК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Pupena A., Elperin I., Mirkevich R., Klymenko O. Computer integrated manufacturing: overview of modern standards. Automation of Technological and Business-Processes. 2016. Vol. 3. P. 63–74. *(Здобувачем запропоновано визначення сучасних стандартів для побудови інтегрованих автоматизованих систем управління. Журнал включено до затвердженого МОН переліку наукових фахових видань України з технічних наук; міжнародна індексація: Index Copernicus, Google Scholar, Universal Impact Factor).*

2. Пупена О. М., Міркевич Р. М., Полупан В. В. Використання віртуальних лабораторних робіт з дисципліни «Промислові мережі та інтеграційні технології». Наукові праці Національного університету харчових технологій. 2016. Т. 24. № 4. С. 7-16. *(Здобувачем запропоновано використання імітаційного моделювання на віртуальних машинах реалізованих на імітаторах ПЛК. Журнал включено до затвердженого МОН переліку наукових фахових видань України з технічних наук; міжнародна індексація: Index Copernicus, Google Scholar, Universal Impact Factor).*

3. Пупена О. М., Ельперін І. В., Міркевич Р. М. Сучасні стандарти інтегрованого керування і шляхи їх впровадження в Україні. Наукові праці Національного університету харчових технологій. 2017. Т. 23. № 1. С. 25–41. *(Здобувачем визначені особливості використання стандартів інтегрованого управління на вітчизняних підприємствах. Журнал включено до затвердженого МОН переліку наукових фахових видань України з технічних наук; міжнародна індексація: Index Copernicus, Google Scholar, Universal Impact Factor).*

4. Pupena A., Mirkevich R., Klymenko O., Polupan V. Development of the framework for the controllers of the process base management system to meet the requirements for integration with other subsystems and to implement service functions and diagnostics service. Енергетика і автоматика. 2017. Т. 34. №4. С. 78–89. *(Здобувачем розроблено типові структури та об'єктів для програм ПЛК та SCADA/HMI. Журнал включено до затвердженого МОН переліку наукових фахових видань України з технічних наук; міжнародна індексація: Index Copernicus, Google Scholar).*

5. Міркевич Р. М. Пупена О. М. Оперативно-календарне планування як основа ефективної діяльності сучасних молочних підприємств. Наукові праці Національного університету харчових технологій. 2018. Т. 24. № 4. С. 29–40. *(Здобувачем проведено аналіз підходів та методів оперативно-календарного планування на молочних підприємствах. Журнал включено до затвердженого МОН переліку наукових фахових видань України з технічних наук; міжнародна індексація: Index Copernicus, Google Scholar, Universal Impact Factor).*

6. Миркевич Р. Н., Пупена А. Н. Структура автоматизированной системы управления производством молочной продукции с использованием прогнозирующих моделей. Научни трудове на университет по хранителни технологии – Пловдив. 2015. Т. 62. С. 664-668. *(Здобувачем розроблено структуру автоматизованої системи управління виробництвом молочної продукції. Наукове видання інших країн).*

7. Міркевич, Р. Використання сучасних програмних пакетів для моделювання об'єктів управління при проектуванні технологічних процесів. Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті : програма і матеріали 80 міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, 10–11 квітня 2014 року: тези доповіді. К. НУХТ. 2014. Ч.2. С. 463-464.

8. Міркевич Р. М. Пупена О. М. Передумови розробки MES-систем на молочних виробництвах. Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними комплексами: Міжнародна науково-технічна конференція, м. Київ, 25 листопада 2015 року: тези доповіді. К., 2015. С. 118.

9. Міркевич Р. М. Використання спеціалізованих програмних модулів у складі SCADA систем для управління періодичними процесами в молочної промисловості. Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними

комплексами: Міжнародна науково-технічна конференція, м. Київ, 23 листопада 2016 року: тези доповіді. К., 2016. С. 182.

10. Pupena, O. Mirkevich R., Klymenko O. System process management with implement of diagnostics and service functions. Youth scientific achievements to the 21st century nutrition problem solution: 83 International scientific conference of young scientists and матеріали, 5 - 6 April 2017: Thesis. К. 2017. Р. 2. Р. 55.

11. Пупена О.М. Міркевич Р. М. Автоматизація промислового теплотехнічного обладнання в концепції Індустрії 4.0. Проблеми теплофізики та теплоенергетики : Х Міжнародна конференція, 23–26 травня 2017 року: тези доповіді. Київ, 2017.

АНОТАЦІЯ

Міркевич Р.М. Автоматизоване управління виробництвом молочних продуктів з підсистемою оперативно-календарного планування.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 «Автоматизація процесів керування». – Національний університет харчових технологій Міністерства освіти і науки України, Київ, 2019.

Дисертація присвячена питанням підвищення ефективності функціонування технологічного комплексу виробництва цільномолочних продуктів. В результаті проведеного аналізу технологічного процесу, обладнання в складі технологічного комплексу та особливостей функціонування системи вцілому, виявлена необхідність доповнення системи управління підсистемою ОКП з метою координації роботи обладнання в межах технологічного комплексу. Для розв'язання поставлених задач використовувались методи та підходи математичного програмування та теорії розкладів, імітаційного моделювання, сучасні інформаційні технології та сервіси хмарного обчислення в автоматизованих системах управління виробництвом.

Розроблені концепції ОКП для інтегрованого виробництва цільномолочної продукції з урахуванням гнучких виробничих ліній, змінюваної номенклатури продуктів та з можливістю оперативної зміни плану на основі підходів RTN (ресурсно-задачні мережі). Вдосконалено структуру інтегрованої автоматизованої системи управління молочним виробництвом з урахуванням сучасних стандартів управління виробництвом. В результаті теоретичних та експериментальних досліджень розроблено структуру, алгоритмічне та програмне забезпечення автоматизованої системи управління виробництвом молочних продуктів з модулем оперативно-календарного планування.

Ключові слова: цільномолочне виробництво, оперативно-календарне планування, автоматизована система, MES/MOM, інтегроване виробництво, RTN/STN, імітаційне моделювання, математичне програмування.

АННОТАЦИЯ

Миркевич Р.М. Автоматизированное управление производством молочных продуктов с подсистемой оперативно-календарного планирования.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 «Автоматизация процессов управления». - Национальный университет пищевых технологий Министерства образования и науки Украины, Киев, 2019.

Диссертация посвящена вопросам повышения эффективности функционирования технологического комплекса производства цельномолочных продуктов. В результате проведенного анализа технологического процесса, оборудования в составе комплекса и особенностей функционирования системы в целом, выявлена необходимость дополнения системы управления подсистемой ОКП с целью координации работы оборудования в пределах комплекса. Для решения поставленных задач использовались методы и подходы математического программирования и теории расписаний, имитационного моделирования, современные информационные технологии и сервисы облачного вычисления в автоматизированных системах управления производством.

Разработанные концепции ОКП для интегрированного производства цельномолочной продукции на основе гибких производственных линий, изменяемой номенклатуры продуктов и с возможностью оперативного изменения плана на основе подходов RTN (ресурсно-задачные сети). Усовершенствована структура интегрированной автоматизированной системы управления молочным производством с учетом современных стандартов управления производством. В результате теоретических и экспериментальных исследований разработана структура, алгоритмическое и программное обеспечение автоматизированной системы управления производством молочных продуктов с модулем оперативно-календарного планирования.

Ключевые слова: цельномолочная производство, оперативно-календарное планирование, автоматизированная система, MES/MOM, интегрированное производство, RTN/STN, имитационное моделирование, математическое программирование.

ABSTRACT

Mirkevich R.M. Automated production control of dairy products with the short-term scheduling subsystem.

Dissertation for obtaining Ph. D. (candidate of technical sciences) by specialty 05.13.07 – automation of control processes. – The National University of Food Technologies of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2019.

The dissertation is devoted to questions of increasing the technological complex of whole milk products production functioning efficiency. As the analysis result of the technological process, the equipment within the technological complex and the system's operation features as a whole, the need to supplement the control system with the short-term scheduling module with the aim of coordinating the work of equipment within the technological complex has been identified. To solve the set

tasks, methods and approaches of mathematical programming and the theory of schedules, simulation modeling, modern information technologies and cloud computing services in automated production control systems were used.

The principles of short-term scheduling for the whole milk products integrated production are developed, taking into account flexible production lines, changing product range and the possibility of operational change of the plan based on RTN methods (resource-task networks), which ensures the coordination of equipment within the technological complex, and ensures achievement of the delivered optimality criterion. The formulation and solving of the linear programming task for the creation of short-term scheduling mathematical model is carried out on the basis of which the calculation of the schedule of the production shop of whole milk products equipment work is carried out.

The structure of the integrated automated milk production control system has been improved by including in it the developed short-term scheduling module taking into account modern standards of production control.

Were further developed the use of the data from the recipe and equipment models in accordance with the standards of integrated production control IEC 61512 and IEC 62264 for calculating the parameters of operations, which allows you to automate the process of creating a model for short-term scheduling, as well as the principles of using the simulation models in the control program, which allows to check the effectiveness of calculated plans for various abnormal situations. The concept of using an interconnected set of recommendations, data structures and applications to the development of software applications for programmable devices such as industrial controllers, but not limited to them, taking into account typical requirements for control systems, current world standards and trends is developed further.

As a result of theoretical and experimental researches, the structure, algorithmic and software implementations for the automated milk production control system with the short-term scheduling module were developed.

The obtained results can be used in the design, development and implementation of new, or in improving existing automation systems of technological complexes for the production of whole milk products.

The results of the work are used in the educational process of the Department of Integrated Automated Control Systems of the National University of Food Technologies and transferred for implementation on Superadded liability company «Yagotinskiy Dairy Plant», which is confirmed by the relevant certificates.

Keywords: whole milk production, short-term scheduling, automated system, MES/MOM, integrated production, RTN/STN, simulation modeling, mathematical programming.