

1. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ

1.1. Опис процесу гранулювання та зневоднення в псевдозрідженому шарі

Псевдозрідження – це процес перетворення шару сипучого матеріалу у псевдогомогенну систему під дією потоку крапельної рідини (або газу) – зріджуючого агента. Псевдозріджений шар – це стан дисперсної системи, при якому тверді частинки у межах шару стають «завислими» (як рідкі частинки у загальній масі рідини), а шар в цілому має основні властивості рідини: спроможний текти, переливатися, в ньому майже відсутнє внутрішнє тертя.

Промислове застосування методу псевдозрідження обумовлене його численними перевагами. В об'ємі псевдозрідженого шару відбувається інтенсивне перемішування твердої фази, що призводить до практичного вирівнювання температур та концентрацій, завдяки чому усувається небезпека локального перегрівання, що спотворює протікання технологічного процесу і погіршує якість продукту. Також, апарати із псевдозрідженим шаром мають відносно просту будову, непогано піддаються механізації та автоматизації.

Утворення гранул у псевдозрідженому шарі для всіх випадків використання вихідних речовин можна представити у наступному вигляді. На псевдозріджений шар, що складається з твердих часток, напильюється через форсунки диспергована рідка фаза. Тверда фаза, що міститься у краплях, відкладається на частках, а рідина випаровується за рахунок фізичного тепла зріджуючого газу. Об'єм шару підтримується постійним за рахунок безперервного вивантаження готових гранул.

Для дослідження обрано головне відділення процесу гранулювання термолабільних речовин у псевдозрідженому шарі, структурна схема якого зображена на рис. 1.1.

У гранулятор із псевдозрідженим шаром 1 через пристрій для введення подається вихідний розчин сульфату амонію, що розпилюється у корпус гранулятора через форсунку, а також, з бункера попереднього збереження 2

завантажуються частки – центри гранулювання. Знизу до гранулятора 1 надходить теплоносіє – повітря, що попередньо нагрівається у калорифері 5. З його допомогою у грануляторі встановлюється необхідний динамічний режим руху часток. Відпрацьоване у процесі повітря надходить у циклон 4 для очищення від пилу та домішок. Через пристрій 3 готовий продукт вивантажується на склад.

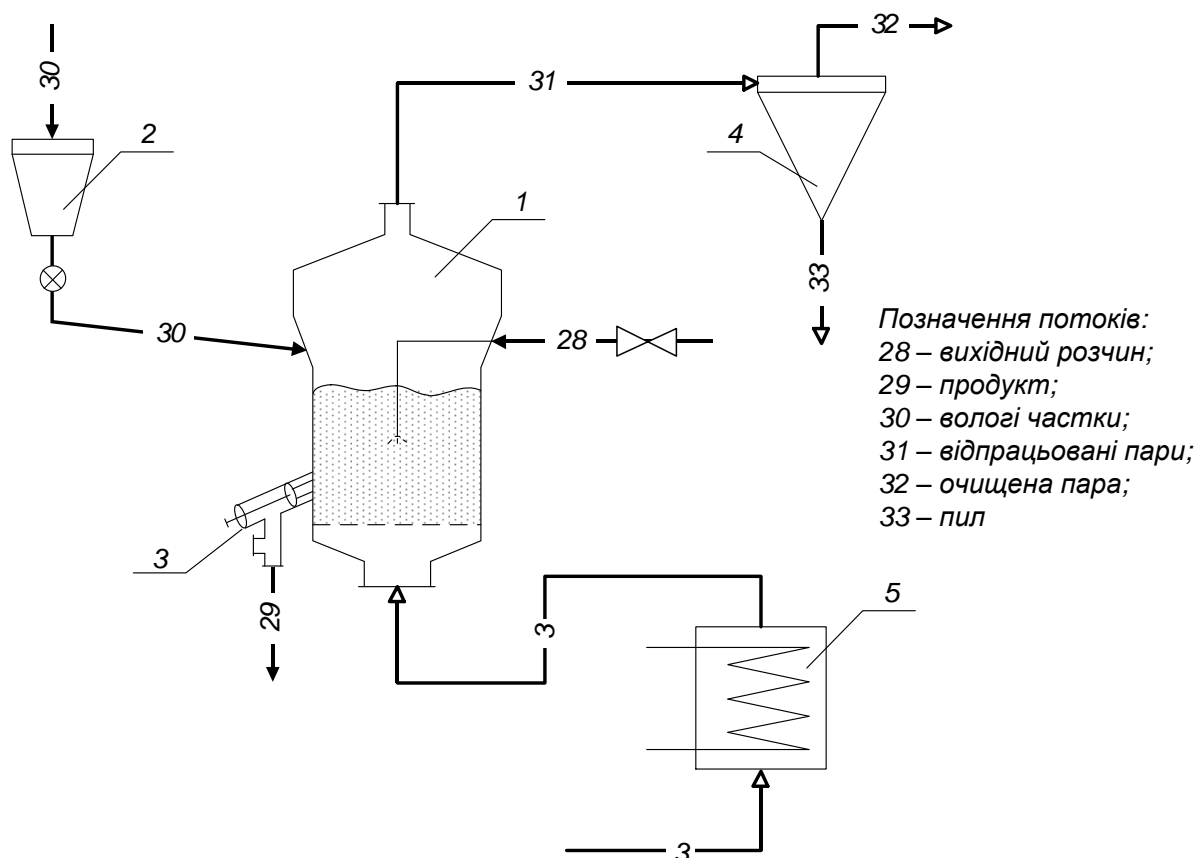


Рис. 1.1. Структурна схема процесу гранулювання термолабільних речовин у псевдозрідженому шарі:

1 – гранулятор, 2 – бункер, 3 – пристрій для вивантаження готового продукту, 4 – циклон, 5 - калорифер.

Сучасний розвиток техніки сушіння матеріалів в значній мірі пов'язано із застосуванням високих температур, а в ряді випадків і вологостей сушильного агента, або потужних променистих потоків при сушінні радіацією, так як це дає можливість інтенсифікувати процес сушіння матеріалів. Проте ефективне управління швидкоплинними процесами сушіння неможливо без застосування автоматичного регулювання та керування. При ручному регулюванні в цих випадках неможливо здійснити

точну підтримку високих температур сушильного агента або випромінюючої поверхні в заданих межах, Тому неминучі хоча б короточасні перевищення заданої температури, а це часто призводить до псування сушимо матеріалу і зводить нанівець всі переваги сушки або застосування високих параметрів сушильного агента.

Характерною особливістю таких сушарок є мала теплова інерція і пов'язані з цим великі швидкості зміни параметрів, що часто робить неможливим управління процесом вручну. Температура в киплячому шарі досить точно характеризує кінцеву вологість матеріалу, так що, регулюючи температуру шару, можна забезпечити необхідну значення показника ефективності. На практиці здійснюють два способи регулювання температури шару: зміною завантаження вологого матеріалу і зміною витрати сушильного агента. При використанні першого способу може автоматично збільшитися продуктивність сушарки (в разі зменшення початкової вологості матеріалу). Проте в цьому випадку між сушаркою і попереднім технологічним апаратом повинен бути поміщений проміжний бункер, що небажано, а часто і просто неприпустимо (через тенденцію вологого матеріалу до свobodовиникнення і зависання в бункері). Схема автоматичного керування роботою такої сушарки включає в себе вузли регулювання співвідношення витрат палива та первинного повітря, температури сушильного агента на вході в сушарку, витрати сушильного агента, температури киплячого шару, рівня киплячого шару і розрідження в сушарці.

1.2. Аналіз технологічних об'єктів керування гранулятора для створення експертної системи

Основними факторами, що впливають на процес грануляції, є: початкові властивості розчину сульфату амонію, центрів гранулювання, температура гріючої пари, що подається в гранулятор, тривалість процесу в грануляторі, якість сировини (гранулометричний склад), вологість.

Для забезпечення максимального виходу цільових продуктів і мінімальної кількості побічних, а також досягнення високих техніко-економічних показників процесу, потрібно дотримуватись наступних технологічних параметрів:

- концентрація розчину сульфату амонію на вході повинна бути в межах 75-80%, що визначає якість гранульованого продукту на виході;
- гранулометричний склад часток-центрів гранулювання має відповідати нормам, щоб забезпечити адекватне протікання процесу;
- витрата грійної пари має бути в межах 320-350 м³/год, а температура - 550-600°C, що забезпечить необхідний гранулометричний склад готового продукту;

На рис. 1.2 зображено структурно-параметричну схему для установки.

					ЛА61м.02.РГР.00.001ПЗ	Арк.
						7
Зм	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

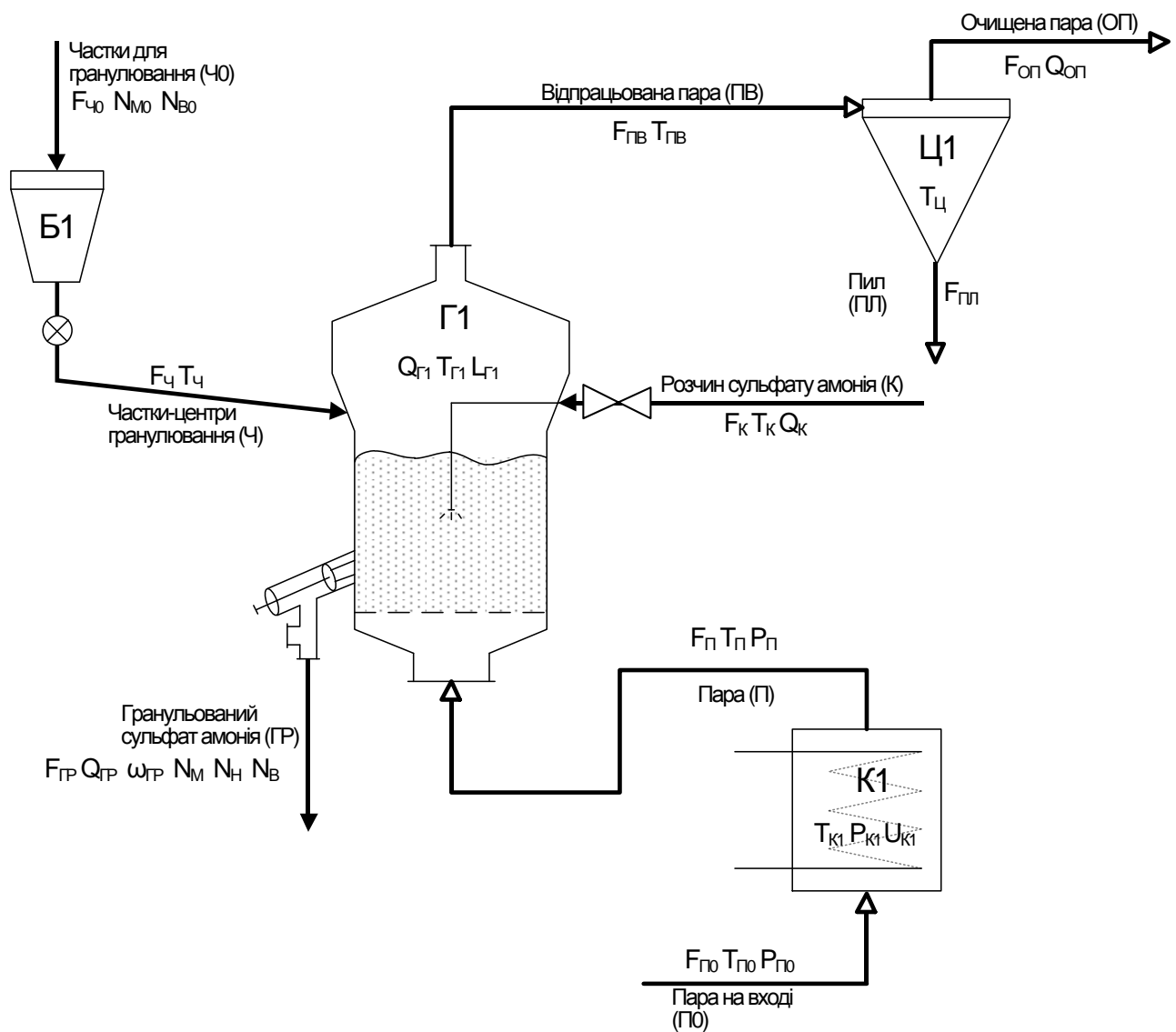


Рис. 1.2. Структурно-параметрична схема відділення грануляції у псевдозрідженому шарі:

Г1 – гранулятор, Б1 – бункер, Ц1 – циклон, К1 - калорифер.

2. СТВОРЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ БАЗИ ЗНАНЬ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАЛЬНОГО ТА ПРОГНОЗУВАЛЬНОГО ТИПІВ

2.1. Створення бази даних для аналізу станів об'єктів установки для гранулювання і зневоднення у псевдозрідженому шарі

Базу даних для аналізу станів об'єктів відділення для гранулювання і зневоднення у псевдозрідженому шарі наведено у додатку 1.

Основною задачею створення бази знань є врахування усіх можливих факторів впливу на процес для подальшого їх аналізу і вибору найбільш суттєвих, а також для можливості створення експертної системи та системи нечіткого керування. З метою формалізації процесу отримання знань у роботі було використано спеціальний алгоритм аналізу технологічних змінних і можливих аварійних ситуацій [2].

2.2 Формування дерева аварійних ситуацій з рекомендаціями по їх усуненню

До аварійних ситуацій в процесі гранулювання у псевдозрідженому шарі слід віднести брак продукції, тобто вихід вологості готового продукту за максимально допустиме значення; недостатню продуктивність процесу, тобто зниження відсотку готової продукції нормального розміру, а також вибух у калорифері.

Використовуючи перелік аварійних ситуацій, їхні причини і наслідки, було побудовано дерево аварійних ситуацій, можливих у досліджуваному процесі.

Дерево аварійних ситуацій з рекомендаціями по їх усуненню наведено у додатку 2. Отримане дерево можна використовувати для розв'язання задач прогнозування та діагностування.

2.3. Обґрунтування вибору найбільш інформативних технологічних змінних для аналізу аварійних ситуацій

При виборі треба керуватися способом вимірювання (він повинен бути автоматичним), імовірністю аварії, яка може статися в результаті виходу змінної за припустимі межі, а також важкістю її наслідків.

У даній розрахунковій роботі наслідком аварії є невідповідність вологості гранульованого сульфату амонію необхідному значенню, а також недостатня продуктивність процесу, тобто замалий вихід цільової фракції готового продукту. До найбільш інформативних технологічних змінних для аналізу аварійних ситуацій слід віднести наступні:

- концентрація сульфату амонію у вихідному розчині
- температура в грануляторі
- витрата грійної пари на виході з калорифера
- вологість гранульованого сульфату амонію

3. СТВОРЕННЯ НЕЧІТКОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

3.1. Обґрунтування для створення нечіткої системи керування, визначення її структури

Для створення нечіткої системи керування було вибрано керування вологістю гранульованого сульфату амонію $\omega_{\text{гр}}$. Керуючим впливом є витрата пари на вході в гранулятор $F_{\text{п}}$.

Фрагмент схеми автоматизації з вказаним контуром керування наведено на рисунку 3.1.

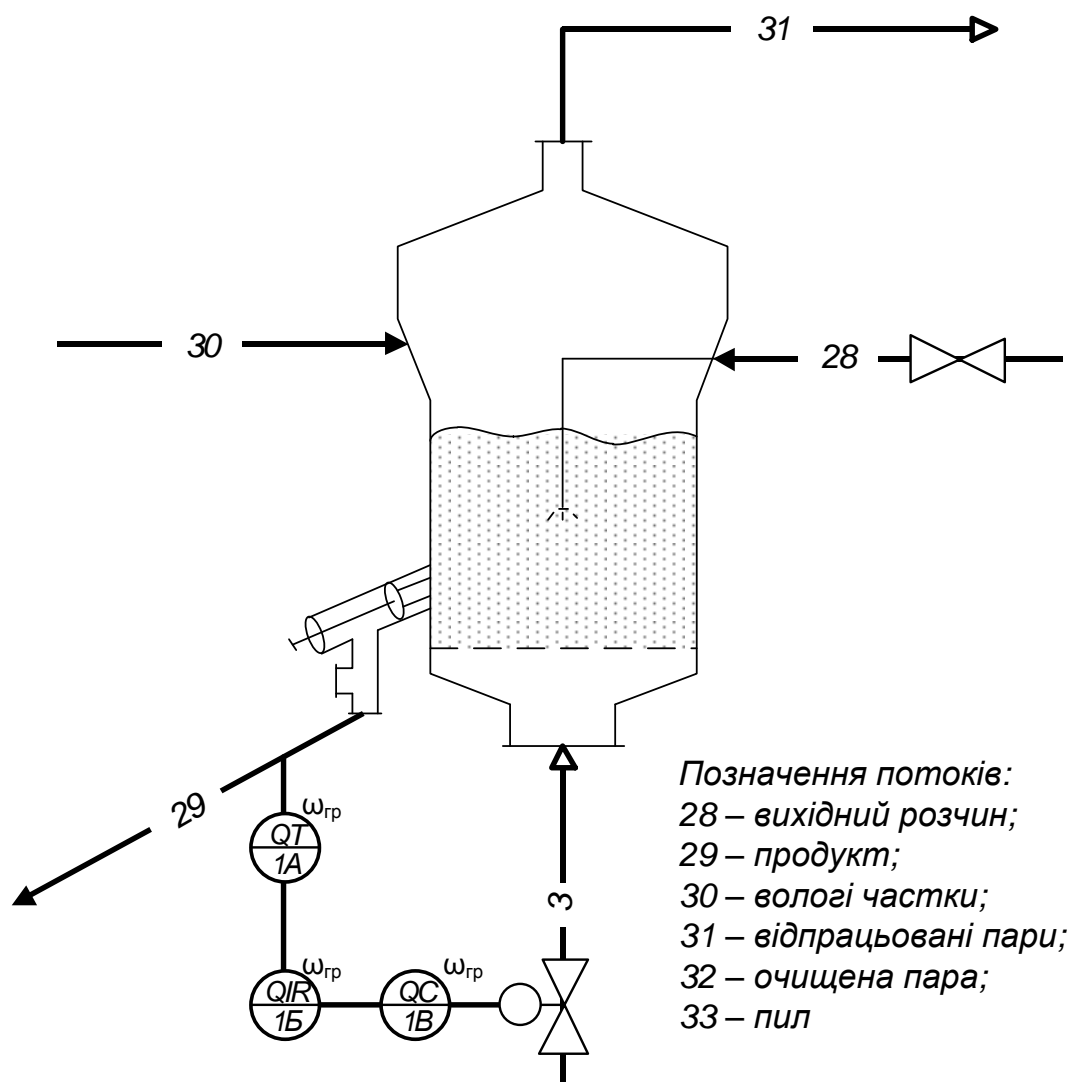


Рис. 3.1. Фрагмент схеми автоматизації з контуром керування вологістю гранульованого сульфату амонію на виході з гранулятора

3.2. Вибір та опис лінгвістичних змінних

Для керування визначимо дві лінгвістичні змінні: $\omega_{ГР}$ – вологість гранульованого сульфату амонію на виході з гранулятора, $F_{П}$ – витрата пари. Універсум вологості $\omega_{ГР} = 0,9 \dots 3,8 \%$, універсум витрати пари $F_{П} = 200 \dots 500$ м³/год. Терми, які визначають ці змінні «низька», «середня», «висока».

Опишемо їх:

Лінгвістична змінна: $\omega_{ГР}$ Вологість; Низька
Середня; $0,9 < \omega_{ГР} \leq 3,8$
Висока

Лінгвістична змінна: $F_{П}$ Витрата пари; Низька
Середня; $200 < F_{П} \leq 500$
Висока

Сформуємо функції належності для лінгвістичної змінної Вологість. На рисунках 3.2 – 3.4 наведені функції належності для термів: «низька», «середня», «висока» відповідно.

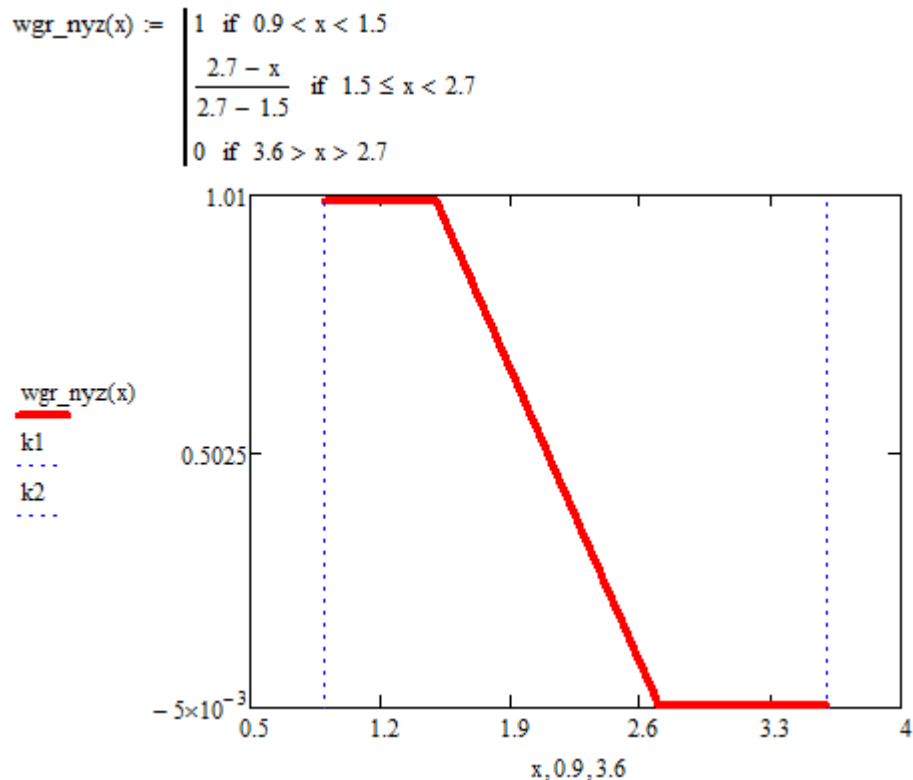


Рис. 3.2. Документ MathCAD із функцією належності для терму Вологість «низька»

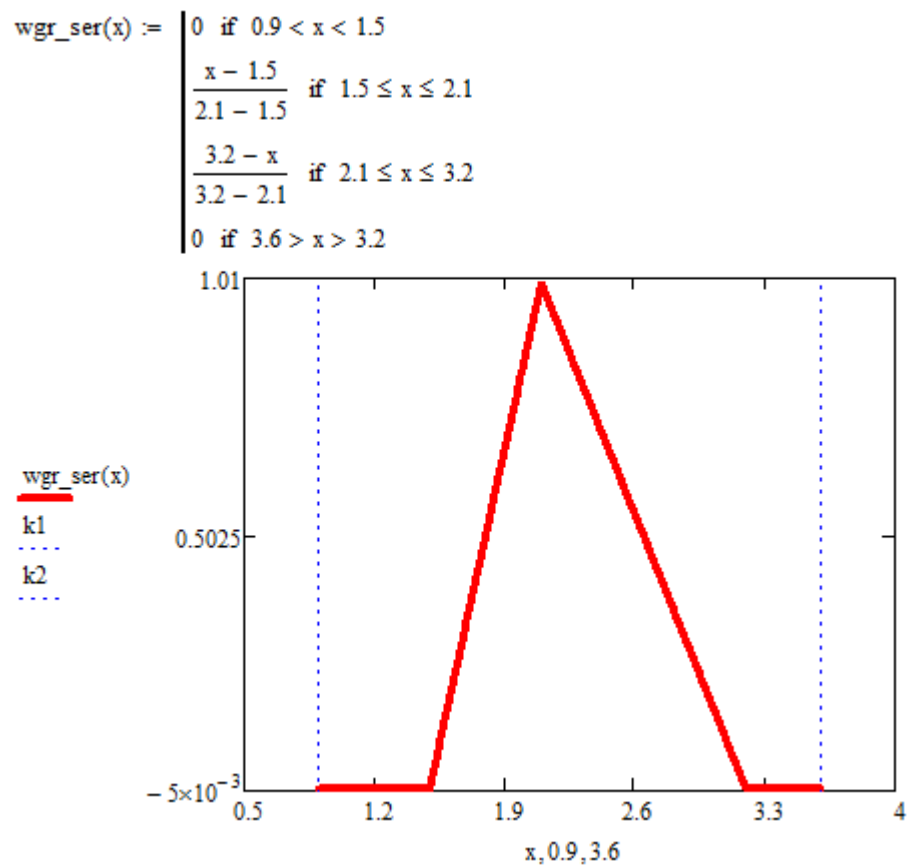


Рис. 3.3. Документ MathCAD із функцією належності для терму Вологість «середня»

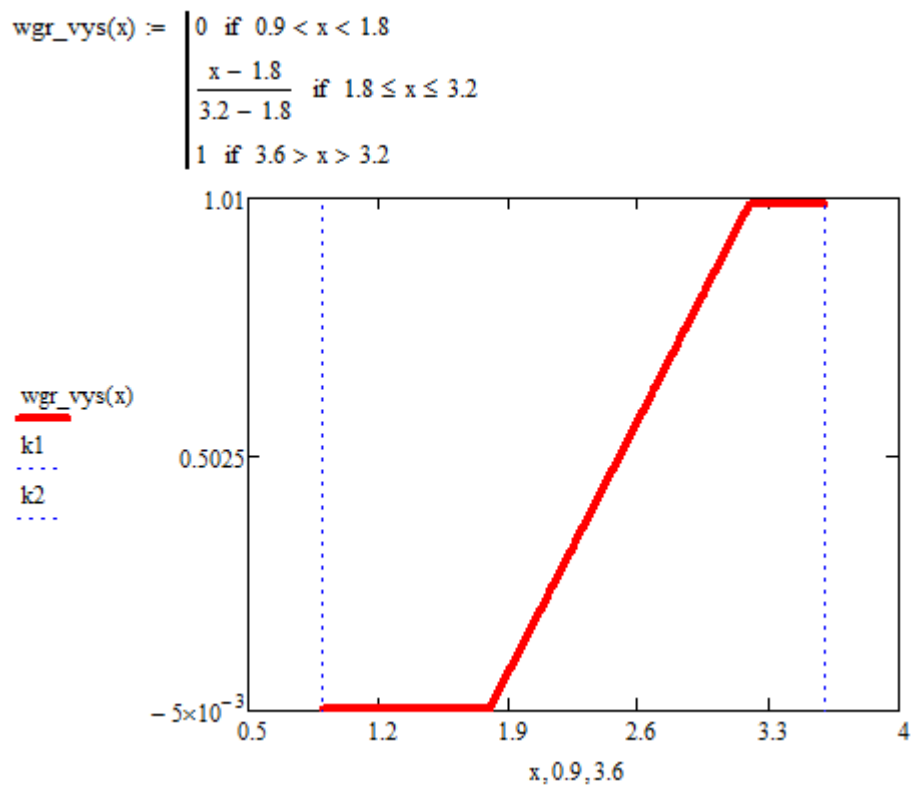


Рис. 3.4. Документ MathCAD із функцією належності для терму Вологість «висока»

На рис. 3.5 зображено документ MathCAD, у якому наведено функції належності для всіх термів змінної Вологість.

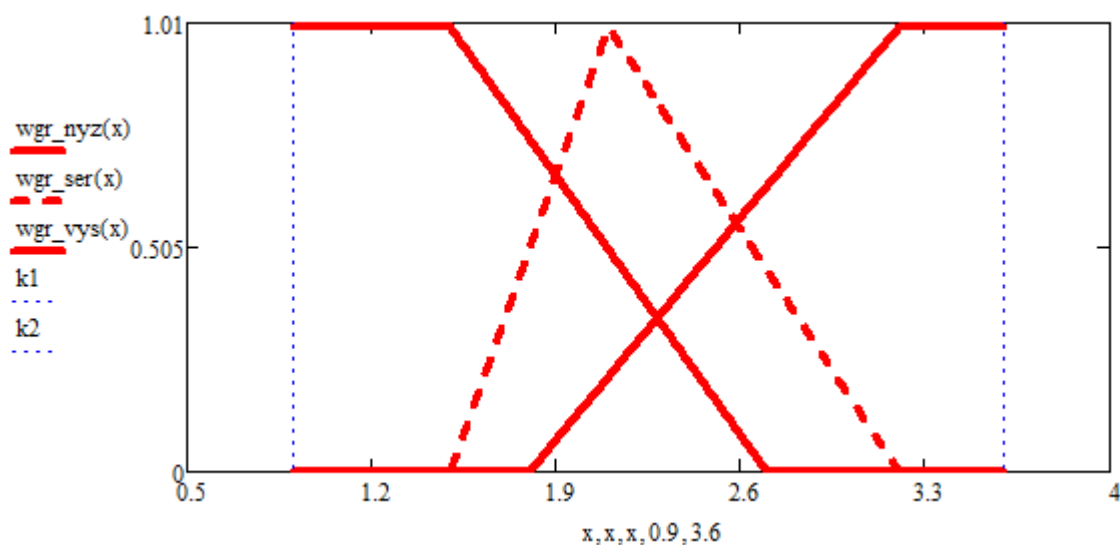


Рис. 3.5. Документ MathCAD із функцією належності для всіх термів змінної Вологість.

Сформуємо функції належності для лінгвістичної змінної Витрата пари. На рисунках 3.6 – 3.8 наведені функції належності для термів: «низька», «середня», «висока» відповідно.

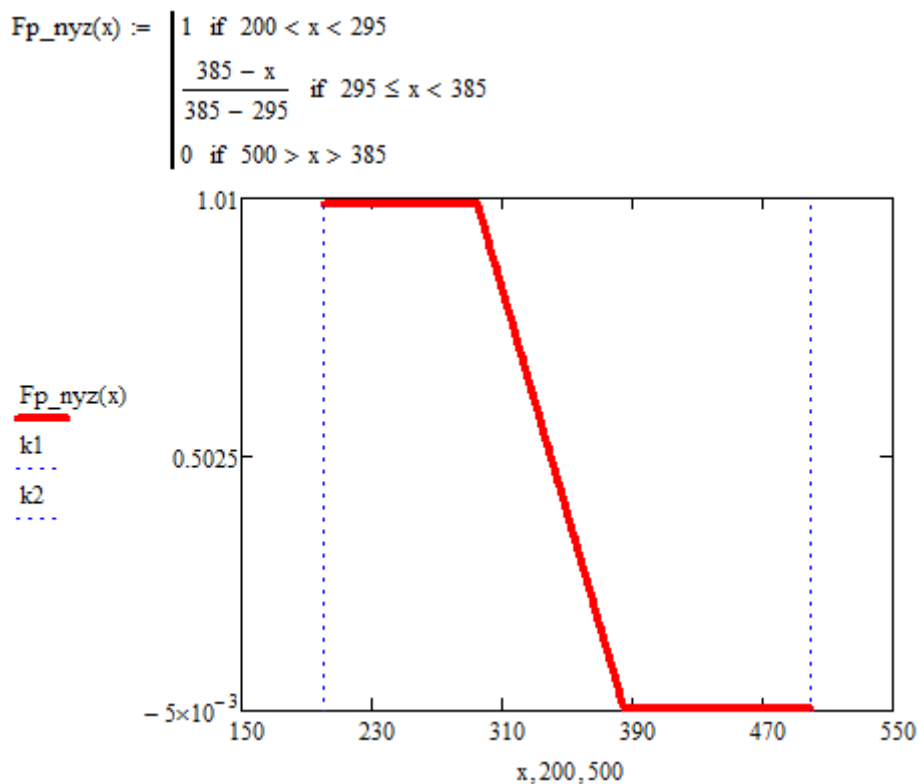


Рис. 3.6. Документ MathCAD із функцією належності для терму Витрата пари «низька»

$$Fp_ser(x) := \begin{cases} 0 & \text{if } 200 < x < 260 \\ \frac{x - 260}{325 - 260} & \text{if } 260 \leq x \leq 325 \\ \frac{460 - x}{460 - 325} & \text{if } 325 \leq x \leq 460 \\ 0 & \text{if } 500 > x > 460 \end{cases}$$

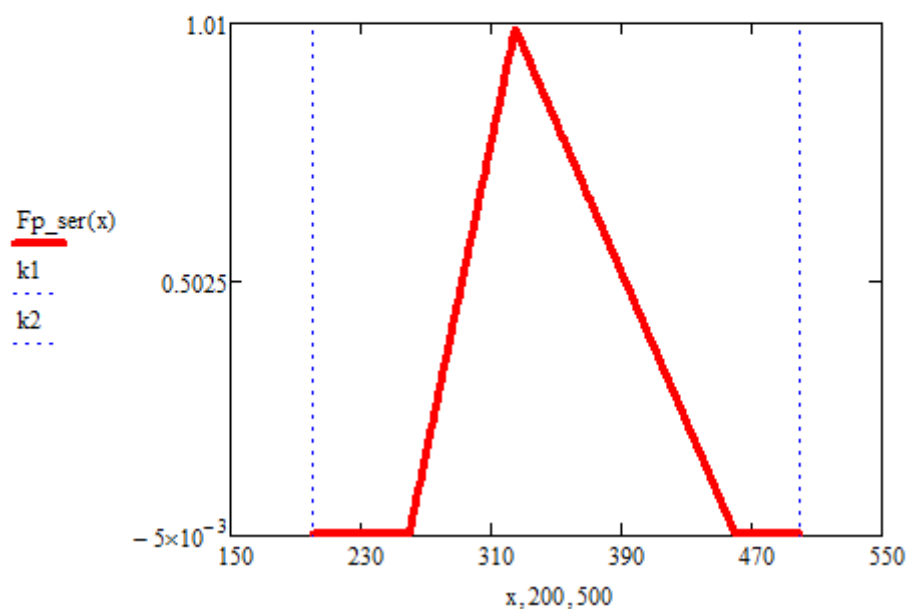


Рис. 3.7. Документ MathCAD із функцією належності для терму Витрата пари «середня»

$$Fp_vys(x) := \begin{cases} 0 & \text{if } 200 < x < 325 \\ \frac{x - 325}{440 - 325} & \text{if } 325 \leq x \leq 440 \\ 1 & \text{if } 500 > x > 440 \end{cases}$$

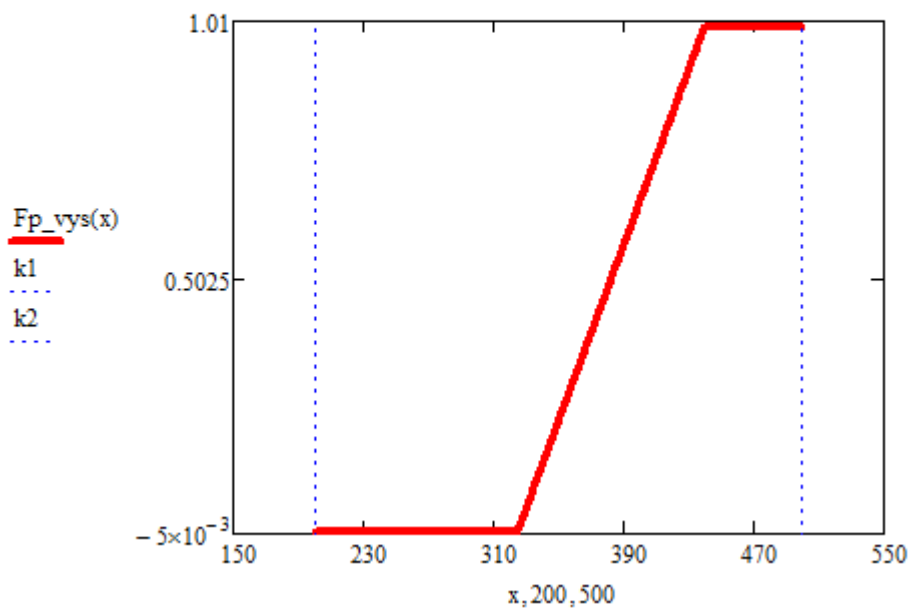


Рис. 3.8. Документ MathCAD із функцією належності для терму Витрата пари «висока»

На рис. 3.9. зображено документ MathCAD, у якому наведено функції належності для всіх термів змінної Витрата пари.

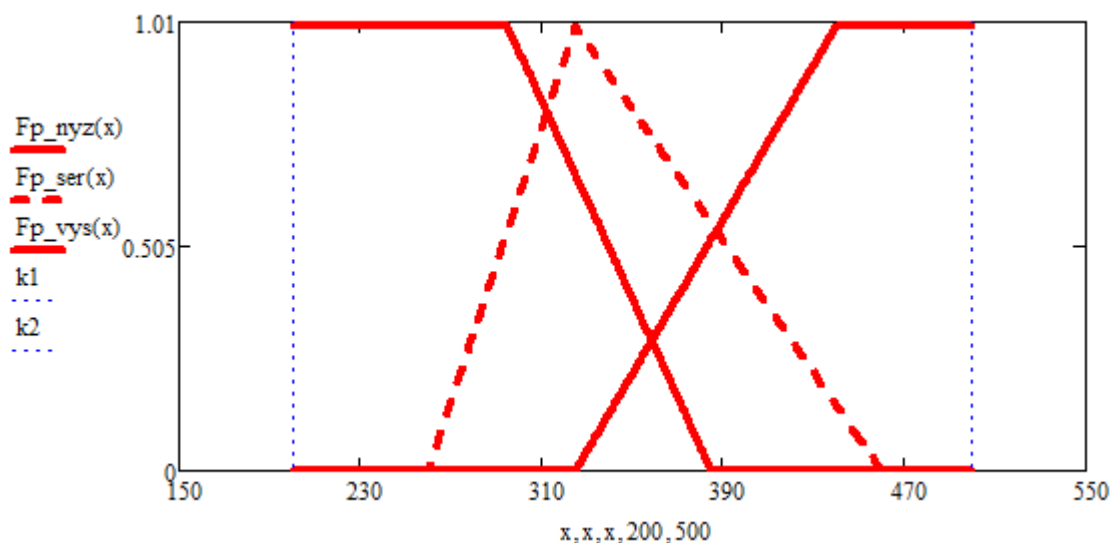


Рис. 3.9. Документ MathCAD із функцією належності для всіх термів змінної Витрата пари

3.3. Розробка продукційних правил нечіткої системи керування

Сформуємо нечіткі правила керування.

ЯКЩО Вологість гранульованого сульфату амонію на виході з гранулятора "низька", **ТО** Витрата грійної пари "низька".

ЯКЩО Вологість гранульованого сульфату амонію на виході з гранулятора "середня", **ТО** Витрата грійної пари "середня".

ЯКЩО Вологість гранульованого сульфату амонію на виході з гранулятора "висока", **ТО** Витрата грійної пари "висока".

3.4. Створення нечіткої математичної моделі об'єкта керування

Припустимо, що вологість гранульованого сульфату амонію $\omega_{гр} = 2,1 \%$.

Знайдемо ступінь входження цього значення $\omega_{гр}$ у кожен i -й терм, $\mu(2,1)_i$:

для терму «низька» ступінь входження $\mu(2,1)_{nyz} = 0,5$;

для терму «середня» ступінь входження $\mu(2,1)_{ser} = 1$;

для терму «висока» ступінь входження $\mu(2,1)_{vys} = 0,214$;

Урахування ступенів входження у ліві частини правил потребує модифікації правих частин правил. Для цього можна використати методи об'єднання та підсумовування з модифікаціями правил методом добутку та мінімуму.

На рис. 3.10 наведено документ MathCAD з прикладом розрахунку керуючого впливу (витрати грійної пари) при вологості гранульованого сульфату амонію 2,1 %, а також побудовано фігуру – результат застосування **методу добутку** при модифікації правих частин правил та **методу об'єднання** при суперпозиції нечітких множин. А також за допомогою розрахунку центра ваги фігури визначено значення витрати грійної пари на вході в гранулятор, при вологості гранульованого сульфату амонію $\omega_{\text{гп}} = 2,1 \%$.

При розрахунку були використані наступні умовні позначення:

nyz - ступінь входження 2,1 % для терму «низька» витрата пари;

ser - ступінь входження 2,1 % для терму «середня» витрата пари;

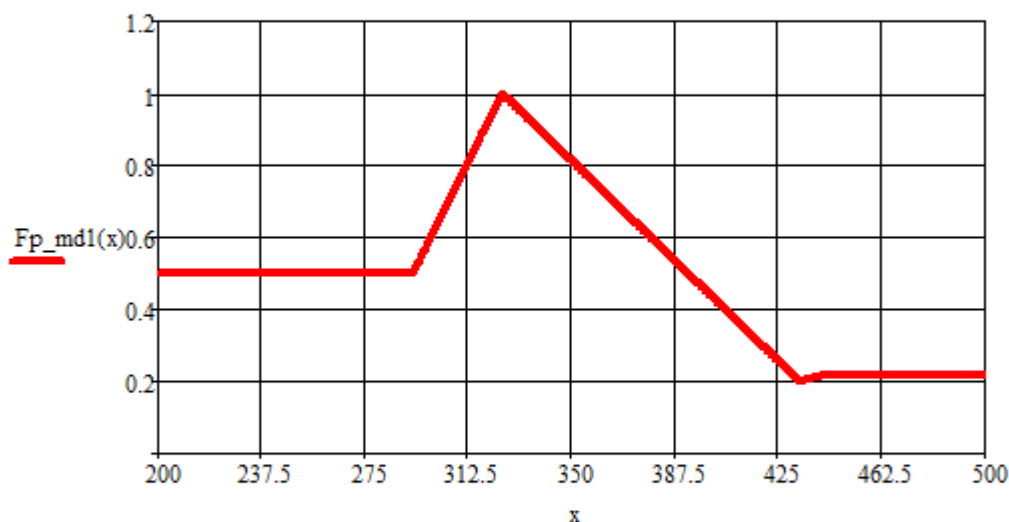
vys - ступінь входження 2,1 % для терму «висока» витрата пари;

$$Fp_nyz_md(x) := Fp_nyz(x) \cdot nyz$$

$$Fp_ser_md(x) := Fp_ser(x) \cdot ser$$

$$Fp_vys_md(x) := Fp_vys(x) \cdot vys$$

$$Fp_md1(x) := \max(Fp_nyz_md(x), Fp_ser_md(x), Fp_vys_md(x))$$

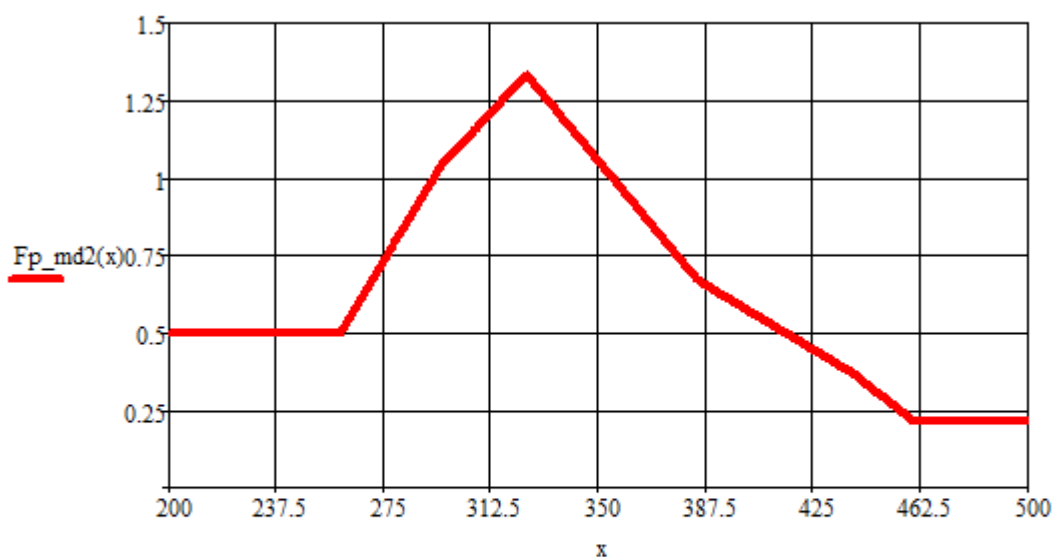


$$Fpmd1 := \frac{\int_{200}^{500} x \cdot Fp_md1(x) dx}{\int_{200}^{500} Fp_md1(x) dx} \quad Fpmd1 = 330.036$$

Рис. 3.10. Документ MathCAD з результатом застосування методів об'єднання та добутку для визначення витрати пари при $\omega_{\text{гп}} = 2,1 \%$ і розрахунок значення витрати пари, яке відповідає цій вологості.

На рис. 3.11 наведено документ MathCAD з прикладом розрахунку керуючого впливу при вологості гранульованого сульфату амонію $\omega_{\text{гр}} = 2,1 \%$ і побудовано фігуру – результат застосування **методу добутку** при модифікації правих частин правил та **методу підсумовування** при суперпозиції нечітких множин. За допомогою розрахунку центра ваги фігури визначено значення витрати пари, яке відповідає вологості гранульованого сульфату амонію на виході з гранулятора 2,1 %.

$$Fp_md2(x) := Fp_nyz_md(x) + Fp_ser_md(x) + Fp_vys_md(x)$$



$$Fpmd2 := \frac{\int_{200}^{500} x \cdot Fp_md2(x) \, dx}{\int_{200}^{500} Fp_md2(x) \, dx} \quad Fpmd2 = 332.492$$

Рис. 3.11. Документ MathCAD з результатом застосування методів підсумовування та добутку для визначення витрати пари на вході гранулятор при $\omega_{\text{гр}} = 2,1 \%$ і розрахунок значення витрати пари, яке відповідає цій вологості

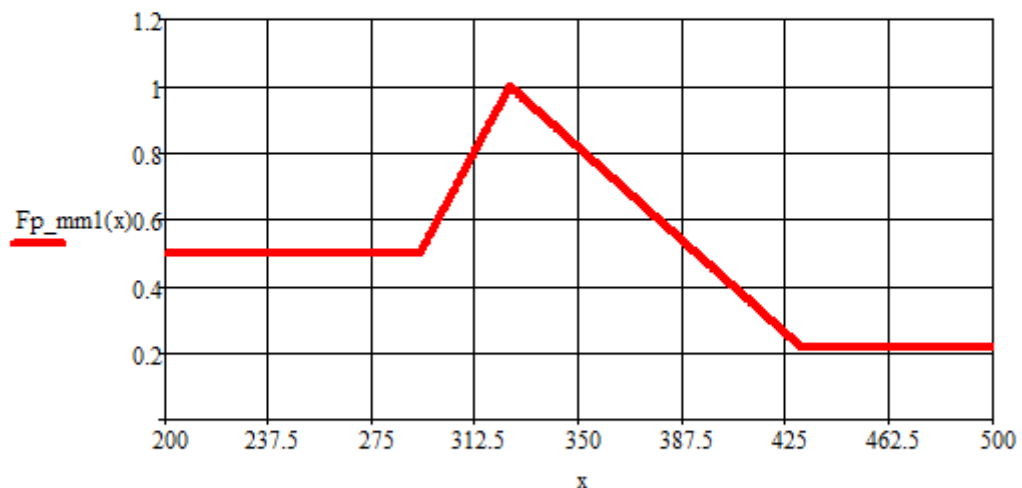
На рис. 3.12 наведено документ MathCAD з прикладом розрахунку керуючого впливу при вологості гранульованого сульфату амонію $\omega_{\text{гр}} = 2,1 \%$, і побудовано фігуру – результат застосування **методу мінімуму** при модифікації правих частин правил та **методу об'єднання** при суперпозиції нечітких множин. А також, використовуючи розрахунок центра ваги фігури, визначено значення витрати пари, яке відповідає вологості гранульованого сульфату амонію на виході з гранулятора 2,1 %.

$$Fp_nyz_mm(x) := \begin{cases} Fp_nyz(x) & \text{if } Fp_nyz(x) \leq nyz \\ nyz & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Fp_ser_mm(x) := \begin{cases} Fp_ser(x) & \text{if } Fp_ser(x) \leq ser \\ ser & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Fp_vys_mm(x) := \begin{cases} Fp_vys(x) & \text{if } Fp_vys(x) \leq vys \\ vys & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Fp_mm1(x) := \max(Fp_nyz_mm(x), Fp_ser_mm(x), Fp_vys_mm(x))$$

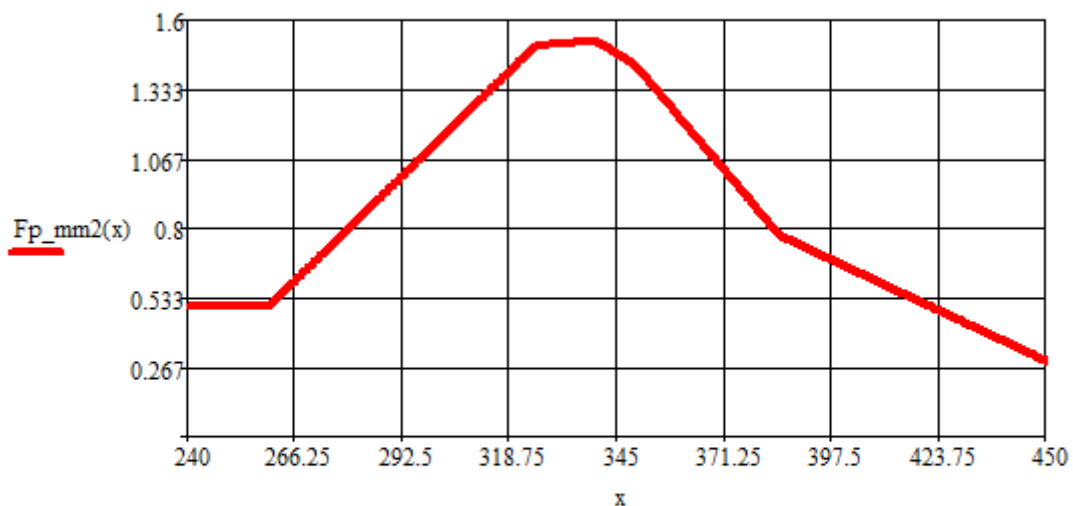


$$Fpmm1 := \frac{\int_{200}^{500} x \cdot Fp_mm1(x) \, dx}{\int_{200}^{500} Fp_mm1(x) \, dx} \quad Fpmm1 = 330.094$$

Рис. 3.12. Документ MathCAD з результатом застосування методів об'єднання та мінімуму для визначення витрати пари на вході гранулятор при $\omega_{гр} = 2,1 \%$ і розрахунок значення витрати пари, яке відповідає цій вологості

На рис. 3.13 наведено документ MathCAD з прикладом розрахунку керуючого впливу вологості гранульованого сульфату амонію $\omega_{гр} = 2,1 \%$, і побудовано фігуру – результат застосування **методу мінімуму** при модифікації правих частин правил та **методу підсумовування** при суперпозиції нечітких множин. А також, за допомогою розрахунку центра ваги фігури, визначено значення витрати пари, яке відповідає вологості гранульованого сульфату амонію на виході з гранулятора 0,21 %.

$$Fp_mm2(x) := Fp_nyz_mm(x) + Fp_ser_mm(x) + Fp_vys_mm(x)$$



$$Fpmm2 := \frac{\int_{200}^{500} x \cdot Fp_mm2(x) \, dx}{\int_{200}^{500} Fp_mm2(x) \, dx} \quad Fpmd2 = 332.492$$

Рис. 3.13. Документ MathCAD з результатом застосування методів підсумовування та мінімуму для визначення витрати пари на вході гранулятор при $\omega_{гр} = 2,1 \%$ і розрахунок значення витрати пари, яке відповідає цій вологості

3.5. Результати реалізації нечітких моделі та системи засобами MatLab

Результат реалізації НчАСК засобами програми MatLab подано у вигляді вікон такого виду:

- схема НчАСК (рисунок 3.14),
- редактор функцій належності для вхідних і керувальних змінних (рисунок 3.15, рисунок 3.16),
- редактора правил продукції після їх визначення (рисунок 3.17),
- перегляд результату використання правил продукції (рисунок 3.18),
- перегляд поверхні нечіткого висновку (рисунок 3.19)

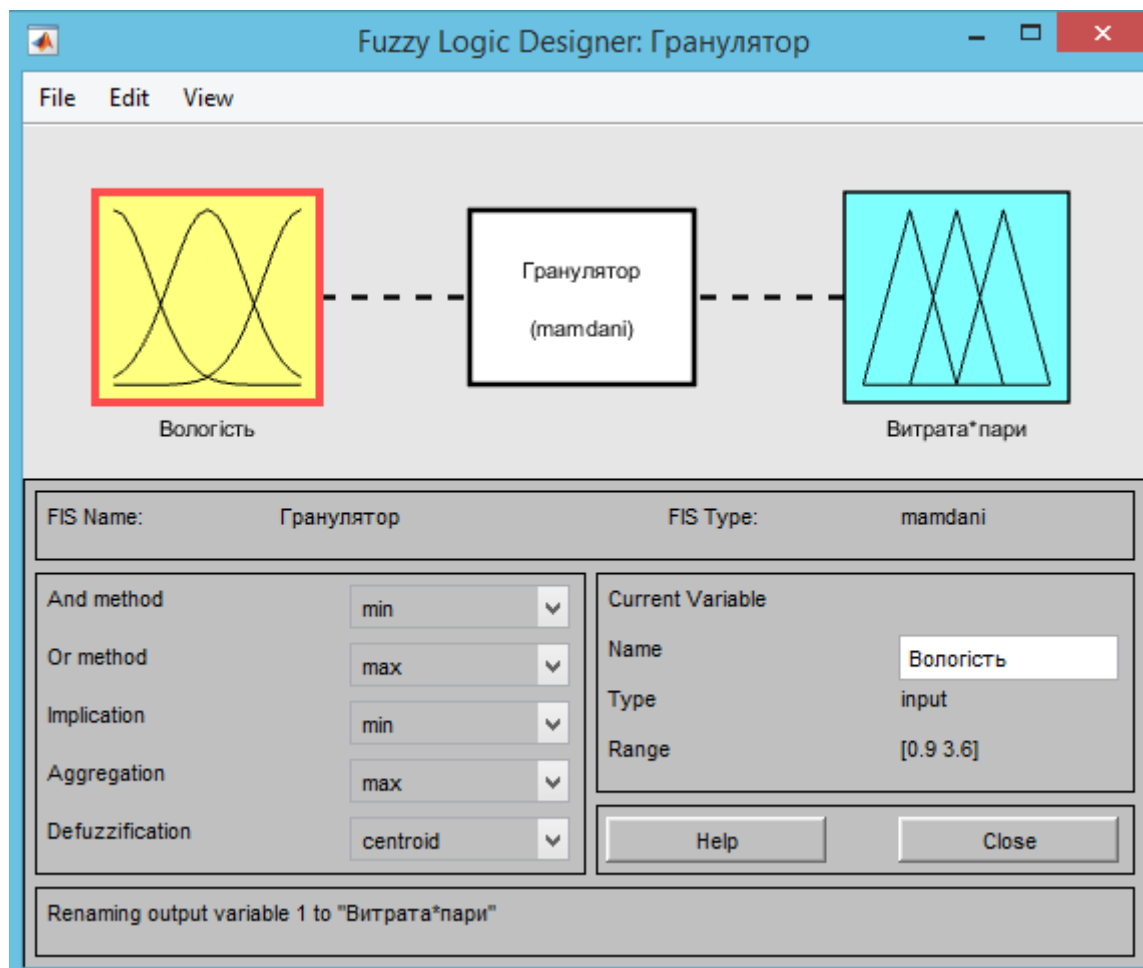


Рис. 3.14. Схема НчАСК

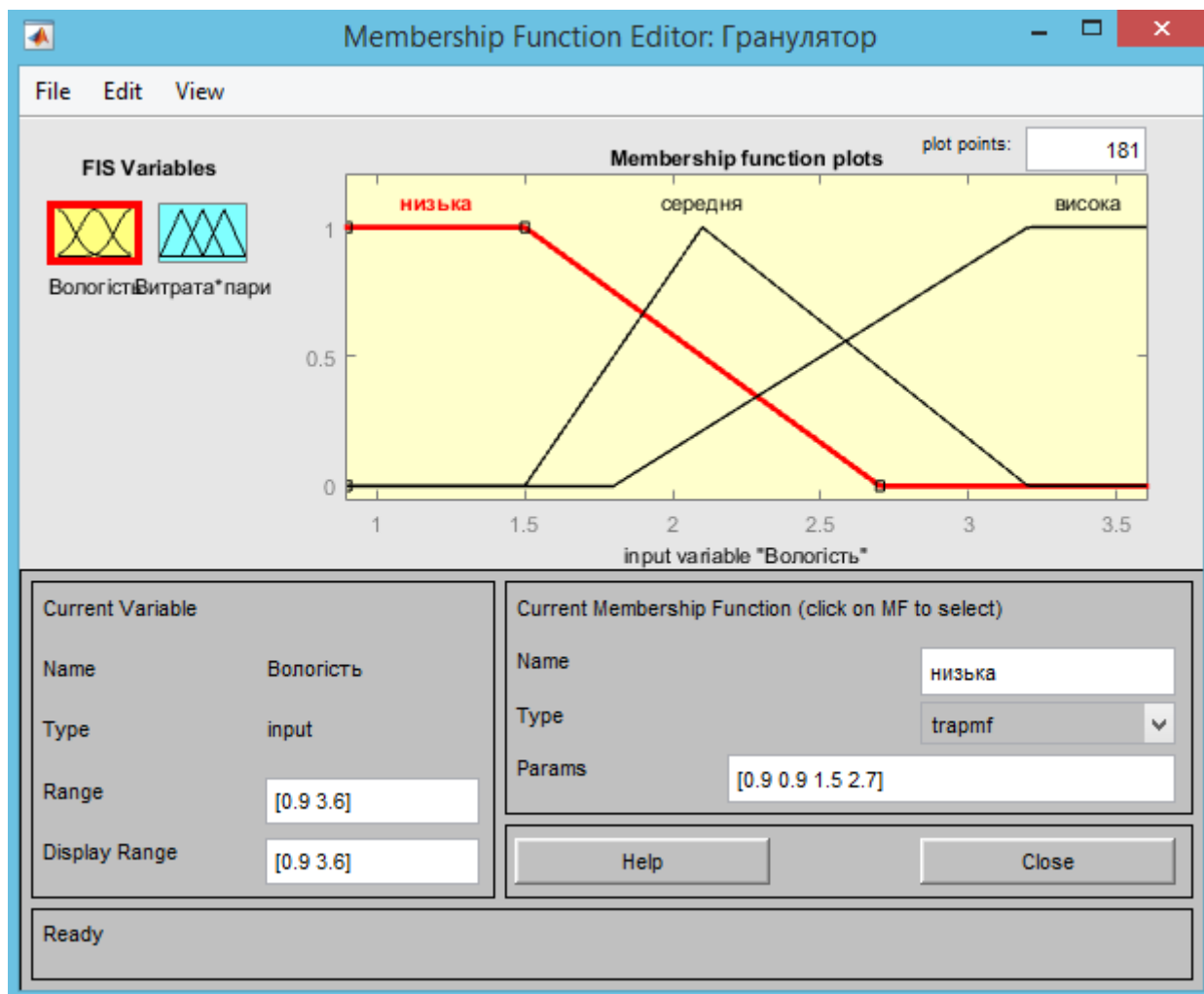


Рис. 3.15. Вікно редактора функцій належності для вхідної змінної

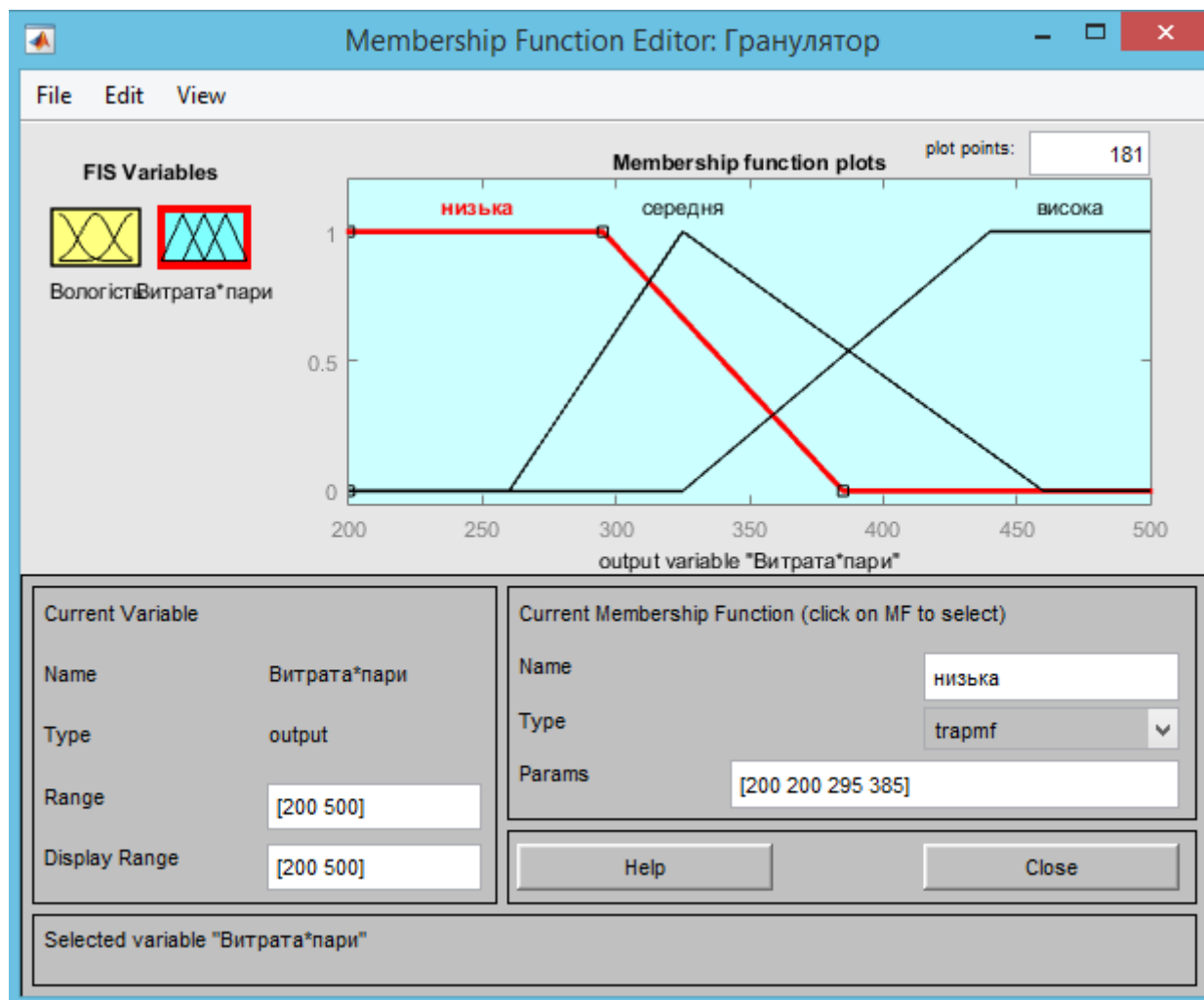


Рис. 3.16. Вікно редактора функцій належності для вихідної змінної

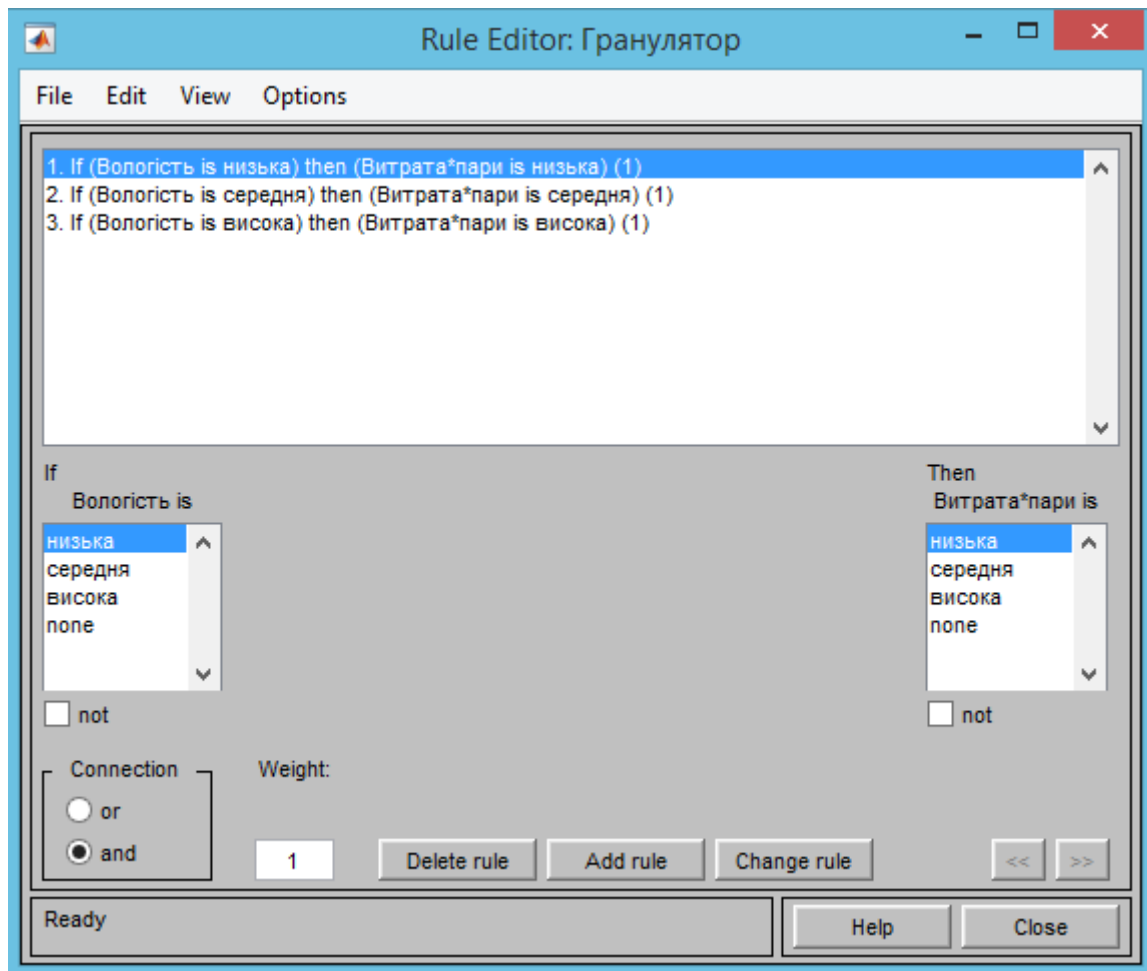


Рис. 3.17. Вікно редактора правил продукції після їх визначення

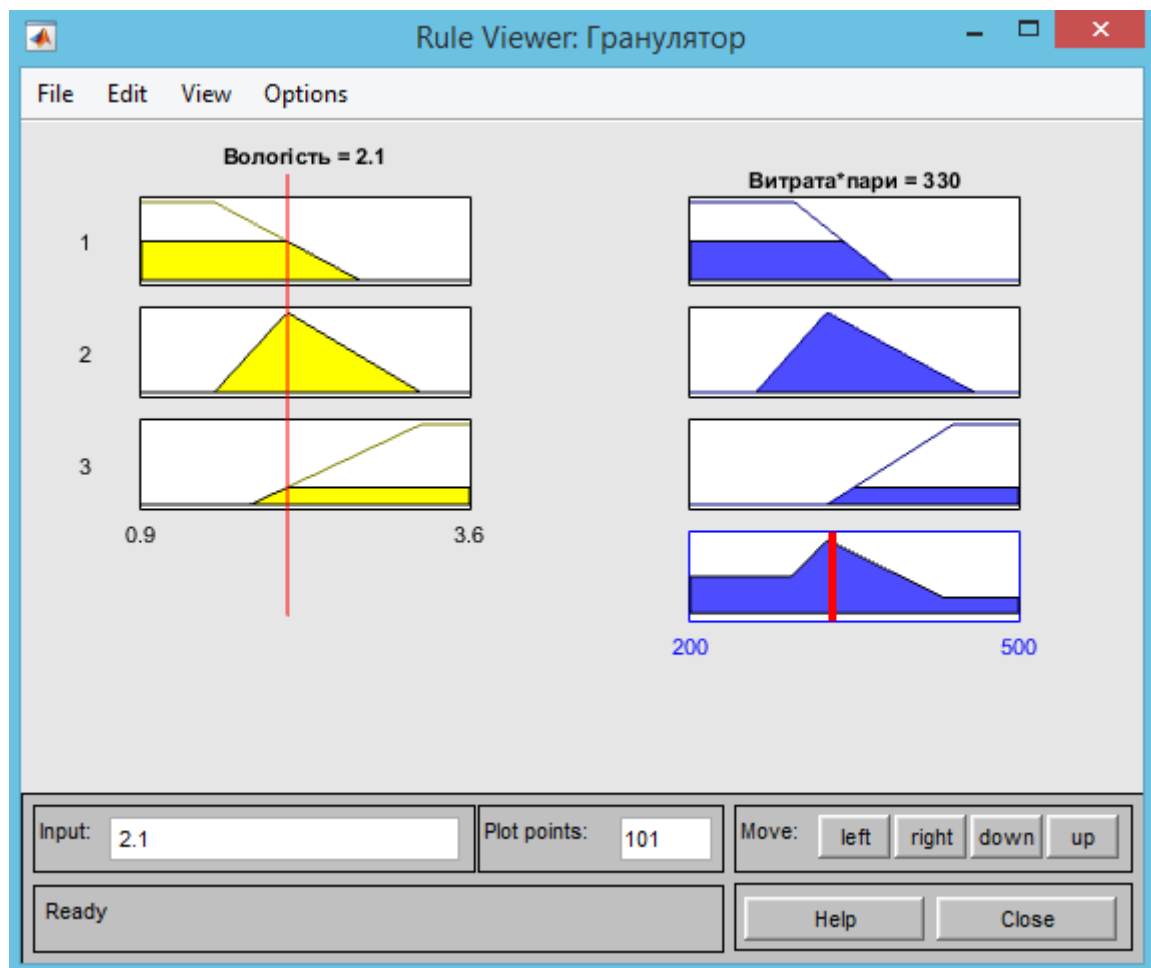


Рис. 3.18. Вікно перегляду результату використання правил продукції

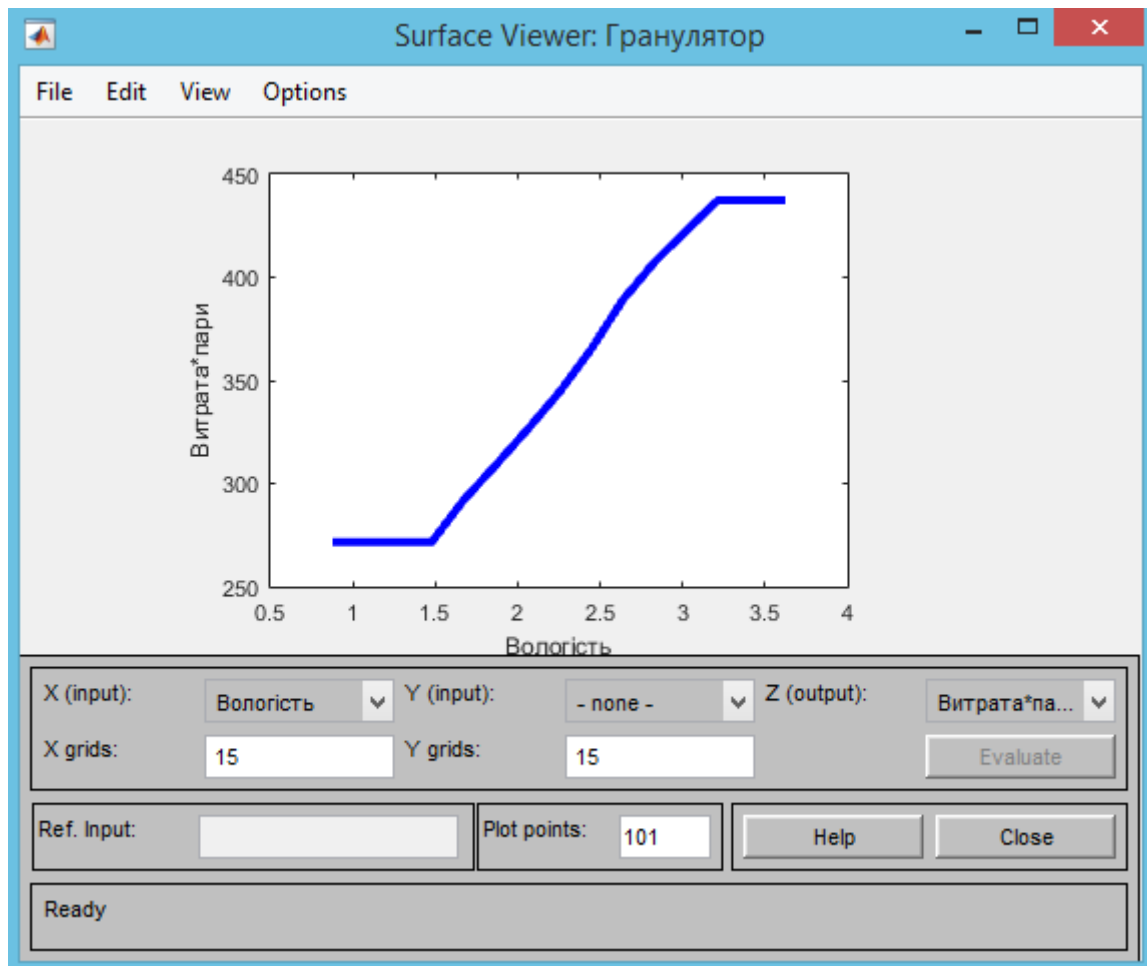


Рис. 3.19. Вікно перегляду поверхні нечіткого висновку

Список використаної літератури

1. Корнієнко Я. М., Сачок Р. В. Процес гранулоутворення мінерально-гумінових добрив: монографія. [Електронний ресурс] / Корнієнко Я. М., Сачок Р. В. – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 158 с.: іл. – Бібліогр.: с. 92–96. – Режим доступу: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/6906>, вільний. – Загол. з екрана. – Мова укр.
2. Технології штучного інтелекту – 2. Інтелектуальні системи управління та Експертні методи в автоматизованих системах управління – 2. Спеціальні розділи автоматизації хімічних виробництв: Формування баз знань для створення експертних та нечітких систем: Метод. вказівки до викон. розрахункових робіт для студ. спеціальності "автоматизоване управління технологічними процесами" / Уклад.: Л. Д. Ярощук. – К. : НТУУ "КПІ", 2012. – 60 С.
3. Конспект лекцій з курсу «Інтелектуальні системи управління»