

МОДЕЛЮВАННЯ КОЛИВАННЯ ТИСКУ ВАКУУМНОЇ СИСТЕМИ ДОЇЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Дмитрів В.Т., д.т.н., Дмитрів І.В., к.т.н.

Львівський національний аграрний університет

Розглянуто питання моделювання характеристик динамічного коливання вакууму у вакуумпроводі, використовуючи теорію незалежних подій з врахуванням конструкції вакуумпроводу. Наведено оцінку імовірності появи незалежної події використовуючи теорему Пуассона, оцінено імовірність одночасності збігу тактів і фаз роботи пульсаторів одночасно працюючих доїльних апаратів на основі рівняння повної імовірності. Розроблено аналітичну залежність коливання амплітуди вакуумметричного тиску на ділянці вакуумпроводу. Приведено аналіз амплітудно-частотного коливання тиску у вакуумній системі доїльної установки. Із збільшенням кількості одночасно працюючих доїльних апаратів пда імовірність збігу та кількість доїльних апаратів, в яких збігаються фази і такти, зростає. Аналіз результатів моделювання показує, що із збільшенням кількості доїльних апаратів амплітуда коливань вакуумметричного тиску зростає, а із збільшенням діаметра вакуумпроводу амплітуда коливань тиску зменшується.

Постановка проблеми та завдання дослідження. Аналіз і класифікація найхарактерніших технологічних схем молоко-вакуумних систем свідчать про невідповідність технологічних параметрів вакуумпровідних ліній фізіологічним вимогам доїння. До технологічних параметрів пневмовакуумної системи ставлять жорсткі вимоги, а саме: коливання вакуумметричного тиску – амплітуда і частота, стабільність вакуумметричного тиску за довжиною вакуум- і молокопроводу – втрати вакуумметричного тиску, динамічність відтворення робочого вакуумметричного тиску в процесі машинного доїння корів. Зазначені параметри регламентовані стандартами України і міжнародними стандартами [1-6]. Ці технологічні параметри безпосередньо впливають на інтенсивність молоковіддачі корови, тривалість доїння та біологічний стан вимені – на захворюваність маститами.

Тому дослідження амплітуди частоти коливання тиску у вакуумній системі доїльної установки в залежності від кількості одночасно працюючих доїльних апаратів дозволить узгодити конструкційно-технологічні параметри пневмовакуумної системи і зменшити витрати енергії на технологічний процес машинного доїння корів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Оцінку стабільності вакуумметричного тиску залежно від способу регулювання у вакуумпроводі або безпосередньо в доїльному апараті здійснювала група дослідників [7]. Порівнювали роботу типового регулятора тиску й автоматизованого, з мікропроцесорним регулюванням та частотою обертання вакуумного насоса за

допомогою системи VSD-контролера. Дослідники відзначають, що стабілізація вакууму регулятором гравітаційного типу є динамічніша, постійна часу удвічі нижча від автоматизованої системи.

Зокрема, типовий регулятор витрачає на відновлення стабільного тиску в середньому 1,69 с, тоді як система VSD-контролером – 3,75 с. Витрати потужності на привід вакуумного насоса під час роботи насоса на номінальному режимі з використанням системи VSD-регулювання вакууму на 24-56 % нижчі, ніж за використання традиційного регулятора [7].

Досліджували коливання вакуумметричного тиску залежно від: а) конфігурації вакуумної і молокопроводної систем (довжина трубопроводів, їх діаметр та інші параметри, що впливають на втрати тиску); б) швидкості потоку молока в молокопроводі; в) швидкості руху повітря у вакуумпроводі [8]. Із зменшенням інтенсивності молоковіддачі вакуумметричний тиск зростає як у вакуум- і молокопроводі, так і в піддійковій камері доїльних стаканів. Абсолютна максимальна амплітуда коливань вакуумметричного тиску становить $\Delta p_{\max} = 5$ кПа [8].

На коливання вакуумметричного тиску у вакуумній системі впливають динамічні характеристики роботи елементів доїльного апарата, і зокрема тривалість відкачування і наповнення повітрям камер змінного тиску і їх об'єми, що підтверджено дослідженнями [9-16].

Отже кількість повітря, що надійде у вакуумпровід вакуумної системи, залежить від кількості одночасно працюючих доїльних апаратів, збігу в часі такту і фази роботи пульсаторів. При такому збігу імпульс спаду вакуумметричного тиску (імпульс абсолютного тиску) буде максимальним, а тривалість цього імпульсу – мінімальною.

Мета дослідження. Метою дослідження є розроблення математичної моделі впливу кількості одночасно працюючих доїльних апаратів, їх збігу в часі такту і фази роботи пульсаторів на амплітуду коливання тиску у вакуумній системі доїльної установки.

Виклад основного матеріалу дослідження. Про моделюємо характеристику динамічного коливання вакууму у вакуумпроводі, використовуючи теорію незалежних подій з урахуванням конструкції вакуумпроводу (діаметра і довжини вакуумпроводу).

Для оцінки імовірності появи незалежної події застосуємо теорему Пуассона, при цьому виключаємо одночасність збігу тактів і фаз роботи пульсаторів одночасно працюючих доїльних апаратів, що імовірність появи події $P(N_{\text{нод}}) \rightarrow 0$, а також завжди працює хоча б один доїльний апарат, відповідно $P(N_{\text{нод}}) \neq 0$. Скористаємось математичними залежностями теореми Пуассона і рівнянням повної імовірності [17, 18].

Імовірність одночасності збігу фаз і тактів роботи доїльних апаратів розрахуємо за формулою:

$$P(N_{\text{нод}}) = P(N_{\text{нод}}^+) \cdot P(N_{\text{нод}}^-), \quad (1)$$

де $P(N_{n\partial a}^+) = \frac{a_1^{N_{n\partial a}}}{N_{n\partial a}^+} \cdot e^{-a_1}$ – імовірність одночасності і збігу фаз і тактів роботи доїльних апаратів згідно теореми Пуассона [17];

$P(N_{n\partial a}^-) = \frac{a_2^{N_{n\partial a}}}{N_{n\partial a}^-} \cdot e^{-a_2}$ – імовірність неодночасності і незбіжності фаз і тактів роботи доїльних апаратів згідно теореми Пуассона [17];

$a_1 = n_{\partial a} \cdot p(n_{\partial a}^+)$, $a_2 = n_{\partial a} \cdot p(n_{\partial a}^-)$;

$n_{\partial a}$ – кількість одночасно працюючих доїльних апаратів, шт.;

$N_{n\partial a}^+$ – кількість одночасно працюючих доїльних апаратів, у яких збігаються в часі такти і фази роботи пульсаторів, шт.;

$N_{n\partial a}^-$ – кількість одночасно працюючих доїльних апаратів, у яких не збігаються в часі такти і фази роботи пульсаторів, шт.;

$p(n_{\partial a}^+)$ – імовірність того, що збігаються в часі такти і фази роботи пульсаторів за $N_{n\partial a}^+$ одночасно працюючих доїльних апаратів, $p(n_{\partial a}^+) = N_{n\partial a}^+ / n_{\partial a}$;

$p(n_{\partial a}^-)$ – імовірність того, що не збігаються в часі такти і фази роботи пульсаторів за $N_{n\partial a}^-$ одночасно працюючих доїльних апаратів, $p(n_{\partial a}^-) = N_{n\partial a}^- / n_{\partial a}$.

Розрахунок імовірності збігу фаз і тактів роботи пульсаторів при $n_{\partial a}$ одночасно працюючих доїльних апаратів наведено в табл.

Для моделювання динамічної характеристики зміни вакуумметричного тиску у вакуумпроводі доїльної установки використовуємо зміну кількості повітря у вакуумпроводі. Залежно від типу і марки доїльного апарата, конструкційних параметрів вакуумпроводу, коливання вакуумметричного тиску розраховуємо за формулою, скориставшись рівнянням стану повітря в заданому об'ємі. Кількість повітря на ділянці вакуумпроводу зміниться в часі залежно від кількості одночасно працюючих доїльних апаратів, у яких фази і такти роботи пульсаторів збігаються в часі.

Аналіз результатів моделювання (табл.) показує, що найвища імовірність збігу фаз і тактів роботи пульсаторів за $n_{\partial a} = 4-8$ одночасно працюючих доїльних апаратів. Тоді кількість збігів фаз і тактів роботи пульсаторів буде в $N_{n\partial a}^+ = 3-5$ доїльних апаратів, відповідно імовірність збігу становитиме від $P(N_{n\partial a}^+) = 0,885294$ до $P(N_{n\partial a}^+) = 0,95773$. Слід зауважити, що із збільшенням кількості одночасно працюючих доїльних апаратів $n_{\partial a}$ імовірність збігу та кількість доїльних апаратів, в яких збігаються фази і такти, зростає.

Розрахуємо амплітуду коливання вакуумметричного тиску у вакуумпроводі на ділянці до диференціального регулятора вакууму за формулою:

$$\Delta p_{ВП} = \frac{R_{П} \cdot \Theta \cdot (G_{ВП} + G + G \cdot (N_{n\partial a}^+ - 1) \cdot P(N_{n\partial a}^+))}{V_{ВП}}, \quad (2)$$

де $G_{ВП}$, G – кількість повітря, що знаходиться у вакуумпроводі і об'ємах змінного вакуумметричного тиску доїльного апарата, розраховується за рівнянням, приведеними в [10], кг;

$V_{ВП}$ – об’єм вакуумпроводу доїльної установки, розраховується згідно конструкційних розмірів для конкретної марки доїльної установки, м³.

Таблиця 1 – Імовірність збігу фаз і тактів роботи пульсаторів при $n_{да}$ одночасно працюючих доїльних апаратів

$n_{да}$	$N_{нда}$	$p(n_{да}^+)$	$p(n_{да}^-)$	a_1	a_2	$P(N_{нда}^+)$	$P(N_{нда}^-)$	$P(N_{нда})$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	2	0,666667	0,333333	2	1	0,857123	0,919699	0,788295
3	3	1	0	3	0	0,647232	1	0,647232
4	2	0,5	0,5	2	2	0,947347	0,947347	0,897466
4	3	0,75	0,25	3	1	0,815263	0,99634	0,81228
4	4	1	0	4	0	0,628837	1	0,628837
5	2	0,4	0,6	2	3	0,983436	0,916082	0,900908
5	3	0,6	0,4	3	2	0,916082	0,983436	0,900908
5	4	0,8	0,2	4	1	0,78513	0,999406	0,784664
5	5	1	0	5	0	0,615961	1	0,615961
6	2	0,333333	0,666667	2	4	0,995466	0,889326	0,885294
6	3	0,5	0,5	3	3	0,966491	0,966491	0,934106
6	4	0,666667	0,333333	4	2	0,889326	0,995466	0,885294
6	5	0,833333	0,166667	5	1	0,762183	0,999917	0,76212
6	6	1	0	6	0	0,606303	1	0,606303
7	2	0,285714	0,714286	2	5	0,998903	0,866628	0,865678
7	3	0,428571	0,571429	3	4	0,988095	0,948866	0,937571
7	4	0,571429	0,428571	4	3	0,948866	0,988095	0,937571
7	5	0,714286	0,285714	5	2	0,866628	0,998903	0,865678
7	6	0,857143	0,142857	6	1	0,74398	0,99999	0,743972
7	7	1	0	7	0	0,598714	1	0,598714
8	2	0,25	0,75	2	6	0,999763	0,847237	0,847036
8	3	0,375	0,625	3	5	0,996197	0,931906	0,928362
8	4	0,5	0,5	4	4	0,978637	0,978637	0,95773
8	5	0,625	0,375	5	3	0,931906	0,996197	0,928362
8	6	0,75	0,25	6	2	0,847237	0,999763	0,847036
8	7	0,875	0,125	7	1	0,729091	0,999999	0,72909
8	8	1	0	8	0	0,592547	1	0,592547

Результати моделювання наведено на рис. 1.

Аналіз результатів моделювання коливань вакуумметричного тиску показує, що максимальна амплітуда його коливань з частотою 1 Гц не перевищує $\Delta p_{ВП} = 1,4$ кПа для вакуумпроводу діаметром $D = 40$ мм із імовірністю $P(N_{нда}) = 0,76212$. Для вакуумпроводу діаметром $D = 25,4$ мм максимальна амплітуда коливань вакуумметричного тиску становить $\Delta p_{ВП} = 3,03$ кПа з імовірністю $P(N_{нда}) = 0,628837$.

Для кількості доїльних апаратів одночасно працюючих з максимальною імовірністю збігу в часі тактів і фази роботи пульсаторів коливання вакуумметричного тиску не перевищує $\Delta p_{ВП} = 2$ кПа. За діаметра вакуумпроводу $D = 50$ мм коливання вакуумметричного тиску $\Delta p_{ВП} = 800-812$ Па з максимальною імовірністю $P(N_{нда}) = 0,93757-0,95773$.

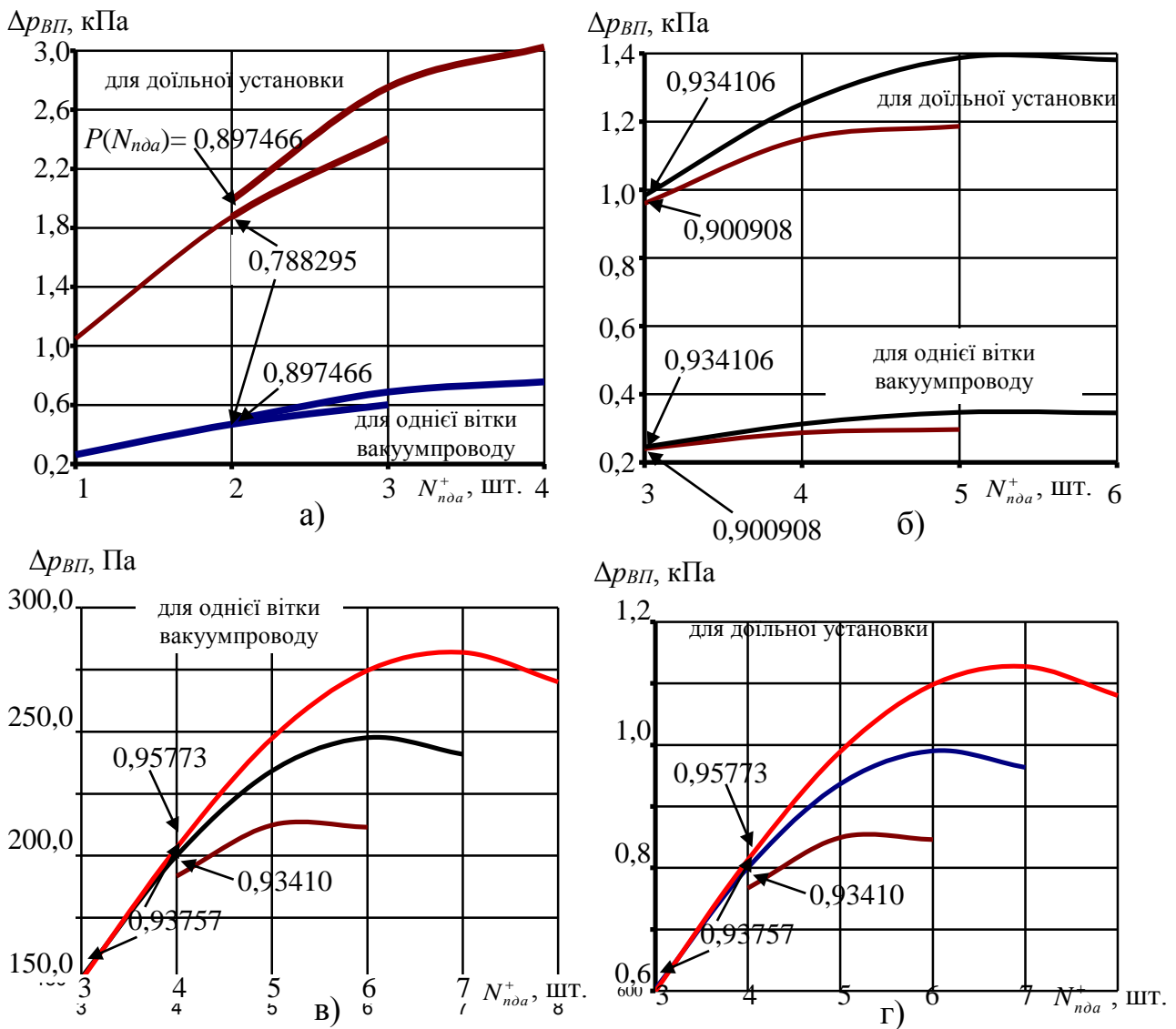


Рис. 1 – Графіки моделювання коливання вакуумметричного тиску $\Delta p_{ВП}$ у вакуумпроводі доїльної установки доїння у корівнику залежно від кількості доїльних апаратів $N_{нда}^+$ зі збігом в часі тактів і фази роботи пульсаторів з імовірністю $P(N_{нда})$ за діаметра D вакуумпроводу:

а – $D = 25,4$ мм, доїльний апарат АДУ-1; б – $D = 40$ мм, доїльний апарат з пневмоелектромагнітним пульсатором попарної дії; в, г – $D = 50$ мм, доїльний апарат з пневмоелектромагнітним пульсатором попарної дії

Можна констатувати, що максимальні коливання вакууму у вакуумпроводі доїльної установки доїння у корівниках з частотою 1 Гц не перевищують допустимі параметри ($[\Delta p_{ВП}] \leq 2,5$ кПа).

Графічна залежність зміни амплітуди коливання вакуумметричного тиску $\Delta p_{ВП}$ від кількості одночасно працюючих доїльних апаратів $N_{нда}^+$ зі збігом в часі тактів і фази роботи пульсаторів з імовірністю $P(N_{нда})$ та діаметра D вакуумпроводу наведена на рис. 2.

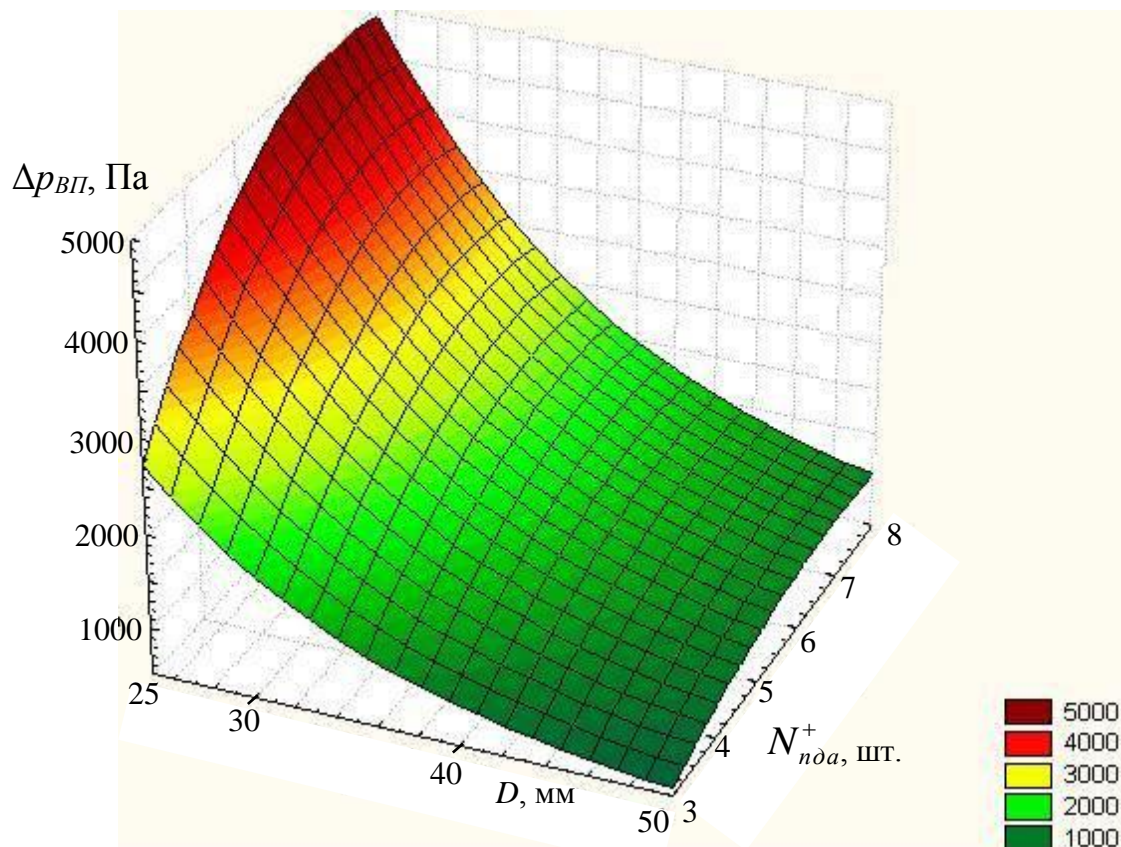


Рис. 2 – Залежність зміни амплітуди коливання вакуумметричного тиску $\Delta p_{ВП}$ від кількості одночасно працюючих доїльних апаратів $N_{n\partial a}^+$ зі збігом в часі тактів і фази роботи пульсаторів та діаметра D вакуумпроводу

Аналіз результатів моделювання показує, що при $N_{n\partial a}^+ = 8$ із $n_{\partial a} = 8$ з імовірністю збігу в часі тактів і фази роботи пульсаторів $P(N_{n\partial a}) = 0,592547$ амплітуда коливань вакуумметричного тиску становитиме $\Delta p_{ВП} = 4,72$ кПа за діаметра вакуумпроводу доїльної установки $D = 25,4$ мм. За діаметра вакуумпроводу $D = 50$ мм при цій самій кількості доїльних апаратів амплітуда коливань вакуумметричного тиску становитиме $\Delta p_{ВП} = 1,08$ кПа. Найвища імовірність збігу в часі тактів і фази роботи пульсаторів $P(N_{n\partial a}) = 0,95773$ за $N_{n\partial a}^+ = 4$ апарати, тоді амплітуда коливань вакуумметричного тиску становитиме $\Delta p_{ВП} = 3,55$ кПа за один такт роботи пульсатора (частота 1,0 Гц) за діаметра вакуумпроводу доїльної установки $D = 25,4$ мм і $\Delta p_{ВП} = 0,81$ кПа за $D = 50$ мм.

Висновок. Із збільшенням кількості одночасно працюючих доїльних апаратів імовірність збігу та кількість доїльних апаратів, в яких збігаються фази і такти, та амплітуда коливань тиску – зростають. Із збільшенням діаметра вакуумпроводу амплітуда коливань вакуумметричного тиску зменшується.

Вихідним параметром для моделювання роботи елементів вакуумної системи доїльної установки є амплітуда коливань вакуумметричного тиску від $\Delta p_{ВП} = 3,55$ кПа з частотою 1 Гц за діаметра вакуумпроводу доїльної установки $D = 25,4$ мм до $\Delta p_{ВП} = 0,81$ кПа за $D = 50$ мм, або $\Delta p_{ВП} = 1,48$ - $2,4$ кПа з частотою 1,0-1,3 Гц.

Список використаних джерел

1. ISO 3918. Milking machine installations – Vocabulary. – Geneva, Switzerland: The International for Standardization Organization, 2007. – 42 p.
2. ISO 5707. Milking machine installations – Construction and performance. – Geneva, Switzerland: The International for Standardization Organization, 2007. – 52 p.
3. ISO 6690. Milking machine installations – Mechanical tests. – Geneva, Switzerland: The International for Standardization Organization, 2007. – 46 p.
4. ASAE. Test Equipment and Its Application for Measuring Milking Machine Operating Characteristics, ASABE EP445.1: Standard by The American Society of Agricultural and Biological Engineers, 1996.
5. ASAE. Milking machine installations – construction and performance, ASAE S518: Standard by the American Society of Agricultural and Biological Engineers, 1996.
6. Reinemann D. J. New Standards for Sizing Milklines / D. J. Reinemann, G. A. Mein // University of Wisconsin Milking Research and Instruction Laboratory [Electronic resource]. – Mode of access: http://www.uwex.edu/uwmril/pdf/Milk_Machine/Design/96_UWEX_MILKLINE_Size.pdf. - Дата звернення: 03.08.2015.
7. Dry tests of vacuum stability in milking machines with conventional regulators and adjustable speed vacuum pump controllers / A. Pazzona, L. Murgia, L. Zanini [et all] // ASAE Annual International Meeting, Riviera Hotel and Convention Center, Las Vegas, Nevada, USA, 2003 [Electronic resource]. – Mode of access: http://www.academia.edu/14281287/Dry_Tests_of_Vacuum_Stability_in_Milking_Machines_with_Conventional_Regulators_and_Adjustable_Speed_Vacuum_Pump_Controllers. - Дата звернення: 03.08.2015.
8. Reinemann D. J. Methods for Measuring and Interpreting Milking Vacuum / D. J. Reinemann, N. Schuring, R. D. Bader // Sixth International ASABE Dairy Housing Conference, Minneapolis, Minnesota, USA, 2007 [Electronic resource]. – Mode of access: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.460.8152>. - Дата звернення: 12.08.2015.
9. Дмитрів І. В. Аналіз статичних і динамічних параметрів доїльних апаратів / І. В. Дмитрів // Теоретичні основи і практичні аспекти використання ресурсощадних технологій для підвищення ефективності агропромислового виробництва і розвитку сільських територій : матеріали Міжнар. наук.-практ. форуму. – Львів, 2013. – С. 222-230.
10. Дмитрів В. Модель витрати повітря елементами доїльного апарата / В. Дмитрів // Вісник Львівського державного аграрного університету : агроінженерні дослідження. – 2006.– № 10.–С. 483-488.
11. Дмитрив В. Моделирование времени истечения воздуха из ограниченного пространства / В. Дмитрив, И. Дмитрив // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – Lublin-Rzeszow. – 2013. – Vol. 15, № 4. – P. 193-197.

12. Дмитрів В. Т. Результати експериментальних досліджень тривалості наповнення повітрям системи “доільний стакан-пульсатор” / В. Т. Дмитрів, В.В. Адамчук, І.В. Дмитрів // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України : техніка та енергетика АПК. – К., 2015. – Вип. 212/2. – С. 142-148.
13. Дмитрів В. Т. Часові характеристики роботи пневмоелектромагнітного пульсатора попарної дії / В. Т. Дмитрів, Ю. М. Лаврик // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України : техніка та енергетика АПК. – К., 2015. – Вип. 212/2. – С. 178-185.
14. Adamchuk V. Experimental studies of duration of air pumping out from the “TEAT CUP – PULSATOR” system / V. Adamchuk, V. Dmytriv, I. Dmytriv // An International quarterly journal on economics in technology, new technologies and modeling processes. – Lublin-Rzeszow, 2015. – Vol. 4, № 4. – P. 3-6
15. Адамчук В. Адаптивный доильный аппарат с пневмоэлектромагнитным пульсатором / В. Адамчук, В. Дмитрив, И. Дмитрив // Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin-Rzeszow, 2015. – Vol 17, № 9. – P. 83-87.
16. Дмитрив В. Адаптивный доильный аппарат с пневмоэлектромагнитным пульсатором / В. Дмитрив, В. Адамчук, И. Дмитрив // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – Lublin-Rzeszow, 2015. – Vol. 17, № 9. – P. 83-87.
17. Овчинников П. Ф. Высшая математика: учеб. пособие / П. Ф. Овчинников, Б. М. Лисицын, В. М. Михайленко ; под общ. ред. П. Ф. Овчинникова. – К. : Вища шк., 1989. – 679 с.
18. Бронштейн И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – М. : Наука; Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 544 с.

Аннотация

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ ДАВЛЕНИЯ ВАКУУМНОЙ СИСТЕМЫ ДОИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Дмитрив В.Т., Дмитрив И.В.

Рассмотрены вопросы моделирования характеристик динамического колебания вакуума в вакуумном проводе, используя теорию независимых событий с учетом конструкции вакуумного провода. Приведена оценка вероятности появления независимого события используя теорему Пуассона, оценена вероятность одновременного совпадения тактов и фаз работы пульсаторов одновременно работающих доильных аппаратов на основании уравнения полной вероятности. Разработана аналитическая зависимость колебаний амплитуды вакуумметрического давления на участке вакуумного провода. Приведен анализ амплитудно-частотного колебания давления вакуумной системы доильной установки. С увеличением количества одновременно работающих доильных аппаратов вероятность совпадения и

количество доильных аппаратов, в которых совпадают фаза и такт, увеличивается. Анализ результатов моделирования показывает, что с увеличением количества доильных аппаратов амплитуда колебаний вакуумметрического давления увеличивается, а с увеличением диаметра вакуумного провода амплитуда колебаний давления уменьшается.

Abstract

MODELING PRESSURE FLUCTUATIONS VACUUM SYSTEM MILKING MACHINES

V. Dmytriv, I. Dmytriv

The problem of modeling the characteristics of dynamic fluctuations of vacuum in the vacuum wire, using the theory of independent events with regard to the design of vacuum wire. An independent assessment of the probability of occurrence of events using Poisson theorem, assessed the probability of simultaneous coincidence of cycles and phases of pulsators simultaneous milking machines based on the total probability equation. The analytical dependence of the oscillation amplitude vacuum pressure vacuum section wire. The analysis of amplitude-frequency pressure fluctuations in the vacuum system of the milking installation. With the increased number of simultaneous milking machines nda probability of coincidence and the number of milking machines, in which the same phases and cycles increases. Analysis of simulation shows that with the number of milking machines vacuum pressure amplitude increases and with increasing wire diameter vacuum pressure amplitude decreases.