

05.14.01 «Енергетичні системи і комплекси» / В.Ф. Ткаченко; НАН України. Ін-т техн. теплофізики. – К., 2014.– 23 с.

4. Розен, В.П. Разработка концепции внедрения системы энергетического менеджмента на промышленных предприятиях Украины [Текст] / В.П. Розен, А.И. Соловей, А.В. Чернявский // Праці ІЕД НАНУ. – № 1(10). – 2005. – С. 59-68.

5. Розен, В.П. Методологія бенчмаркінгу енергоефективності для промисловості України [Текст] / В.П. Розен, Б.Л. Тишевич, П.В. Розен // Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит.- 2012. - № 6. - С. 9-19.

Стаття надійшла до редакції 24.03.2016 р.

УДК 621.311

В. П. Розен, проф., **І. Г. Ходаківський**, студент (НТУУ «КПІ»)

КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ З ВИКОРИСТАННЯМ КОРОТКОСТРОКОВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ МЕТОДОМ ХОЛЬТА

V. Rozen, I. Khodakivskyi (National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»)

MANAGEMENT ELECTRIC LOADING WITH THE USE OF SHORT-TERM PROGNOSTICATION BY METHOD OF HOLT

У роботі розглянуто метод короткострокового прогнозування промислового підприємства за допомогою моделі Хольта для зменшення фінансових витрат підприємства на використання електричної енергії.

Ключові слова: електричне навантаження; прогнозування; метод Хольта; STATISTICA; оцінка точності прогнозування.

В работе рассмотрен метод краткосрочное прогнозирование промышленного предприятия с помощью модели Хольта для уменьшения финансовых затрат предприятия на использование электрической энергии.

Ключевые слова: электрическая нагрузка; прогнозирование; метод Хольта; STATISTICA; оценка точности прогнозирования.

The paper describes a method of short-term forecasting of industrial enterprises using the model Holt to reduce financial costs on the use of electricity.

Keywords: electric load; prognostication; method of Holt; STATISTICA; evaluation of the accuracy of forecasting.

Вступ. На сьогодні технічний прогрес у виробничій сфері та сфері споживання характеризується електрифікацією технологічних процесів і зростанням споживання електроенергії при виробництві, тому для зростаючих

потреб підприємств в електроенергії приділяють велику увагу її виробництву та економії.

Так, одним з шляхів економії електричної енергії на промислових підприємствах являється структура вдосконалення керування енергетикою підприємства.

Керування електричним навантаженням, розглядається як важливий спосіб поступової стабілізації енергетики і забезпечення надійного та якісного електропостачання споживачів.

Особливу актуальність на сьогодні набуває керування режимами електроспоживання для промислових підприємств з постійним характером виробництва, які мають досить великі енергозатрати для виробництва продукції.

Постановка проблеми. Зменшення фінансових витрат на електричну енергію промислового підприємства за рахунок підвищення достовірності визначення прогнозованого значення електричної енергії та потужності методом Хольта з допомогою використання програмного додатку STATISTICA.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасних умовах ринкової економіки багато споживачів електроенергії зацікавлені в уточненні обсягів споживаної електричної потужності, налагодженню контактів з суб'єктами оптового та роздрібного продажу електроенергії, уточненню графіків навантаження електромережі в різні часові інтервали. Все більшого поширення набувають інтелектуальні інформаційні технології, пов'язані з використанням програм статистичного аналізу [1]. Визначення параметрів електроспоживання (обсягів і потужності) є і буде залишатися найважливішим завданням споживача на саму віддалену перспективу. Безліч методик розрахунку навантажень ґрунтувалося на однозначному складення або статистичному отриманні результату шляхом введення ефективного числа приймачів, найбільш завантаженої зміни, що призводило до зниження до одиниці коефіцієнта максимуму [2]. Короткострокові прогнози споживання є основою для формування заявки, яка подається адміністратору торгової системи. Короткострокове прогнозування електричного навантаження застосовується в завданнях планування і управління виробленням електроенергії на електростанціях [3]. Помилка прогнозування знижує якість управління і економічність режимів енергосистеми: занижений прогноз призводить до необхідності використання дорогих аварійних електростанцій; завищене пророкування призводить до збільшення витрат на підтримку в робочому стані зайвих резервних потужностей. Запропоновані моделі автоматизованого прогнозування електричних навантажень промислових підприємств [4], які забезпечують ріст надійності та економічності електропостачання споживачів електричної енергії. 1 грудня 2010 року відбулася III Спеціалізована конференція «Автоматизація. ПЕК. Україна - 2010». Конференція висвітлювала найважливіші проблеми і тенденції українського паливно-енергетичного комплексу, його взаємодія з зарубіжними партнерами, питання розвитку

глобального енергетичного ринку і забезпечення енергобезпеки України та інших держав [5].

Мета дослідження. Метою дослідження є підвищення рівня якості керування електричним навантаженням шляхом застосування прогнозних моделей споживання електричної потужності на основі поточних параметрів на місяць вперед, що дає можливість зменшити споживання електричної енергії в пікові періоди навантаження енергосистеми.

Виклад основного матеріалу досліджень. Ефективне керування електричними навантаженнями стане реальним лише за умов коли в ринкових умовах споживачі електроенергії будуть регулювати режим енергоспоживання в тому випадку, якщо в них виникне економічна зацікавленість у створенні "маневрового електричного навантаження", а саме в споживанні позапікової електроенергії.

Така зацікавленість досягається шляхом уведення прогресивної системи керування електричними навантаженнями, а саме конкретні методики, програмне забезпечення та заходи щодо керування електричними навантаженнями; використання прогресивних тарифів на електричну енергію, а також діяльність з регулювання електричним навантаженням споживачів не можливе без наявності у них сучасних технічних засобів обліку та керування.

Прогнозування електричного навантаження забезпечує основну вихідну інформацію для прийняття рішень в процесі управління електроенергетичними системами для планування їх нормальних електричних режимів. На основі прогнозування навантажень розраховуються вихідні та оптимальні режими електроенергетичних систем, оцінюється їх надійність, економічність, якість електроенергії тощо.

Більшість алгоритмів прогнозування електричного навантаження, розроблених в електроенергетиці, є комбінацією різних статистичних процедур. Існують методи прогнозування, в яких проводиться виділення так званої базової складової в змінах навантаження. Крім цього є методи, в яких зміни навантаження розглядаються як випадковий процес. Однак точне моделювання є складним через нелінійні і складні відносини між навантаженням і факторами, від яких вона залежить. Крім цього потрібно відмітити, що існуючі методи прогнозування електричного навантаження не можуть працювати з «зашумленими» або неповними даними, в той час як в реальному житті часто доводиться мати справу саме з такою інформацією.

В даній роботі застосовано метод Хольта для прогнозування електричної енергії. У цьому методі враховується локальний лінійний тренд, наявні у тимчасових рядах. Якщо у тимчасових рядах є тенденція до зростання, то разом з оцінкою поточного рівня необхідна і оцінка нахилу. У методі Хольта значення рівня і нахилу згладжуються безпосередньо шляхом використання різних постійних для кожного з параметрів. Постійні згладжування дозволяють оцінити поточний рівень і нахил, уточнюючи їх щоразу у разі появи нових спостережень.

У методі Хольта використовуються три розрахункових формули:

1. Експоненціально згладжений ряд (оцінка поточного рівня)

$$L_t = \alpha y_t + (1 - \alpha)(L_{t-1} - T_{t-1}). \quad (1)$$

2. Оцінка тренду

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 + \beta)T_{t-1}. \quad (2)$$

3. Прогноз на p періодів вперед

$$\hat{y}_t = L_t + pT_t \quad (3)$$

де α, β – коефіцієнти згладжування, визначаються з інтервалу від 0 до 1.

Рівняння оцінки тренду схоже на рівняння оцінки поточного рівня для простого експоненціального згладжування за винятком члена, що враховує тренд. Постійна β потрібна для згладжування оцінки тренда. У рівнянні прогнозу на декілька періодів вперед, оцінка тренду множиться на число періодів p , на який будується прогноз, а потім цей добуток складається з поточним рівнем згладжених даних.

Постійні α і β вибираються суб'єктивно або шляхом мінімізації похибки прогнозування. Чим більші значення ваг будуть взяті, тим більш швидкий відгук на зміни, що відбуваються матиме місце і більшого згладжування піддаються дані. Менші ваги роблять структуру згладжених значень менш рівною.

Вихідні дані споживання електричної енергії промисловим підприємством для виконання прогнозування представлені в табл. 1.

Використовуючи програмний додаток STATISTICA виконаємо короткострокове (на 1 місяць вперед) прогнозування електричного споживання

α та γ

вихідних даних методом Хольта. Параметри α та γ вибрані для точності

прогнозу з мінімальною середньоквадратичною похибкою.

На рисунках 1, 3, 5 представлені результати прогнозування вихідних даних

α та γ

при коефіцієнтах α рівних 0,1, 0,5, 0,9 відповідно. На рис. 2, 4, 6

представлені дані похибок прогнозування при відповідних значеннях коефіцієнтів.

У процесі прогнозування і вибору початкових значень і параметрів моделі виникає задача оцінки точності прогнозування. Оцінка точності важлива і при порівнянні між собою різних моделей або при визначенні спроможності отриманого прогнозу.

Вихідні дані споживання електричної енергії

№ п/п	Дата ДД-ММ-РРРР	Електроспоживання кВт*год
1	01.12.2015	14735,7
2	02.12.2015	16215,9
3	03.12.2015	7020
4	04.12.2015	5070,2
5	05.12.2015	14187,6
6	06.12.2015	17342,4
7	07.12.2015	17965,8
8	08.12.2015	18520
9	09.12.2015	18043,6
10	10.12.2015	13012,6
11	11.12.2015	10724,5
12	12.12.2015	12946,8
13	13.12.2015	12663,6
14	14.12.2015	7974,6
15	15.12.2015	8365,4
16	16.12.2015	13864,5
17	17.12.2015	12506,6
18	18.12.2015	10803,3
19	19.12.2015	15011,7
20	20.12.2015	18686,5
21	21.12.2015	19077,5
22	22.12.2015	19302,9
23	23.12.2015	18934,4
24	24.12.2015	17562,8
25	25.12.2015	18763,2
26	26.12.2015	17047,8
27	27.12.2015	15123,2
28	28.12.2015	19570
29	29.12.2015	17411,5
30	30.12.2015	18087,3
31	31.12.2015	15623,7

Exp. smoothing: S0=147E2 T0=29,60 (Spreadsheet1) Lin.trend,no season; Alpha= ,100 Gamma=,100 VAR2			
Case	VAR2	Smoothed Series	Resids
1	14735,70	14750,50	-14,80
2	16215,90	14778,47	1437,43
3	7020,00	14966,04	-7946,04
4	5070,20	14135,80	-9065,60
5	14187,60	13102,95	1084,65
6	17342,40	13095,97	4246,43
7	17965,80	13447,64	4518,16
8	18520,00	13871,66	4648,34
9	18043,60	14355,18	3688,42
10	13012,60	14779,59	-1766,99
11	10724,50	14640,79	-3916,29
12	12946,80	14247,90	-1301,10
13	12663,60	14103,51	-1439,91
14	7974,60	13930,85	-5956,25
15	8365,40	13246,99	-4881,59
16	13864,50	12621,78	1242,72
17	12506,60	12621,43	-114,83
18	10803,30	12484,17	-1680,87
19	15011,70	12173,50	2838,20
20	18686,50	12343,12	6343,38
21	19077,50	12926,70	6150,80
22	19302,90	13552,52	5750,38
23	18934,40	14195,80	4738,60
24	17562,80	14785,30	2777,50
25	18763,20	15206,45	3556,75
26	17047,80	15741,10	1306,70
27	15123,20	16063,81	-940,61
28	19570,00	16152,39	3417,61
29	17411,50	16710,96	700,54
30	18087,30	17004,83	1082,47
31	15623,70	17347,72	-1724,02

Рис. 1. Результати прогнозування електричного споживання при коефіцієнтах рівних 0,1

Exp. smoothing: S0=147E2 T0=29,60 (Spreadsheet1) Lin.trend,no season; Alpha= ,100 Gamma=,100 VAR2	
Summary of error	Error
Mean error	605,811902
Mean absolute error	3234,773492
Sums of squares	489059921,565815
Mean square	15776126,502123
Mean percentage error	-6,449040
Mean abs. perc. error	27,769414

Рис. 2. Похибки прогнозування електричного споживання при коефіцієнтах рівних 0,1

		Exp. smoothing: S0=147E2 T0=29,60 (Spreadsheet1) Lin.trend,no season; Alpha= ,500 Gamma=,500 VAR2		
Case	VAR2	Smoothed Series	Resids	
1	14735,70	14750,50	-14,80	
2	16215,90	14769,00	1446,90	
3	7020,00	15880,08	-8860,08	
4	5070,20	9622,64	-4552,44	
5	14187,60	4380,92	9806,68	
6	17342,40	8770,42	8571,98	
7	17965,80	14685,57	3280,23	
8	18520,00	18774,90	-254,90	
9	18043,60	21032,94	-2989,34	
10	13012,60	21176,43	-8163,83	
11	10724,50	16691,71	-5967,21	
12	12946,80	11813,50	1133,30	
13	12663,60	10768,87	1894,73	
14	7974,60	10578,64	-2604,04	
15	8365,40	7488,01	877,39	
16	13864,50	6357,45	7507,05	
17	12506,60	10418,48	2088,12	
18	10803,30	12292,07	-1488,77	
19	15011,70	12005,03	3006,67	
20	18686,50	14717,37	3969,13	
21	19077,50	18903,23	174,27	
22	19302,90	21235,22	-1932,32	
23	18934,40	22030,84	-3096,44	
24	17562,80	21470,29	-3907,49	
25	18763,20	19527,34	-764,14	
26	17047,80	18965,03	-1917,23	
27	15123,20	17346,87	-2223,67	
28	19570,00	15019,57	4550,43	
29	17411,50	17216,93	194,57	
30	18087,30	17285,00	802,30	
31	15623,70	17857,51	-2233,81	

Рис. 3. Результати прогнозування електричного споживання при коефіцієнтах рівних 0,5

		Exp. smoothing: S0=147E2 T0=29,60 (Spreadsheet1) Lin.trend,no season; Alpha= ,500 Gamma=,500 VAR2		
Summary of error	Error			
Mean error	-53,766679			
Mean absolute error	3234,653805			
Sums of squares	557340629,534323			
Mean square	17978729,984978			
Mean percentage error	-5,484721			
Mean abs. perc. error	26,243710			

Рис. 4. Похибки прогнозування електричного споживання при коефіцієнтах рівних 0,5

Exp. smoothing: S0=147E2 T0=29,60 (Spreadsheet1) Lin.trend,no season; Alpha= ,900 Gamma=,900 VAR2			
Case	VAR2	Smoothed Series	Resids
1	14735,70	14750,50	-14,8
2	16215,90	14754,79	1461,1
3	7020,00	17270,90	-10250,9
4	5070,20	942,97	4127,2
5	14187,60	898,41	13289,2
6	17342,40	19863,86	-2521,5
7	17965,80	22557,34	-4591,5
8	18520,00	19668,60	-1148,6
9	18043,60	18948,14	-904,5
10	13012,60	17714,66	-4702,1
11	10724,50	9254,74	1469,8
12	12946,80	7539,96	5406,8
13	12663,60	13748,09	-1084,5
14	7974,60	13235,59	-5261,0
15	8365,40	4702,84	3662,6
16	13864,50	7167,96	6696,5
17	12506,60	17787,86	-5281,3
18	10803,30	13349,92	-2546,6
19	15011,70	9310,39	5701,3
20	18686,50	17312,06	1374,4
21	19077,50	22532,84	-3455,3
22	19302,90	20607,99	-1305,1
23	18934,40	19561,24	-626,8
24	17562,80	18617,18	-1054,4
25	18763,20	16434,28	2328,9
26	17047,80	19182,78	-2135,0
27	15123,20	16184,43	-1061,2
28	19570,00	13292,86	6277,1
29	17411,50	22090,31	-4678,8
30	18087,30	17237,57	849,7
31	15623,70	18048,80	-2425,1

Рис. 5. Результати прогнозування електричного споживання при коефіцієнтах рівних 0,9

Exp. smoothing: S0=147E2 T0=29,60 (Spreadsheet1) Lin.trend,no season; Alpha= ,900 Gamma=,900 VAR2	
Summary of error	Error
Mean error	-77,557082
Mean absolute error	3473,992915
Sums of squares	633968786,462481
Mean square	20450606,014919
Mean percentage error	-1,415498
Mean abs. perc. error	28,908931

Рис. 6. Похибки прогнозування електричного споживання при коефіцієнтах рівних 0,9

Відома велика кількість оцінок, що визначають точність прогнозування, але для обчислення будь-якої з них необхідно знати на кожному кроці похибку прогнозування.

Похибка прогнозування на один крок вперед в момент часу t дорівнює:

$$e_t = X_t - \hat{X}_t, \quad (4)$$

де X_t – значення вхідної послідовності в момент часу t ; \hat{X}_t – прогноз на момент часу t зроблений на попередньому кроці.

Найбільш поширеною оцінкою точності прогнозування є середнє значення квадратів похибок (Mean Squared Error):

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=0}^{n-1} e_t^2, \quad (5)$$

де n – кількість елементів послідовності.

Іноді, як недолік оцінки MSE вказують на її надмірну чутливість до рідкісних одиночних похибок великої величини. Це пояснюється тим, що значення похибки при обчисленні MSE зводиться в квадрат. У цьому випадку в якості альтернативи пропонується використовувати середнє значення абсолютної похибки (Mean Absolute Error):

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=0}^{n-1} |e_t|. \quad (6)$$

Передбачається, що при використанні MAE можна отримати більш стійкі оцінки.

Обидві ці оцінки добре підходять, для визначення точності прогнозу однієї і тієї ж послідовності при різних параметрах моделі або при використанні різних моделей, але вони виявляються малоприматними для порівняння між собою результатів прогнозування, отриманих на різних послідовностях.

Виконавши процес програмування були розраховані похибки прогнозування, а саме середня похибка e_{cp} , сума квадратів похибок $\sum e_t^2$, середнє значення квадратів похибок MSE та середнє значення абсолютної похибки MAE.

Використовуючи розраховані дані похибок можна, побудувавши графік залежності похибки від коефіцієнтів α , γ .

Дані для побудови графіків представлені в табл. 2.

Таблиця 2

Таблиця для побудови графіків залежності похибки від коефіцієнтів α, γ

№ п/п	Коефіцієнти α, γ		
	0,1	0,5	0,9
Середня абсолютна похибка $e_{t\ cp}$	32,878*10 ²	32,346*10 ²	34,739*10 ²
Сума квадратів похибок $\sum e_t^2$	48,905*10 ⁷	55,734*10 ⁷	63,396*10 ⁷
Середнє значення квадратів похибок MSE	15,776*10 ⁶	17,978*10 ⁶	20,45*10 ⁶
Середнє значення абсолютної похибки MAE	27,769	26,243	28,908

Розрахувавши похибки прогнозування електричного споживання методом Хольта, можна побудувати результати залежності похибок від коефіцієнтів α , γ та визначити найменшу похибку прогнозування. Графічні результати порівняння похибок представлені на рис. 7.

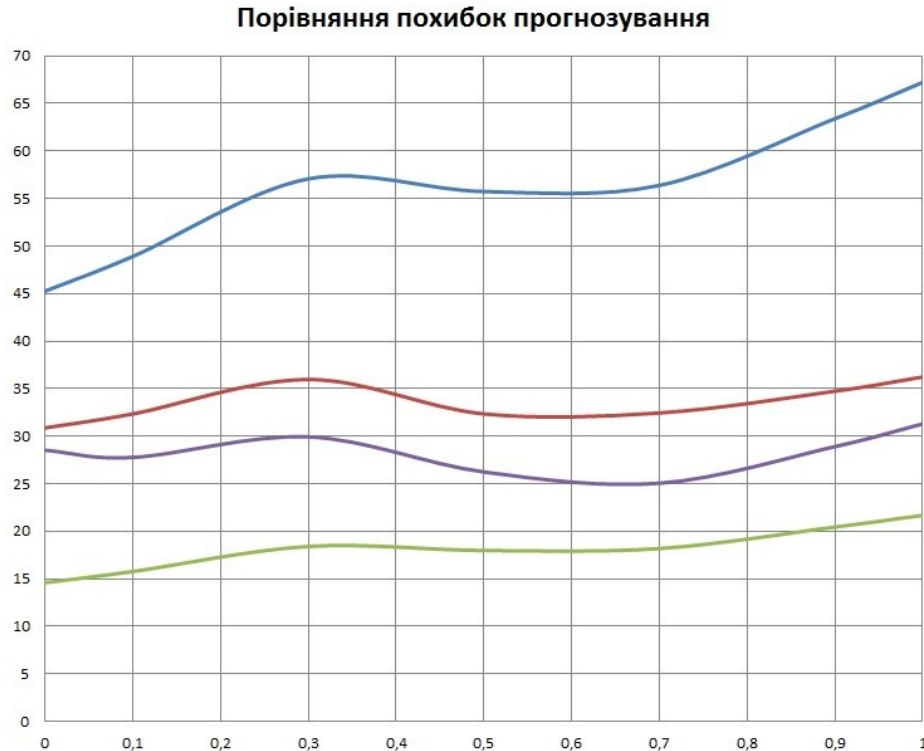


Рис. 7. Графічні результати порівняння похибок прогнозування з використання метода Хольта:

1 - сума квадратів похибок $\sum e_t^2$, 2 – середня абсолютна похибка e_t *ср*, 3 – середнє значення абсолютної похибки MAE, 4 – середнє значення квадратів похибок MSE

Маючи результати прогнозування електричного споживання можна визначити різницю між прогнозом та реальними даними при різних коефіцієнтах α , γ .

При коефіцієнтах α , γ рівних 0,1 різниця складає 18780,17 кВт*год економії, при α , γ рівних 0,5 - 1666,77 кВт*год збитку, при α , γ рівних 0,9 - 2404,27 кВт*год збитку електроспоживання для промислового підприємства.

Висновки

Використовуючи прогнозні дані можна зробити висновок, що при використанні у прогнозуванні коефіцієнтів α , γ рівних 0,1 підприємство має перевагу електроспоживання на 18780,17 кВт*год по відношенню до поточного

місяця, це дає можливість керувати електричним навантаженням промислового підприємства.

Результати прогнозування дають підприємству більш повну картину для можливості заощадження коштів промислового підприємства на оплату електричної енергії.

Список використаних джерел

1. Родыгина, С.В. Краткосрочное прогнозирование электрической нагрузки промышленных предприятий с применением интеллектуальных информационных технологий [Текст]: автореф. канд. дис. к.т.н. ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта» / С.В. Родыгина // Новосибирск, 2010. – 26 с.
2. Кудрин, Б.И. Расчет электрических нагрузок потребителей: история, состояние, комплексный метод [Текст]: автореф. доктор техн. наук НИУ «МЭИ» / Б.И. Кудрин // Москва, 2015. – 14 с.
3. Анушина, Е.С. Система краткосрочного прогнозирования электрической нагрузки [Текст]: автореф. к.т.н.: спец. 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы» / Е.С. Анушина // Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова // Санкт-Петербург, 2009 – 12 с.
4. Васильев, Д.А. Модели автоматизированного прогнозирования электрических нагрузок промышленных предприятий [Текст]/ УДК 626.519 ББК 31 / Саратовский государственный технический университет / Д.А. Васильев, М.В. Колоколов // Саратов, 2011 – 2 с.
5. Розен, В.П. Управление нагрузкой энергосистем с использованием потребителей регуляторов промышленных объектов [Текст] // Специализированная Конференция «Автоматизация. ТЭК. Украина-2010» - К.: Выставочный центр «АККО Интернешнл» / В.П. Розен, О.Н. Закладной // Киев, 2010.

Стаття надійшла до редакції 08.04.2016 р.

УДК 628.88

В.М. Пермяков, к.т.н., доц., **О.В. Чермалих**, к.т.н., доц., **І.Я. Майданський**, ст. преп., **В.О. Бровко**, магістрант (НТУУ «КПІ»)

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРООБМІНОМ ГЛЯДАЦЬКОЇ ЗАЛИ КІНОТЕАТРУ

V.M. Permiakov, O.V. Chermalykh, I.Y. Maidanskyi, V.O. Brovko (National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»)