
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ МЕТОДИ

doi

УДК 519.8

С.Е. Саух, д-р техн. наук

Институт проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины
(Украина, 03164, Киев, ул. Генерала Наумова, 15,
e-mail: ssaukh@gmail.com),

А.В. Борисенко, д-р техн. наук

Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический ин-т им. Игоря Сикорского»
(Украина, 03113, Киев, пр-т Победы, 37)

Метод прогнозирования помесечной динамики объемов выработки электроэнергии энергоблоками АЭС Украины

Представлены результаты анализа данных об установленных мощностях энергоблоков, объемах выработки ими электроэнергии, периодичности и длительности ранее выполненных капитальных и средних ремонтов основного оборудования АЭС. Предложен метод долгосрочного прогнозирования объемов выработки электроэнергии энергоблоками АЭС и графиков выполнения планово-предупредительных ремонтов основного оборудования АЭС компании ГП НАЭК «Энергоатом». Приведены результаты прогнозирования помесечной динамики объемов выработки электроэнергии энергоблоками в современных условиях развития атомной энергетики.

К л ю ч е в ы е с л о в а: энергоблок АЭС, ремонт, выработка электроэнергии, прогноз.

Являясь крупнейшим производителем электроэнергии в Украине, ГП НАЭК «Энергоатом» играет особую роль на рынке электрической энергии. В системах моделирования электроэнергетики Украины математическая модель ГП НАЭК «Энергоатом» должна обеспечивать долгосрочное прогнозирование помесечной динамики объемов выработки электроэнергии энергоблоками АЭС при различных сценариях развития атомной энергетики страны. Этим требованиям удовлетворяет модель, разработанная на основе анализа данных об установленных мощностях энергоблоков [1], объемах вырабатываемой ими электроэнергии [2—5], периодичности и длительности ранее выполненных капитальных и средних ремонтов основного оборудования АЭС [6—13]. Предлагаемая модель является ос-

© Саух С.Е., Борисенко А.В., 2019

новой разработанного метода прогнозирования помесечной динамики объемов выработки электроэнергии энергоблоками АЭС.

Математическая модель ГП НАЭК «Энергоатом». Коэффициент использования установленной мощности C_h^{UR} энергоблока h является интегральным показателем эффективности безопасного производства электроэнергии [14]. В произвольный момент времени t значение этого коэффициента определяется отношением объема электроэнергии

$$S_h = S_h(t, \Delta t) = \int_{t-\Delta t}^t g_k(\tau) d\tau,$$

выработанной за отчетный период времени Δt , к объему ее выработки на установленной мощности за тот же период времени:

$$C_h^{UR} = C_h^{UR}(t, \Delta t) = S_h(t, \Delta t) / (G_h \Delta t), \quad (1)$$

где $g_k(\tau)$ и G_h — развиваемая в момент времени $\tau \in [t-\Delta t, t]$ и установленная мощности блока h . Из определения (1) следует выражение

$$S_h(t, \Delta t) = C_h^{UR}(t, \Delta t) G_h \Delta t, \quad (2)$$

которое можно использовать для прогнозных оценок объемов выработки электроэнергии $S_h(t, \Delta t)$ в случае, если функция $C_h^{UR}(t, \Delta t) \in [0, 1]$ — предопределяема.

В результате исследований установлено [14], что определяющее влияние на поведение функций вида $C_h^{UR}(t, \Delta t)$ оказывают периодичность и продолжительность планово-предупредительных ремонтов, т.е. запланированные организационно-технические мероприятия по проверке и восстановлению работоспособности и ресурса систем, оборудования и отдельных элементов энергоблоков. По данным отчетов о текущем состоянии эксплуатационной безопасности АЭС Украины с реакторами ВВЭР-1000 вклад планово-предупредительных ремонтов энергоблоков в общее уменьшение значений $C_h^{UR}(t, \Delta t)$ достигает 84 %. Остальная часть уменьшения значений этой функции обусловлена внеплановыми остановками, снижениями нагрузки, нарушениями эксплуатации блоков, авариями и другими факторами.

Следовательно, коэффициент использования установленной мощности $C_h^{UR}(t, \Delta t)$ энергоблока h можно разложить на два факторных множителя и представить в виде

$$C_h^{UR}(t, \Delta t) = C_h^{PM}(t, \Delta t) C_h^{OS}(t, \Delta t), \quad (3)$$

где $C_h^{PM}(t, \Delta t)$ — коэффициент снижения мощности вследствие реализации стратегии планово-предупредительных ремонтов (Preventive Main-

tenance); $C_h^{OS}(t, \Delta t)$ — коэффициент снижения мощности в результате выполнения работ по текущему ремонту и оперативному обслуживанию (Operational Service).

Формирование планов выполнения ремонтов энергоблоков АЭС осуществляется на основе диагностических моделей, реализующих различные методы анализа технического состояния оборудования, а также моделей оптимизации процессов подготовки и выполнения планово-предупредительных ремонтов [14, 15]. Такие подходы к формированию планов выполнения ремонтных работ являются научно обоснованными и регулярно применяются на практике. Как правило, их применение имеет весьма ограниченный горизонт планирования: чаще — от одного года до четырех лет [16], реже — до десяти лет [17].

Для составления долгосрочных планов выполнения ремонтов и, следовательно, определения функций $C_h^{PM}(t, \Delta t)$, предлагается использовать обобщенную модель производственных процессов, связанных с диагностикой состояния систем, оборудования и элементов энергоблока, и оптимизационных решений по восстановлению их эксплуатационных характеристик. Основой обобщенной модели являются даты начала и окончания ремонтных работ, выполненных в предыдущие годы.

Оценим периоды (время между начальными датами двух последовательно проводимых ремонтов оборудования) T_c и T_k , а также длительности d_c и d_k выполнения средних и капитальных ремонтов основного оборудования атомных электростанций Украины. Для этого воспользуемся ежегодными графиками проведения таких ремонтов на каждом энергоблоке АЭС за период с 2011 по 2018 г. [6—13].

Минимальные, максимальные и средние значения периодов и длительностей ремонтных компаний представлены в таблице, где величины \bar{T}_c , \bar{T}_k , \bar{d}_c , \bar{d}_k , характеризуют множества значений $\{T_c\}$, $\{T_k\}$, $\{d_c\}$, $\{d_k\}$, которые существенно не различаются между собой и поэтому являются представительными для соответствующих множеств. Заметим, что чередование средних и капитальных ремонтов каждого энергоблока АЭС происходит последовательно во времени по схеме 3(с) + 1(к) [14]. Вследствие ограниченности анализируемого множества ремонтных компаний, проведенных с 2011 по 2018 г., для рассматриваемого энергоблока имеем не более двух значений периодов T_k и длительностей d_k капитальных ремонтов, что затрудняет оценивание их средних величин \bar{T}_k и \bar{d}_k . Поэтому формальное осреднение множеств значений $\{T_k\}$ и $\{d_k\}$ осуществлено в тех случаях, когда такие значения близки. В других случаях средние величины \bar{T}_k и \bar{d}_k оценены по совокупности значений соответственно из множеств $\{T_k\}$ и $\{d_k\}$ и по близким к ним значениям из множеств $\{T_c\}$ и $\{d_c\}$.

Располагая значениями величин $\bar{T}_c, \bar{T}_k, \bar{d}_c, \bar{d}_k$, для каждого энергоблока h можно составить прогнозные графики выполнения средних и капитальных ремонтов с указанием календарных дат начала и окончания ремонтных работ в долгосрочной перспективе. В частности, была установлена последовательность выполнения графиков планово-предупредительных ремонтов по схеме их чередования на прогнозном периоде 2019—2040 гг., берущая свое начало с ремонтной компании, утвержденной Министерством энергетики и угольной промышленности Украины в 2018 г. [6]. Отметим, что последовательность выполнения графиков ремонтов необходимо формировать с посуточным шагом D фиксации планируемых событий во времени. В этом случае можно определить целочисленные значения $C_h^{PM}(t_D, \Delta t_D) \in \{0, 1\}$ функций $C_h^{PM}(t, \Delta t)$ на дискретном множестве t_D времени с оценочным периодом Δt_D , который равен одним суткам.

Множества фактических значений $\{T_c\}, \{T_k\}, \{d_c\}, \{d_k\}$, вычисленных по датам начала и окончания уже состоявшихся ремонтных компаний, позволяют расширить область определения значений $C_h^{PM}(t_D, \Delta t_D)$ функций $C_h^{PM}(t, \Delta t)$ на соответствующие периоды времени в прошлом с той же посуточной детализацией. Кроме того, посуточные последовательности

Длительности и периоды выполнения ремонтных работ (сутки)

АЭС	Номер блока	Средний ремонт						Капитальный ремонт					
		d_c^{\min}	d_c^{\max}	\bar{d}_c	T_c^{\min}	T_c^{\max}	\bar{T}_c	d_k^{\min}	d_k^{\max}	\bar{d}_k	T_k^{\min}	T_k^{\max}	\bar{T}_k
Запорожская	1	60	107	88	378	414	395	60	107	88	378	414	403
	2	76	114	95	373	434	405	76	114	97	373	475	423
	3	52	114	77	389	412	398	74	75	75	364	373	369
	4	52	86	70	363	392	381	72	86	79	396	428	412
	5	60	104	77	335	454	378	60	107	78	335	526	403
	6	52	104	69	360	410	397	75	96	86	351	432	392
Южно-Украинская	1	52	95	69	296	565	393	50	90	70	296	565	387
	2	64	120	86	360	440	383	64	120	75	327	440	371
	3	57	153	106	358	513	430	57	153	98	358	513	434
Ровенская	1	45	78	54	358	566	385	55	72	64	358	425	381
	2	45	72	55	353	401	376	55	85	70	353	434	386
	3	62	66	64	403	416	409	62	85	69	403	527	432
	4	52	52	52	316	432	389	65	65	65	355	412	384
Хмельницкая	1	49	67	55	362	507	434	85	96	91	395	463	429
	2	52	66	58	316	419	377	80	80	80	371	377	374

значений $C_h^{\text{PM}}(t_D, \Delta t_D)$ функций $C_h^{\text{PM}}(t, \Delta t)$ можно усреднять на месячных M и годовых Y интервалах времени Δt_M и Δt_Y и представлять последовательностями значений $C_h^{\text{PM}}(t_M, \Delta t_M)$ и $C_h^{\text{PM}}(t_Y, \Delta t_Y)$, определенных на дискретных множествах времени t_M и t_Y .

Используя временные последовательности коэффициентов $C_h^{\text{PM}}(t_D, \Delta t_D)$ и значения установленных мощностей G_h энергоблоков в идеализированном случае, когда факторы снижения мощности, не связанные с планово-предупредительными ремонтами, не действуют, т.е. значения всех коэффициентов $C_h^{\text{OS}}(t_D, \Delta t_D)$ равны единице, можно предварительно оценить динамику суммарных объемов $S_\Sigma(t_M, \Delta t_M)$ месячной выработки электроэнергии всеми энергоблоками АЭС на прогнозном периоде. Так, используя (2) и (3), находим

$$S_\Sigma(t_M, \Delta t_M) = \sum_h \sum_{t_D \in t_M} C_h^{\text{PM}}(t_D, \Delta t_D) G_h \Delta t_D.$$

Поскольку последовательности значений $C_h^{\text{PM}}(t_D, \Delta t_D)$ являются периодическими и имеют чередующиеся периоды, такие, которые в общем случае не равны длительности календарного года, суммирование этих последовательностей с весовыми коэффициентами $G_h \Delta t_D$ приводит к образованию последовательности значений $S_\Sigma(t_M, \Delta t_M)$, которая не повторяет ежегодные сезонные колебания объемов электроэнергии, производимой всеми АЭС. При этом в графиках ремонтных компаний не отражен приоритет летних периодов их выполнения в каждом прогнозном году.

Для формирования адекватных последовательностей значений $S_\Sigma(t_M, \Delta t_M)$, динамика которых была бы близкой к динамике месячной последовательности усредненных значений $\bar{S}_\Sigma(t_M, \Delta t_M)$, вычисленных по статистическим данным об объемах производства АЭС за ряд прошлых лет, необходимо решать задачи квадратичного программирования вида

$$\min_{\{\Delta T_h(Y)\}} \sum_{t_M \in Y} [\bar{S}_\Sigma(t_M, \Delta t_M) - \sum_h \sum_{t_D \in t_M} C_h^{\text{PM}}(t_D + \Delta T_h(Y), \Delta t_D) G_h \Delta t_D]^2, \quad (4)$$

$$\{\bar{\Delta T}^- \leq \Delta T_h(Y) \leq \bar{\Delta T}^+\} \quad (5)$$

и в пределах каждого прогнозного года Y находить смещения $\Delta T_h(Y)$ аргумента t_D функций $C_h^{\text{PM}}(t_D + \Delta T_h(Y), \Delta t_D)$, что тождественно поиску уточненных значений периодов \bar{T}_{kh} или ремонтных компаний, выполнение которых планировалось начать в этом же прогнозном году. Здесь границы $\bar{\Delta T}^-$ и $\bar{\Delta T}^+$ допустимых изменений искомых величин $\Delta T_h(Y)$ устанавливаются равными средним значениям величин из множеств соответст-

венно $\{T_c^{\min} - \bar{T}_c\} \cup \{T_k^{\min} - \bar{T}_k\}$ и $\{T_c^{\max} - \bar{T}_c\} \cup \{T_k^{\max} - \bar{T}_k\}$. Используя данные, представленные в таблице, определяем $\Delta T^- = -46$ и $\Delta T^+ = 56$.

Задачи (4), (5) решаются последовательно для всего множества $\{Y\}$ прогнозных лет, начиная с первого года. Найденные значения $\Delta T_h(Y)$ позволяют сформировать смещенные последовательности

$$\check{C}_h^{\text{PM}}(t_D, \Delta t_D) = C_h^{\text{PM}}(t_D + \Delta T_h(Y), \Delta t_D)$$

и соответствующие им усредненные последовательности $\check{C}_h^{\text{PM}}(t_M, \Delta t_M)$ и $\check{C}_h^{\text{PM}}(t_Y, \Delta t_Y)$.

Наличие последовательностей значений коэффициентов $\check{C}_h^{\text{PM}}(t_M, \Delta t_M)$ и $\check{C}_h^{\text{PM}}(t_Y, \Delta t_Y)$, а также данных о месячных и годовых объемах выработки электроэнергии $S_h(t_M, \Delta t_M)$ и $S_h(t_Y, \Delta t_Y)$ за прошедшие годы позволяет ретроспективно оценивать последовательности значений коэффициентов $C_h^{\text{OS}}(t_M, \Delta t_M)$ и $C_h^{\text{OS}}(t_Y, \Delta t_Y)$ снижения мощности энергоблока h вследствие выполнения работ по его текущему ремонту и оперативному обслуживанию. Такие оценки получаем из соотношений (2) и (3), с помощью которых можно определить

$$C_h^{\text{OS}}(t_M, \Delta t_M) = \frac{S_h(t_M, \Delta t_M)}{\check{C}_h^{\text{PM}}(t_M, \Delta t_M) G_h \Delta t_M}, \quad (6)$$

$$C_h^{\text{OS}}(t_Y, \Delta t_Y) = \frac{S_h(t_Y, \Delta t_Y)}{\check{C}_h^{\text{PM}}(t_Y, \Delta t_Y) G_h \Delta t_Y}.$$

Анализ значений $C_h^{\text{OS}}(t_M, \Delta t_M)$ и $C_h^{\text{OS}}(t_Y, \Delta t_Y)$, вычисленных на основе ретроспективных данных, свидетельствует о невозможности их экстраполяции на прогнозный период. Невозможной оказалась и экстраполяция средних оценок коэффициентов снижения мощности вида

$$C_H^{\text{OS}}(t_Y, \Delta t_Y) = \frac{1}{|H|} \sum_{h \in H} \frac{S_h(t_Y, \Delta t_Y)}{\check{C}_h^{\text{PM}}(t_Y, \Delta t_Y) G_h \Delta t_Y}, \quad (7)$$

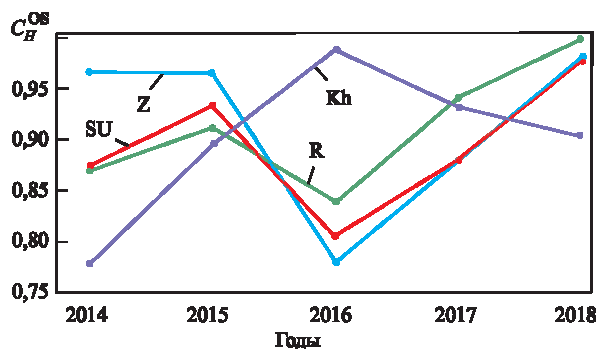
вычисленных для множества H энергоблоков каждой АЭС. Графики изменения значений этих коэффициентов представлены на рис. 1.

Для выполнения прогнозных расчетов следует использовать усредненные значения коэффициентов (7) в виде оценок

$$C_H^{\text{OS}}(\Delta Y) = \frac{1}{|\Delta Y|} \sum_{Y \in \Delta Y} C_H^{\text{OS}}(t_Y, \Delta t_Y), \quad (8)$$

полученных на множестве ΔY предыдущих лет.

Рис. 1. Динамика коэффициентов снижения годовых объемов производства электроэнергии на АЭС «Запорожская» (Z), «Южно-Украинская» (SU), «Ровенская» (R) и «Хмельницкая» (Kh) в зависимости от факторов, не связанных с выполнением планово-предупредительных ремонтов



Метод прогнозирования объемов выработки электроэнергии энергоблоками АЭС. Представленная математическая модель ГП НАЭК «Энергоатом» является основой следующего алгоритма долгосрочного прогнозирования месячной динамики объемов выработки электроэнергии энергоблоками АЭС:

1. На основе графиков выполнения средних и капитальных ремонтов основного оборудования АЭС формируем множества $\{T_c\}$, $\{T_k\}$ и $\{d_c\}$, $\{d_k\}$ фактических значений периодов и длительностей ремонтных компаний, проведенных в течение ряда предыдущих лет.

2. Для каждого энергоблока вычисляем средние значения величин \bar{T}_c , \bar{T}_k и \bar{d}_c , \bar{d}_k периодов и длительностей ранее выполненных ремонтов, а также определяем их граничные значения T_c^{\min} , T_k^{\min} , T_c^{\max} , T_k^{\max} , d_c^{\min} , d_k^{\min} , d_c^{\max} , d_k^{\max} .

3. образуем множества

$$\{T_c^{\min} - \bar{T}_c\} \cup \{T_k^{\min} - \bar{T}_k\}, \{T_c^{\max} - \bar{T}_c\} \cup \{T_k^{\max} - \bar{T}_k\},$$

для которых вычисляем средние значения $\overline{\Delta T}^-$ и $\overline{\Delta T}^+$.

4. Начиная с дат последних фактически выполненных ремонтов, по средним значениям \bar{T}_c , \bar{T}_k и \bar{d}_c , \bar{d}_k формируем последовательности графиков выполнения средних и капитальных ремонтов энергоблоков по схеме их чередования на прогнозном периоде.

5. По сформированной последовательности графиков выполнения ремонтов энергоблоков определяем последовательности значений $C_h^{\text{PM}}(t_D, \Delta t_D)$.

6. По статистическим данным об объемах производства АЭС за несколько прошлых лет формируем последовательность усредненных значений объемов производства $\bar{S}_\Sigma(t_M, \Delta t_M)$.

7. Для множества $\{Y\}$ прогнозных лет, начиная с первого года, последовательно решаем задачи (4), (5) и находим значения $\Delta T_h(Y)$.

8. Формируем смещенные последовательности значений коэффициентов

$$\check{C}_h^{\text{PM}}(t_D, \Delta t_D) = C_h^{\text{PM}}(t_D + \Delta T_h(Y), \Delta t_D)$$

и соответствующие им усредненные последовательности $\check{C}_h^{\text{PM}}(t_M, \Delta t_M)$ и $\check{C}_h^{\text{PM}}(t_Y, \Delta t_Y)$.

9. Используя данные прошлых лет о годовых объемах $S_h(t_Y, \Delta t_Y)$ выработки электроэнергии каждым энергоблоком, по формулам (6)—(8) и по найденным значениям коэффициентов $\check{C}_h^{\text{PM}}(t_Y, \Delta t_Y)$ вычисляем коэффициенты $C_H^{\text{OS}}(\Delta Y)$.

10. Используя соотношения (2), (3), найденные значения коэффициентов $\check{C}_h^{\text{PM}}(t_M, \Delta t_M)$ и $C_H^{\text{OS}}(\Delta Y)$, а также значения $\{G_h\}$ установленной мощности множества H энергоблоков каждой АЭС, вычисляем ее месячные и годовые объемы производства электроэнергии на прогнозном периоде:

$$S_H(t_M, \Delta t_M) = C_H^{\text{OS}}(\Delta Y) \sum_{h \in H} \check{C}_h^{\text{PM}}(t_M, \Delta t_M) G_h \Delta t_M, \quad (9)$$

$$S_H(t_Y, \Delta t_Y) = C_H^{\text{OS}}(\Delta Y) \sum_{h \in H} \check{C}_h^{\text{PM}}(t_Y, \Delta t_Y) G_h \Delta t_Y. \quad (10)$$

Совокупность соотношений (4), (5), (7)—(10) является математической моделью ГП НАЭК «Энергоатом», которая положена в основу разработанного метода прогнозирования месячной динамики объемов выработки электроэнергии энергоблоками АЭС в различных сценарных условиях развития компании.

Прогноз месячной выработки электроэнергии энергоблоками АЭС в современных условиях развития атомной энергетики. По сценарию планового вывода из эксплуатации энергоблоков АЭС [18], а также в соответствии с утвержденным Кабинетом министров технико-экономическим обоснованием достройки энергоблоков 3 и 4 Хмельницкой АЭС [19] и с учетом предположения о начале работ по достройке этих блоков в 2020 г. были выполнены модельные расчеты годовых и месячных объемов выработки электроэнергии на периоде прогнозирования 2019—2040 гг., результаты которых представлены на рис. 2 и 3. Как видим, полученные результаты свидетельствуют об утрате возможности сезонного регулирования объемов производства электроэнергии в 30-х годах.

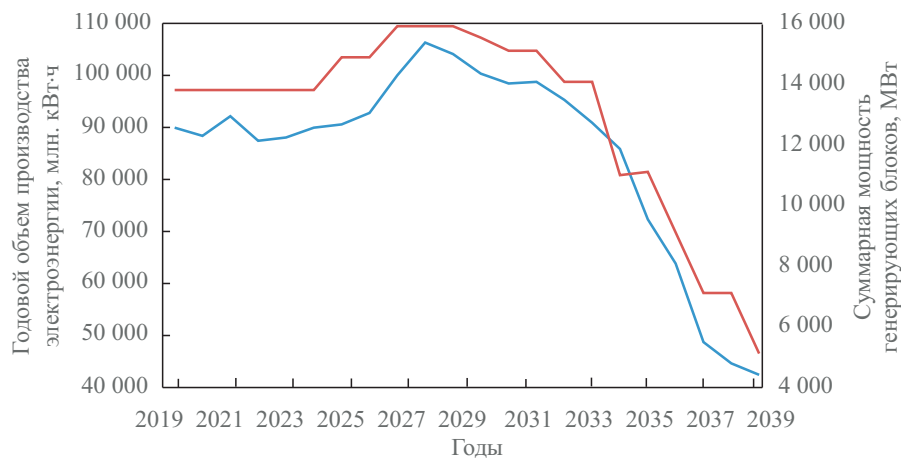


Рис. 2. Динамика суммарной мощности энергоблоков и годовых объемов производства электроэнергии на АЭС компании ГП НАЭК «Энергоатом»: — годовой объем производства электроэнергии; — суммарная мощность генерирующих блоков

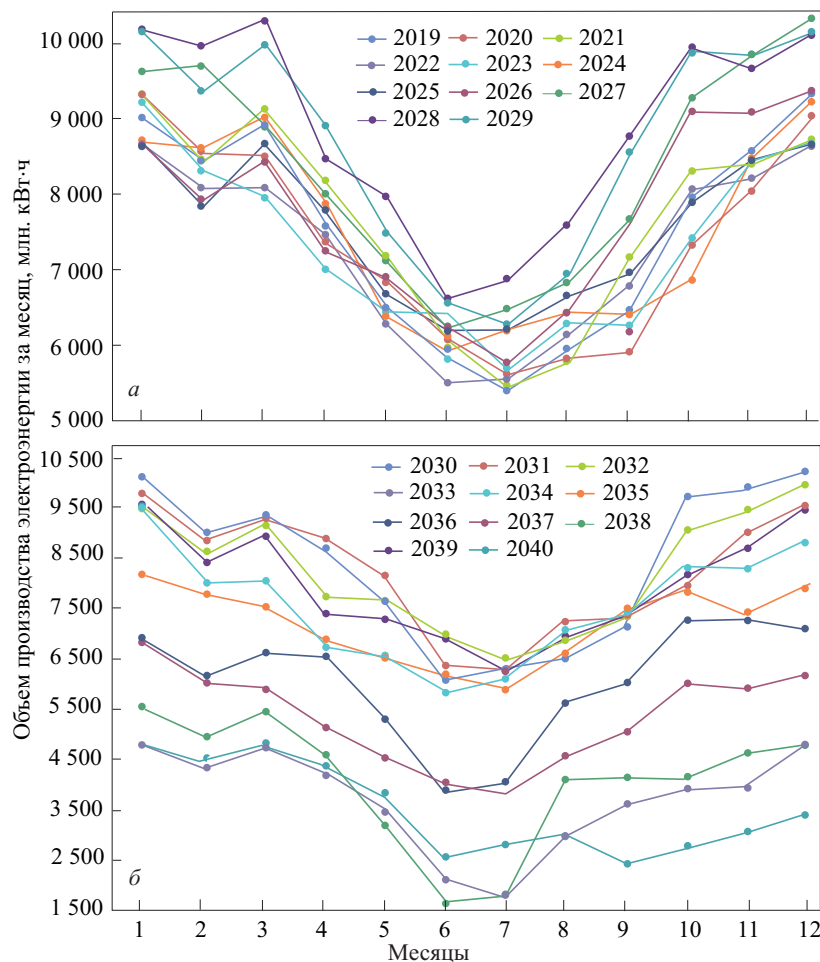


Рис. 3. Прогнозируемая динамика помесячных объемов производства электроэнергии на АЭС компании ГП НАЭК «Энергоатом» на 2019 — 2029 гг. (а) и на 2030—2040 гг. (б)

Выводы

Предложенный метод ориентирован на использование в составе систем моделирования электроэнергетики Украины и обеспечивает возможность учета в таких системах различных стратегий развития компании ГП НАЭК «Энергоатом», в частности ввод в эксплуатацию новых энергоблоков с регламентированными характеристиками периодичности и длительности выполнения планово-предупредительных ремонтов.

После аварии на АЭС «Фукусима» наблюдается постоянное возрастание требований к безопасности объектов атомной энергетики. Актуальным направлением исследований становится анализ сценариев увеличения продолжительности ремонтных работ и замещения существующих энергоблоков новыми мощностями с высокими параметрами надежности и безопасности эксплуатации. Представленный метод позволяет учесть влияние таких сценариев развития атомной энергетики на месячную динамику объемов выработки электроэнергии энергоблоками АЭС.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. https://ua.boell.org/sites/default/files/transition_of_ukraine_to_the_renewable_energy_by_2050_1.pdf
2. <http://www.npp.zp.ua/Home/Production>
3. <https://www.sunpp.mk.ua/uk/activities/tep/chart>
4. <http://www.rnpp.rv.ua>
5. <http://www.xaec.org.ua/store/pages/ukr/techeckparams/latest>
6. <http://document.ua/pro-pidgotovku-obladnannja-elektrostantsii-i-teplovih-merezh—doc324051.html>
7. <http://consultant.parus.ua/?doc=0ANAN7F275>
8. http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page.html?id_doc=66114
9. <http://consultant.parus.ua/?doc=09VFD68889>
10. <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=244950494>
11. <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=229324>
12. <http://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0578732-12/sp:max10>
13. <http://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va006732-11>
14. Скалозубов В.И., Коврижкин Ю.Л., Колыханов В.Н. и др. Оптимизация плановых ремонтов энергоблоков атомных электростанций с ВВЭР/под ред. Скалозубова В.И.; НАН Украины, Ин-т проблем безопасности АЭС. — Чернобыль (Киев, обл.): — Ин-т проблем безопасности АЭС, 2008, 496 с.
15. Ефимов А.В., Потанина Т.В., Кравец В.Л. и др. Применение методов интервальной статистики для диагностики технического состояния оборудования и планирования продолжительности ремонтов энергоблоков ТЭС И АЭС // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит, 2012, N 5, с. 20—26.
16. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1224-16>
17. <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/376/37644e5aa93eec0702537d60b9511e84.pdf>
18. http://www.energoatom.kiev.ua/ua/press_centr-19/presentations-39/p/vistup_prezidenta_energoatoma_uria_nedaskovs_kogo_na_komitets_kih_sluhannah_na_temu_aderna_energetika_ukraini_vikliki_ta_perspektivi-3521
19. <https://www.kmu.gov.ua/ua/npas/pro-shvalennya-tehniko-ekonomichnogo-obgruntuvannya-budivnictvo-energoblokiv-3-4-hmelnickoyi-aes-m-netishin-vul-energetikiv-koriguvannya>

Получена 20.03.19

REFERENCES

1. Available at: https://ua.boell.org/sites/default/files/transition_of_ukraine_to_the_renewable_energy_by_2050_1.pdf
2. Available at: <http://www.npp.zp.ua/Home/Production>
3. Available at: <https://www.sunpp.mk.ua/uk/activities/tep/chart>
4. Available at: <http://www.rnpp.rv.ua>
5. Available at: <http://www.xaec.org.ua/store/pages/ukr/techeckparams/latest>
6. Available at: <http://document.ua/pro-pidgotovku-obladnannja-elektrostantsii-i-teplovih-merezh—doc324051.html>
7. Available at: <http://consultant.parus.ua/?doc=0ANAN7F275>
8. Available at: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=66114
9. Available at: <http://consultant.parus.ua/?doc=09VFD68889>
10. Available at: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=244950494>
11. Available at: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=229324>
12. Available at: <http://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0578732-12/sp:max10>
13. Available at: <http://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va006732-11>
14. Skalozubov, V.I., Kovrizhkin, Yu.L. and Kolykhanov, V.N. (2008), *Optimizatsiya planovykh remontov energoblokov atomnykh elektrostansiy s VVER* [Optimization of scheduled repairs of power units of nuclear power plants with VVER], Institute of NPP Safety Problems, Kiev, Ukraine.
15. Yefimov, A.V., Potanina, T.V. and Kravets, V.L. (2012), “Application of interval statistics methods for diagnosing the technical condition of equipment and planning the duration of repairs of power units of thermal power plants and nuclear power plants”, *Energoberezhniye. Energetika. Energoaudit*, no. 5, pp. 20-26.
16. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1224-16>
17. Available at: <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/376/37644e5aa93eec0702537d60b9511e84.pdf>
18. Available at: http://www.energoatom.kiev.ua/ua/press_centr-19/presentations-39/p/vistup_prezidenta_energoatoma_uria_nedaskovs_kogo_na_komitets_kih_sluhannah_na_temu_aderna_energetika_ukraini_vikliki_ta_perspektivi-3521
19. Available at: <https://www.kmu.gov.ua/ua/npas/pro-shvalennya-tehniko-ekonomichnogo-obgruntuvannya-budivnictvo-energoblokov-3-4-hmelnickoyi-aes-m-netishin-vul-energetikiv-koriguvannya>

Received 20.03.19

С.С. Саух, А.В. Борисенко

МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ ПОМІСЯЧНОЇ ДИНАМІКИ ОБСЯГІВ
ВИРОБІТКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ЕНЕРГОБЛОКАМИ АЕС УКРАЇНИ

Подано результати аналізу даних про встановлені потужності енергоблоків, обсяги вироблення ними електроенергії, періодичність та тривалість раніше виконаних капітальних і середніх ремонтів основного устаткування АЕС. Запропоновано метод довгострокового прогнозування графіків виконання планово-попереджувальних ремонтів основного устаткування АЕС компанії ДП НАЕК «Енергоатом» і обсягів вироблення електроенергії енергоблоками АЕС. Наведено результати прогнозування помісячної динаміки обсягів вироблення електроенергії енергоблоками в сучасних умовах розвитку атомної енергетики.

К л ю ч о в і с л о в а: енергоблок АЭС, ремонт, виробіток електроенергії, прогноз.

S.Ye. Saukh, A.V. Borisenko

METHOD OF FORECASTING THE DYNAMICS
OF MONTHLY ELECTRICITY PRODUCTION BY NPP UNITS OF UKRAINE

We present the results of the analysis of data on the installed capacities of the power units, the volumes of their electricity production, the frequency and duration of previously completed capital and medium repairs of the main equipment of the NPP. A method of long-term forecasting of schedules for the implementation of preventive maintenance of the main equipment of NPPs of the company SE “NNEGC Energoatom” and the volumes of electricity generation by NPP units is proposed. We present the results of using proposed method for forecasting the monthly dynamics of the volumes of electricity generation by power units in modern conditions of nuclear power development.

Key words: NPP power unit, repair, power generation, forecast.

САУХ Сергей Евгеньевич, д-р техн. наук, профессор, гл. науч. сотр. Ин-та проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины. В 1978 г. окончил Киевский ин-т инженеров гражданской авиации. Область научных исследований — численные операторные методы решения дифференциальных уравнений, методы и технологии решения систем линейных алгебраических уравнений большой размерности, методы решения вариационных неравенств, равновесные модели, математическое моделирование энергорынков, газотранспортных систем, макроэкономических процессов.

БОРИСЕНКО Андрей Владимирович, д-р техн. наук, ст. науч. сотр., профессор кафедры теплоэнергетических установок тепловых и атомных электростанций Национального технического университета Украины «Киевский политехнический ин-т им. Игоря Сикорского», который окончил в 1994 г. Область научных исследований — технико-экономическая оптимизация характеристик и режимов работы энергогенерирующего оборудования.