https://doi.org/10.3176/hum.soc.sci.1988.2.01

EESTI NSV TEADUSTE AKADEEMIA TOIMETISED. ÜHISKONNATEADUSED
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК ЭСТОНСКОЙ ССР. ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ
PROCEEDINGS OF THE ACADEMY OF SCIENCES OF THE ESTONIAN SSR. SOCIAL SCIENCES

1988, 37, 2

Ilmar ÕPIK

ÜBER DAS RISIKO BEI DER ÜBERFÜHRUNG VON FORSCHUNGSERGEBNISSEN IN DIE PRAXIS UND BEI EINER MASSSTABSVERGRÖSSERUNG DER ANLAGEN (AM BEISPIEL DER WÄRMEKRAFTWERKSBLÖCKE)

I.

Auf Grund der Risikotheorien hat man nach O. Lange [1] es bei mathematischer Beschreibung und Kalkulation des Risikos bei den praxeologischen Optimierungsrechnungen mit der Wahrscheinlichkeitstheorie oder mit der mathematischen Statistik als Unterlage der Berechnungen zu tun. Doch gibt es komplizierte Fälle, wo das Gesetz der großen Zahlen nicht wirkt oder so tief versteckt ist, daß man daraus keine Folgerungen ziehen kann.

Ein solches Problem, bei dem die Elemente der Ungewißheit und des Risikos auftreten, ist eine Errichtung von Industrieanlagen bzw. Wärmekraftwerken, deren Kapazität diejenige der bisher vorhandenen oder bekannten wesentlich übertreffen soll.

Wir wollen uns mit einer Planung eines Wärmekraftwerksblockes beschäftigen, dessen gewünschte Kapazität Q_p um einen Maßstab $M>1$ die Kapazität Q_0 eines bisher größten, mit dem selben Brennstoff gefeuerten Kraftwerksblockes übertrifft, also

$$Q_p = MQ_0. \tag{1}$$

Dabei können wir auch annehmen, daß Kraftwerksblöcke mit einem anderen Brennstoff die von uns gewünschte Kapazität Q_p schon in der Praxis erreicht haben.

Ein Beispiel von O. Lange [1], wo das mit Weizenproduktion verbundene Risiko am Umfang der Varianz eines möglichen Defizits gemessen wird, also wie

$$\operatorname{Var}\left(Q - \sum_{i=1}^{n} x_i q_i\right), \tag{2}$$

wo Q der Bedarf an Weizen, q_i die Weizenproduktion im i-ten Gebiet und x_i ein sogenannter Sicherheitsfaktor*, eine Zufallsgröße ist, kann man für den Fall Wärmekraftwerk mit n parallel laufenden Blöcken anwenden, aber ist bei unserem Beispiel eines einzelnen Wärmekraftwerksblockes nicht verwendbar.

Das Risiko R bei einer Planung der Wärmekraftwerksblöcke kann ebenso mit einem möglichen Defizit gemessen werden, diesmal mit dem Defizit der Kapazität, das beim geplanten Investitionsaufwand zum Bau

* Nach O. Lange [1] «Unsicherheitsfaktor» genannt. Da die Größe von x_i mit der Unsicherheit abnimmt, wird hier und weiter x_i als «Sicherheitsfaktor» bezeichnet. Als Unsicherheitsfaktor kann man die Größe $1-x_i$ annehmen.

des Blockes eine Differenz der geplanten (gewünschten) Kapazität Q_p und der erreichten Kapazität Q_f ausmacht, also

$$R = Q_p - Q_f. \tag{3}$$

Dabei ist die Kapazität eines Wärmekraftwerksblockes nicht wie die Weizenproduktion eine Summe der Kapazitäten von einzelnen Elementen des Blockes, da diese nicht parallel, sondern nacheinander, mit einigen Abzweigungen, gekoppelt sind. Zum Beispiel, der Kohlentransport, die Kohlenvorbereitung, die Feuerungs- und Kesselanlage mit Abzweigungen (Abgasreinigung, Aschenentfernung und Aschenlagerung u.a.), die Dampfturbine mit Kühlwasserversorgung, der Stromerzeuger und die Schalt- und Umspannanlage usw., können alle in Bezug auf die Kapazität des Blockes einen eigenen Sicherheitsfaktor x_i haben.

Wollen wir solche Sicherheitsfaktoren x_i nach deren Größen anordnen, wie

$$x_1 < x_2 < x_3 \ldots < x_n; \tag{4}$$

und haben dabei $x_m < 1$, wo $m \leqslant n$ und x_i von x_{n-m} bis $x_n \geqslant 1$, dann könnte man das Risiko oder das mögliche Kapazitätsdefizit bei einer Planung eines Wärmekraftwerksblockes, so wie auch einer anderen neuen Industrieanlage als

$$R = Q_p - Q_f = (1 - X)\, Q_p, \tag{5}$$

oder dimensionslos

$$r = R Q_p^{-1} \tag{6}$$

ausdrücken, wobei R absolut und r relativ das Risiko bezeichnen, Q_p die nach Projekt gewünschte und Q_f die tatsächlich erreichte Kapazität des Blockes sind.

X ist der Sicherheitsfaktor des Systems (Blockes). Analogisch mit den Zuverlässigkeitsfaktoren nach O. Lange [2]

$$X = x_1 x_2 \cdots x_m, \tag{7}$$

wo $x_1, x_2, \ldots, x_m$ als Operatoren linearer Transformation anzusehen sind.

Wird nun mit zusätzlichen Investitionen die Größe von x_1 bis auf $x_1 = 1$ gesteigert, so werden für das Risiko die Sicherheitsfaktoren ab x_2 maßgebend u.s.w. Das Risiko wird null oder negativ sein, wenn die Sicherheitsfaktoren aller Elementen des Systems (Blockes) die Werte $x_i \geqslant 1$ haben.

Das Beispiel mit $x_1 < x_2 < x_3 \ldots < x_m < 1$ und mit x_{n-m} bis $x_n \geqslant 1$ zeigt, daß die Größe der zusätzlichen Investitionen zur Kapazitätssteigerung des Blockes von Q_f bis Q_p von den Sicherheitsfaktoren aller Einzelelementen abhängen soll, die einen Wert $x_i < 1$ haben. So kann man folgern, daß beim gleichen Risiko $R = (1 - X)\, Q_p$ mit sehr verschiedenen möglichen zusätzlichen Investitionsausgaben pro Kapazitätseinheit zu rechnen ist, die von allen Werten der Sicherheitsfaktoren von x_1 bis $x_m < 1$ abhängen, also wie

$$R_k = K_f - K_p, \tag{8}$$

wobei R_k das absolute Risiko des Investitionsaufwandes, K_f $(x_1, x_2, \ldots, x_m)$ bei $x_m < 1$ und $x_{m+1} \geqslant 1$ die tatsächlichen und K_p die geplanten Investitionsausgaben sind.

Dabei ist

$$R_k = \sum_{i=1}^{m} (1 - \varkappa_i)\, K_i, \tag{9}$$

und relativ

$$r_k = R_k K_p^{-1}, \tag{10}$$

wo, außer den schon erwähnten Größen, K_i die Investitionsgröße des Ersatzelements für das Element i mit $x_i < 1$ und $\varkappa_i \gtreqless x_i$ — entsprechende Sicherheitsfaktoren in Bezug auf Investitionsaufwand sind.

Man kann vorstellen, daß $r \gtreqless r_k$ sein kann, und daß eine zusätzliche Investition zur Leistungssteigerung sich nicht immer ökonomisch bewähren müßte.

In der Kraftwerkspraxis können die Mindestwerte von x_i bis $x_1 = 0$ vorkommen. Das heißt, daß ein Block völlig betriebsunfähig sein kann. Ein 200-MW-Zweikesselblock mit Staubfeuerung wurde zum Monoblock mit Ölfeuerung umgebaut und dazu eine Ölgewinnungsanlage aus festem Brennstoff errichtet, die eine gesteigerte Kapazität des Blockes von 210 MW mit Heizöl und Gas versorgen mußte. Die Ölgewinnungsanlage aus dem früher direkt verbrannten festen Brennstoff wurde mit einer Vergrößerung von $M = 6$ nach einer längere Zeit gefahrenen Versuchsanlage gebaut. Beim erwähnten Block war es möglich, eine Reihe von wirkenden Sicherheitsfaktoren schätzungsweise zu betrachten:

$x_1 = 0$, der feste Rückstand von der Ölgewinnungsanlage enthielt umweltschädliche wasserlösliche Sulfide, die bei der Versuchsanlage nicht bemerkt wurden und die zu Veränderungen der Verarbeitungstechnologie zwingten;

$x_2 \approx 0{,}1$, es gelingt keine befriedigende Separation der Öldämpfe und der feinen Mineralsubstanz des Brennstoffes, was ein überextrem-hohes Mineralstaubgehalt des Öles und damit schnell (mit einigen Tagen) Störungen in der Kondensationsanlage der Öldämpfe und in anderen Anlageteilen verursacht;

$x_3 = 0{,}8$ zeigt der von einer Kapazität von 100 MW bei Staubfeuerung zur Ölfeuerung mit einer gewünschten Kapazität von 210 MW umgebaute Dampfkessel;

$x_4 = 1{,}05$ haben bei diesem Beispiel die Dampfturbine mit Zubehör und die elektrischen Anlagen.

Die besprochenen Sicherheitsfaktoren x_i und X sind nicht mit den Zuverlässigkeitsfaktoren p_i und P von O. Lange [2] zu verwechseln. Zuverlässigkeitsfaktoren sind Größen, die eine Wahrscheinlichkeit angeben, daß ein Element des Systems oder ein System im betreffenden Zeitabschnitt nicht versagt. Die Zuverlässigkeit P eines Systems mit n nacheinander gekoppelten Elementen mit Zuverlässigkeitsfaktoren p_i ist $P = p_1 p_2 \cdots p_n$, und ein System mit n parallel gekoppelten Elementen, jedes mit einem Zuverlässigkeitsfaktor p, wird ein $P = 1 - (1-p)^n$ haben. Zum Beispiel ein Kraftwerk mit $n = 4$ Blöcken, jeder Block mit $p = 0{,}8$, wird ein Zuverlässigkeitsfaktor $P = 0{,}998$ haben. Dabei $1 - P = 0{,}02$ wird die Wahrscheinlichkeit eines gezwungenen Stillstandes des gesamten Kraftwerkes wegen Defekts der Blöcke zeigen.

Wird ein Kraftwerk mit n Blöcken, jeder Block mit einer Kapazität Q_j und mit einem Sicherheitsfaktor X_j geplant, so wird der Sicherheitsfaktor des Kraftwerkes, X, ein Mittelwert sein, also

$$X = \left(\sum_{j=1}^{n} Q_j\right)^{-1} \sum_{j=1}^{n} X_j Q_j. \tag{11}$$

Bei einem langsamen Ausbau des Kraftwerkes mit mehreren Blöcken, so daß man Zeit hat, nach Betriebserfahrungen an den ersten Blöcken für die nächsten Blöcke eine verbesserte Konstruktion auszuarbeiten, um die weiteren Blöcke mit $X_j = 1$ in Betrieb zu nehmen, erhöht sich der Sicherheitsfaktor des gesamten geplanten Kraftwerkes.

II.

Zur Bestimmung der Größen der Sicherheitsfaktoren der Kraftwerksblöcke oder deren Elemente gibt es keine speziellen statistischen Daten und auch mit Wahrscheinlichkeitsverteilungen kann man hier kaum etwas Nützliches ausarbeiten.

Ohne Anwendung weiterer Angaben oder Unterlagen kann man behaupten, daß die Sicherheitsfaktoren-Werte X oder $x_i \geqslant 1$ zur Stelle sind, wo nur Elemente des Blockes angewendet werden, die vorher in der Praxis mit für den neuen Block gewünschter oder größerer Kapazität unter den selben Betriebsbedingungen sich bewährt haben. Das heißt, daß $Q_p \leqslant Q_0$ und man plant im Maßstab $M \leqslant 1$.

Werden aber Elemente des Blockes mit einer Vergrößerung der Kapazität im Vergleich zu einer sicher erprobten Anlage, also mit $Q_p > Q_0$, mit einem Maßstab $M > 1$ geplant, so werden Probleme einer Extrapolation auftreten.

Alle Formeln, Rechnungsmethoden der Anlagen usw. beruhen auf experimentell ermittelten Zahlgrößen und sind mit einer gewissen Zerstreuung und Sicherheit nur im experimentell untersuchten Datengebiet verwendbar. Das Entfernen von dem in der Praxis und experimentell erforschten Datengebiet bei der Planung vermindert die Sicherheit einer Extrapolation und damit den Sicherheitsfaktor x_i eines Systemelementes. Nach L. I. Sedow [3] und K. Henning [4] entsprechen die Methoden der physischen und mathematischen Modellierung komplizierter technologischer Systeme niemals in erschöpfendem Maße der Realität, sie können nur mehr oder weniger genau sein. Das heißt, daß die Risikogröße R oder R_k von der Qualität der Ausgangsinformation abhängt, besonders aber vom Extrapolationsgrad vorhandener experimenteller Daten in Anwendung auf das neue Projekt. Es ist theoretisch von A. M. Gurwitsch [5], A. B. Resnjakow u. a. [6] gezeigt worden, daß eine exakte Modellierung einer Dampfkesselverbrennungskammer, wo eine komplexe Wirkung von Strömungs- und Diffusionsvorgängen, chemischer Reaktionen und des Wärmeüberganges mit Strahlung, Konvektion und Wärmeleitung stattfindet, nur mit einem Maßstab von $M=1$ (1 : 1) möglich wäre. Damit wird jede Vergrößerung und Berechnung einer neuen Kesselanlage eines Wärmekraftwerksblockes eine Extrapolation sein, die nicht garantiert der zukünftigen Praxis entsprechen kann.

Die Größe des möglichen Fehlschlages bei einer technologischen Extrapolation hängt von vielen Faktoren, z.B. von der Zuverlässigkeit und Vollständigkeit der Messungen, von der Qualität der Interpretation der experimentellen Daten und sogar auch von der Erudition und dem Niveau der Konstrukteure ab. Doch am wichtigsten wird in diesem Fall die Entfernung von dem mit Messungen erforschten Datengebiet sein. Diese Entfernung wird mit dem Maßstab der Steigerung der Kapazität einer neuen Anlage Q_p oder eines Anlageelementes Q_i im Verhältnis zu der Kapazität der erprobten Anlage Q_0 oder des erprobten Anlageelementes Q_{i0} gemessen, also mit

$$M = Q_p Q_0^{-1} \quad \text{bzw.} \quad M_i = Q_i Q_{i0}^{-1}. \tag{12}$$

So kann man annehmen, daß die Größe eines Sicherheitsfaktors x_i und damit auch die Größe des Risikos R oder r vom Maßstab M abhängt, in dem der Produktionsmodul bzw. ein Kraftwerksblock im Vergleich zum erforschten Prototyp (existierende industrielle Anlage, Betriebsversuchsanlage, Laborversuchsanlage) gebaut wird. Also

$$x_i = x_i(M_i) \quad \text{oder} \quad r_i(M_i) = 1 - x_i(M_i). \qquad (13) \text{ und } (13a)$$

Unter Berücksichtigung dessen, daß sich die Größe M (Maßstabfaktor) in sehr breiten Grenzen ändern kann, wird für Näherungsrechnungen eine logarithmische Abhängigkeit vorgeschlagen:

$$x_i \approx 1 - a \log M_i \tag{14}$$

oder

$$r_i \approx a \log M_i, \tag{14a}$$

wo der Faktor a von der Kompliziertheit der Technologie der einzurichtenden Anlage abhängt.

Das Risiko beim Projektieren eines neuen Kraftwerksblockes mit n in der Reihe gekoppelten Elementen mit Sicherheitsfaktoren x_i, wobei nach (4) x_1 bis $x_m < 1$, $x_{m+1} \geqslant 1$ und $m \leqslant n$ sind, äußert sich nun mit den Formeln:

$$r = RQ_p^{-1} = 1 - X = 1 - x_1 x_2 \cdots x_m, \tag{15}$$

oder

$$r = 1 - (1 - a \log M_1)(1 - a \log M_2) \cdots (1 - a \log M_m). \tag{16}$$

Man kann sich Vergrößerungen der Anlagen von verschiedener Art vorstellen:

1. $\log M_i \approx 0$ bis 0,2. Man projektiert eine Anlage oder ein Element der Anlage mit einer in der Praxis erprobten und bewährten Kapazität, im Maßstab $M_i \approx 1$ und mit einem Sicherheitsfaktor $x_i \approx 1$. Zu dieser Gruppe kann man auch Fälle anschließen, wo der erste Block einen Defizit gegenüber der gewünschten Kapazität zeigt und nach den Betriebserfahrungen an diesem Block eine verbesserte Konstruktion ausgearbeitet wird.

2. $0{,}2 < \log M_i < 1$. Diese Vergrößerung (mit M von 1,5 bis 10) trifft man am häufigsten bei den Kapazitätssteigerungen und Weiterentwicklungen in verschiedenen Gebieten der Industrie, inklusive die Wärmekraftwerksblöcke. Als Basis der Vergrößerungen dienen Betriebserfahrungen und Forschungen meist bei den sich in Betrieb befindenden Anlagen. In diesem Fall kann man Sicherheitsfaktoren meistens von 0,7 bis 0,9 treffen.

3. $1 < \log M_i < 2$. Diese Kapazitätssteigerung betrifft gewöhnlich einen Bau einer Betriebsanlage nach Daten, die von einer industriellen Versuchsanlage herstammen. Die Sicherheitsfaktoren werden in diesem Fall meistens zwischen 0,6 und 0,7 eingeschätzt, z. B. nach M. N. Heydari [7].

4. $2 < \log M_i < 3{,}5$. Hier entsprechen die M_i-Werte einem Bau einer Betriebsanlage oder eines Anlageelementes nach Daten von einem prozessimitierenden Laborstand. Die Werte von x_i liegen zwischen 0,4 und 0,6.

5. $3{,}5 < \log M_i < 4$. In diesem Gebiet hat man mit trivialen Laborversuchen und Analysen zu tun, deren Ergebnisse als Unterlagen beim Errichten von Betriebsanlagen dienen. Von einem exakten Maßstab kann hier keine Rede sein, die Sicherheitsfaktoren liegen meistens unter 0,4.

6. Als letzte Stufe in dieser langen Reihe von $\log M_i$ kann man bedingterweise eine Planung (öfters eines neues Anlageelementes) nur nach theoretischen Kalkulationen, ohne Versuche, vorstellen. Es können x_i-Werte bis $x_i = 0$ vorkommen.

Betrachten wir noch mal das Beispiel der Rekonstruktion des 200-MW-Blockes zur Ölfeuerung mittels einer neuen zugehörigen Ölgewinnungsanlage aus dem festen Brennstoff, der früher direkt in Kesseln des Blockes verbrannt wurde. Die äußerst niedrigen Werte der real sich ausgezeichneten Größen der Sicherheitsfaktoren, $x_1 = 0$ und $x_2 = 0{,}1$ sind nicht aus der Vergrößerung der Kapazität der Ölgewinnungsanlage mit $M = 6$ abzuleiten. Der Maßstab $M = 6$ ($\log M = 0{,}8$) könnte viel höhere x-Werte, etwa zwischen

0,7 und 0,9, vorhersagen. Tatsächlich, der Wert $x_1=0$ entsprach einer falschen Voraussetzung, daß der feste Rückstand der Ölgewinnung umweltfreundlich ist, ohne experimentelle Bestätigung dieser Voraussetzung an der industriellen Versuchsanlage. Der Wert $x_2=0{,}1$ ist ein Ergebnis des unwirksamen Systems zur Separation des Mineralstaubes aus den Öldämpfen vor dessen Kondensation, das auch bei der Versuchsanlage unwirksam funktionierte und vorher konstruktiv nicht geprüft wurde.

In der Tabelle 1 sind Daten über die Entwicklung von Dampfkesseln mit Staubfeuerungen für einen «schwierigen» aschenreichen Brennstoff, den Ölschiefer gegeben [8].

Tabelle 1

Entwicklung der Ölschiefer-Staubfeuerungskessel in der UdSSR

Baujahre	Kesseltyp	M	$\log M$	Q_p kg/s	Q_f kg/s	r	a
1936	Staubfeuerungskessel (Gdow)	—	~3—3,5	1,8	~0,9	~0,5	~0,17
1950	ZKTI 75-39	23	1,36	20,8	13,5—14,5	0,30—0,35	0,22—0,26
1959—1969	TP-17	4,2—4,5	0,6—0,65	61,1	53—55	0,11—0,14	0,17—0,23
1960	BKS 75-39 FSL	1	0	20,8	20,8	0	—
1962—1966	TP-67 (Metallmasse 4538 t)	2,2	0,34	200*	170*	0,15	0,44
1969—1979	TP-101 (Metallmasse 6650 t)	1,2	0,08	200*	200*	0,0	—
Projekt	TP-218	1,05	0,02	210*	—	0,0	0,2
Projekt	Monoblock-Kessel	5	0,7	500**	—	0,14	0,2

* Kapazität eines Zweikesselblockes, MW
** Das gleiche, eines Monoblockes

Die Etappen 1—3 (Tab. 1), wo der Kesseltyp nicht wesentlich geändert wurde, außer Vergrößerung und mäßiger Dampfdruck- und Dampfüberhitzungstemperatur-Erhöhung, zeigen einen scheinbaren ** Wert der Faktoren $a=0{,}15-0{,}26$. Wesentlich größer ist der scheinbare Wert $a=0{,}44$ bei der Etappe 5, wo erstenmals bei Ölschieferverbrennung Zwischenüberhitzer angewendet wurden und wo damit große Schwierigkeiten mit Reinhaltung der weitentwickelten Hochtemperaturheizflächen von Ascheablagerungen und mit der Hochtemperaturkorrosion der Heizflächen die Dampferzeugungskapazität der Kesselanlagen stark reduzierten. Wenn man nun berücksichtigt, daß bei der Etappe 5 der Kessel mit Vergrößerung der Kapazität $M_v=2{,}2$ projektiert wurde, aber auch daß dabei die spezifische Überhitzungswärme für Dampf wegen der Zwischenüberhitzung noch um 40% höher war als bei vorigen Kesseln, kann man einen Maßstab der Vergrößerung der Dampfüberhitzungskapazität mittels gegen Korrosion hochempfindlicher Hochtemperaturheizflächen als $M_ü=3{,}1$ annehmen.

** Der a-Wert ist nach der Formel (14) mit $x_i=x_1\approx X$ bestimmt, ohne Berücksichtigung von Formeln (15) oder (16).

Mit der Formel (16) bekommen wir nun mit $a=0{,}2$ das Risiko:

$$r=1-(1-0{,}2\log M_v)(1-0{,}2\log M_{ü})=$$
$$=1-(1-0{,}2\log 2{,}2)(1-0{,}2\log 3{,}1)=0{,}16,$$

was ganz nahe zum tatsächlichen Risiko $r=0{,}15$ liegt.

Als eine Illustration wird die Tabelle 2 vorgeführt, wonach man über die Größe des Risikos bei verschiedenen etappenweisen Einführungen neuer Ausarbeitungen in die Praxis beurteilen kann. Als Unterlage zur Zusammenstellung der Tabelle diente die Formel (14*a*), mit dem Wert des Faktors $a=0{,}2$.

Tabelle 2

Risiko bei verschiedener Einführung neuer Ausarbeitungen in die Praxis (mit $a=0{,}2$ in der Formel $r=a\log M$)

Ausgangsstadium	Errichtung des grundlegenden industriellen Moduls		
	M	$\log M$	r
Theoretische Unterlagen	—	—	>1
Laboranlage	10000	4	0,8
Versuchsstand	1000	3	0,6
Industrielle Versuchsanlage	100	2	0,4
Industrieller Modul der ersten Generation	10	1	0,2
Das gleiche, grundlegend	1	0	0

Die Tabelle 2 zeigt, daß man mit einer etappenweisen Einführung neuer Ausarbeitungen der Wissenschaft und Technik das Risiko beachtenswert verringern kann.

Doch darf man dabei nicht vergessen, daß zum Ausführen einer Etappe eine Zeitspanne von 3 bis 5 Jahre als Minimum nötig wird. Was ist nun zweckmäßiger, Zeit zu verlieren, oder mit einem größeren Risiko die Einführung zu beschleunigen, müssen wirtschaftliche und wirtschaftsstrategische Untersuchungen und Kalkulationen zeigen. Dabei wird es sehr wichtig sein, die Größe des Risikos schätzen zu können, wozu die vorgeführte Abhandlung auch etwas beitragen möchte.

Zum Beispiel, wenn in der «greifbaren» Zukunft ein neues Kraftwerk mit Ölschieferverbrennung mit 500-MW-Blöcken vorgesehen wird, so wäre für die Verminderung des Risikos möglich, bei einer früher bevorstehenden Erweiterung eines mit 200-MW-Zweikesselblöcken ausgestatteten Ölschieferkraftwerkes um 800 MW, vier 200-MW-Monoblöcke mit einem Risiko $r\approx 0{,}06$ zu setzen. Das macht ungefähr ein Risiko $R_k\approx 3\cdot 10^6$ Rubel pro Monoblock aus. Beim Übergang zu einem 500-MW-Zweikesselblock ist aber dann mit $M=1{,}25$ und einem minimalen Risiko von $r\approx 0{,}02$, und zum 500-MW-Monoblock mit $M=2{,}5$ und $r\approx 0{,}08$ zu rechnen. Bei einem Kraftwerk von 2500 MW mit $n=5$ Blöcken sind es entsprechend $R_k=10\cdot 10^6$ oder $40\cdot 10^6$ Rubel. Beim direkten Übergang von 200-MW-Zweikesselblöcken zu 500-MW-Monoblöcken mit $M=5$ muß man mit einem ziemlich hohen Risiko mit $r\approx 0{,}14$ und $R_k\approx 70\cdot 10^6$ Rubel pro Kraftwerk rechnen.

Wird aber kein neues Kraftwerk vorgesehen, dann wird es zweckmäßiger, eine bevorstehende Erweiterung eines Kraftwerkes mit 200-MW-Zweikesselblöcken verbesserter Konstruktion mit $M=1$ und $r=0$ auszuführen, die später auch für Auswechseln von amortisierten 200-MW-Blöcken ohne Risiko eingesetzt werden könnten.

LITERATUR

1. *Lange, O.* Optimale Entscheidungen. Berlin, 1968.
2. *Lange, O.* Einführung in die ökonomische Kybernetik. Berlin, 1968.
3. *Седов Л. И.* Научные теории, модели и реальность. — Природа, 1984, № 11, 3—10.
4. *Henning, K.* Chaotisch-stochastische Systeme in der Technik. — Spectrum, 1984, **15**, Nr. 10, 1—4.
5. *Гурвич А. М.* Теплообмен в топках паровых котлов. Л.—М., 1950.
6. *Резняков А. Б., Бухман С. В., Алияров Б. К.* Гидродинамическое и огневое моделирование горения и камер сгорания в КазНИИЭ. — В кн.: Горение твердого топлива. Мат-лы IV Всесоюз. конф. Новосибирск, 1974, **11**, 18—25.
7. *Heydari, M. N.* Selection of appropriate technology for oil shale development based on a comparative analysis of surface retorting processes. — In: Proc. 6th IIASA Res. Conf. Golden, 1981.
8. *Эпик И. П.* Проблемы риска при внедрении достижений науки в производство: примеры из области энергетики и переработки сланцев. — Горючие сланцы, 1987, **4**, № 2, 113—119.

Akademie der Wissenschaften der Estnischen SSR

Eingegangen am 12. Okt. 1987

Ilmar ÖPIK

RIISIKOST TEADUSE JA TEHNIKA UUTE TULEMUSTE RAKENDAMISEL NING SEADMEÜKSUSE VÕIMSUSE SUURENDAMISEL (SOOJUSELEKTRIJAAMAPLOKI NÄITE VARAL)

Riisiko suurus R on esimeses lähenduses väljendatav elektrijaama energiaploki soovitud projektvõimsuse Q_p ja tegelikult saavutatud võimsuse Q_f vahena olukorras, kus $Q_f < Q_p$:

$$R = Q_p - Q_f$$

või dimensioonita kujul

$$r = RQ_p^{-1}.$$

Riisiko suurus oleneb lähteinformatsiooni iseloomust, esmajoones aga olemasolevate katseandmete ekstrapolatsiooni ulatusest uue projekti jaoks. Füüsikalise ja matemaatilise modelleerimisega ei ole võimalik keerulisi tehnoloogilisi süsteeme ammendava täpsusega kirjeldada [3—6]. Riisiko suurus peab siis olenema mastaabist M, mille võrra uus energiaplokk erineb katsetatud prototüübist, tööstuslikust katseseadmest või katsestendist.

Arvestades, et mastaabitegur M võib olla suurusega ühest kuni tuhandeteni, on ligikaudsete arvutuste puhul soovitatud kasutada riisiko suuruse logaritmilist olenevust mastaabist

$$r_i \approx a \log M_i,$$

kus i tähistab vastavat konstruktsiooni elementi ja tegur $a = 0{,}15 - 0{,}25$ (autori kogemuste alusel põlevkiviküttega energiaplokkide puhul).

Riisiko suurus r uue energiaploki rajamisel, mis koosneb n-ist järjestikku töötavast elemendist, mille seas on $m \leqslant n$ mastaabis $M = 1$ äraproovimata elementi, on väljendatav valemiga:

$$r = 1 - (1 - a \log M_1)(1 - a \log M_2) \cdots (1 - a \log M_m).$$

Uute konstruktsioonide tööstuslik kasutuselevõtt ilma olulise riisikota ($r \approx 0$) on võimalik ainult energiaplokkide tiražeerimisel, mis on kindla kütusega igakülgselt katsetatud naturaalsuuruses ($M = 1$). Riisikot saab oluliselt vähendada uute ideede etapiviisilisel rakendamisel (tab. 2). Kuid igaks etapiks kulub vähemalt 3—6 aastat, mis kogusummas võib anda suure ajakao.

Eesti NSV Teaduste Akadeemia

Toimetusse saabunud 12. X 1987

Ильмар ЭПИК

О РИСКЕ ПРИ ВНЕДРЕНИИ НОВЫХ РАЗРАБОТОК В ПРОИЗВОДСТВО И ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ АГРЕГАТНОЙ МОЩНОСТИ УСТАНОВОК (НА ПРИМЕРЕ ЭНЕРГОБЛОКОВ ТЭС)

В первом приближении величина риска R выражается разностью между желаемой проектной мощностью энергоблока Q_p и фактически полученной мощностью Q_f при $Q_f<Q_p$:

$$R=Q_p-Q_f$$

или в безразмерном виде:

$$r=RQ_p^{-1}.$$

Величина риска зависит от характера исходной информации, особенно от степени экстраполяции имеющихся опытных данных применительно к новому проекту. Методами физического и математического моделирования сложных технологических систем никогда не удается описать действительность исчерпывающим образом. Эти методы могут быть лишь более или менее точными [3—6].

Таким образом, величина риска должна зависеть от масштаба M, в котором будет построен производственный энергоблок относительно испытанного прототипа, ОПУ или стендовой установки. С учетом того, что величина M («масштабный фактор») может изменяться в широких пределах — от единицы до нескольких тысяч, для приближенного определения величины риска одного конструкционного элемента i предложена логарифмическая зависимость

$$r_i \approx a \log M_i,$$

где $a=0{,}15—0{,}25$ (по опыту автора).

Величина риска r при сооружении нового энергоблока, который состоит из n последовательно включенных элементов с факторами надежности x_i для каждого из них, причем x_1 до $x_m<1$, $x_{m+1}\geqslant 1$ при $m\leqslant n$, имеет вид

$$r=1-(1-a\log M_1)(1-a\log M_2)\cdots(1-a\log M_m).$$

Внедрение новых конструкций без существенного риска ($r\approx 0$) имеет место при «тиражировании» энергоблоков, которые до этого на данном топливе были всесторонне исследованы и испытаны в натуральную величину ($M=1$). Значительное уменьшение риска при внедрении новых идей достигается многоэтапным внедрением (табл. 2). Однако на каждый этап обычно требуется не менее 3—6 лет, что в сумме приводит к значительным потерям времени.

Академия наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
12/X 1987