

*И. П. ЭПИК*

**ПРОБЛЕМЫ РИСКА ПРИ ВНЕДРЕНИИ ДОСТИЖЕНИЙ  
НАУКИ В ПРОИЗВОДСТВО: ПРИМЕРЫ ИЗ ОБЛАСТИ  
ЭНЕРГЕТИКИ И ПЕРЕРАБОТКИ СЛАНЦЕВ**

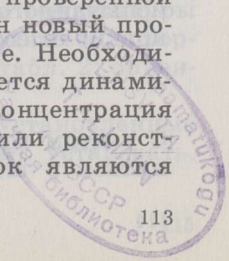
Любая, даже самая несомненная теория «видит» реальность сквозь призму идеальных моделей. С одной стороны, всегда приходится расплачиваться за несовершенство этого видения, с другой стороны — всегда открыта возможность его дальнейшего развития.

*Л. И. Седов*

Кардинальное ускорение научно-технического прогресса в производстве является главным стратегическим направлением интенсификации народного хозяйства в нашей стране. От эффективной материализации новых научных идей ожидается быстрое и коренное обновление производства. В то же время внедрение в практику новых идей и новых результатов научных работ ставит перед авторами много сложных вопросов: где и как реализовать разработки, сколько на это потребуется времени, какие выдать рекомендации, гарантии и «обещания» для проектировщиков и т. д.

Часто выдвигаются требования, чтобы любая новая идея, любой смелый замысел, а тем более ценное изобретение или технологическая разработка незамедлительно внедрялись в производство. Очевидно, что вопрос смелости ученого и конструктора, иными словами проблема риска при материализации новых достижений науки и техники, требует особого подхода и внимания при стремлении к ускоренному научно-техническому прогрессу в народном хозяйстве. Смелость, которая при оценке степени риска основывается на знании дела и компетентности, а также на готовности преодолевать трудности, возникающие при недостатке знаний о новом деле, является весьма положительным явлением. Однако «смелость», которая опирается на необоснованные надежды и недостаточную компетентность автора или, в лучшем случае, на его интуицию может привести к большим неудачам и дискредитировать серьезный и перспективный научный результат преждевременным, недостаточно подготовленным внедрением.

Рассмотрим случай, когда на основе уже известной, проверенной и применяемой в производстве технологии будет построен новый промышленный модуль, более мощный, чем все предыдущие. Необходимость такого подхода к развитию производства определяется динамическим развитием промышленности в нашей стране. Концентрация и укрупнение производственных мощностей, закрытие или реконструкция старых маломощных неэкономичных установок являются





основными чертами технического прогресса. В результате уменьшаются удельные капитальные затраты, ускоряется строительство, уменьшается потребность в рабочей силе, сокращаются расходы на АСУ, упрощается ремонт и т. д. Сооружение укрупненного предприятия за счет увеличения количества установленного малоомощного заводского оборудования («тиражирование») не может дать перечисленных прогрессивных результатов. Но в то же время увеличение единичной мощности оборудования и модулей против испытанной всегда является экстраполяцией и связано с определенным риском. Совсем не удивительно, что многие введенные в эксплуатацию производства длительного времени не могут достичь проектных отметок.

В Эстонской ССР в ходе бурного развития электроэнергетики на базе горючих сланцев в 1950—1975 гг., а также развития сланцепереработки за еще более продолжительный период накоплен определенный опыт внедрения новых результатов научных исследований и технических разработок в практику. Среди этих «накоплений» особо выделяются проблемы риска при внедрении, тесно связанные с ускорением научно-технического прогресса в народном хозяйстве [1].

Понятие риска при внедрении новых достижений науки и техники в производство пока что разработано совершенно недостаточно. Отсутствуют основы для определения и предсказания возможного ущерба от неполучения проектных параметров, необходимых затрат на доводку установки до проектных параметров, омертвления («замораживания») капитальных вложений и других средств, нерационального использования трудовых ресурсов, снижения темпов развития отрасли, повышения себестоимости единицы продукции и др. [2].

В первом приближении величина риска  $R$  выражается [1] разницей фактических капитальных затрат  $K_f$  и «номинальных» капитальных затрат по проектам и сметам  $K_p$ . При  $K_f > K_p$

$$R \approx K_f - K_p, \quad (1)$$

или, если дополнительные капитальные вложения на доводку фактически полученной мощности  $Q_f$  до номинальной (проектной) мощности  $Q_p$  не расходовались, при  $Q_f < Q_p$

$$R' \approx Q_p - Q_f. \quad (2)$$

Величина риска  $R$  зависит от характера исходной информации, особенно от степени экстраполяции имеющихся опытных данных применительно к новому проекту. Методы физического и математического моделирования сложных технологических систем никогда исчерпывающим образом не соответствуют действительности. Они могут быть лишь более или менее точными [3—5]. Рассмотрение совокупности полученных им правил подобного преобразования переменных величин привело А. М. Гурвича к заключению о невозможности точного воспроизведения по модели условий протекания сложного процесса, имеющих место в образце [3]. Точная «модель» должна сооружаться в натуральную величину (М 1 : 1), и моделирование в этом случае становится тривиальным.

Таким образом, величина риска  $R$  должна зависеть от масштаба  $M$ , в котором будет построен производственный модуль, относительно испытанного прототипа, опытно-промышленной или стендовой установки, то есть

$$R = f(M). \quad (3)$$

С учетом того, что величина  $M$  («масштабный фактор») может изменяться в широких пределах — от единицы до нескольких тысяч,



для приблизительного определения величины риска в безразмерном виде предложена логарифмическая зависимость

$$r \approx r' = RQ'_p \approx a \log M, \quad (4)$$

где величина множителя  $a$  определяется, вероятно, сложностью технологии сооружаемой установки.

На основе формулы (4) для примера составлена табл. 1, в которой  $a$  принят равным 0,2.

Таблица 1

Величина риска  $r$  при многоэтапном промышленном внедрении разработок новой техники (принято, что  $a \approx 0,2$ )

Исходный этап на пути внедрения	logM r					
	ЛУ	СУ	ОПУ	ПМ-I	ПМ-II	
Теоретические расчеты	—	>1	>1	>1	>1	>1
Лабораторная установка (ЛУ)	4	—	0,2	0,4	0,6	0,8
Стендовая установка (СУ)	3	—	—	0,2	0,4	0,6
Опытно-промышленная установка (ОПУ)	2	—	—	—	0,2	0,4
Промышленный модуль первого поколения (ПМ-I)	1	—	—	—	—	0,2
Промышленный модуль основной (ПМ-II)	0	—	—	—	—	0

Внедрение без существенного риска ( $R \approx 0$ ) имеет место при промышленном тиражировании изделий, производственных модулей или установок, которые до этого были всесторонне исследованы и испытаны в натуральную величину ( $M=1$ ). Такой путь внедрения характерен для приборостроения, выпуска изделий массового пользования, средств вычислительной техники и робототехники, для производства биопрепаратов и налаживания выпуска многих других видов небольших изделий и аппаратов.

В качестве примера такого тиражирования при  $M=1$  из области энергетического машиностроения можно указать на производство на Таллинском заводе Минэнергомаша «Ильмарине» износоустойчивых мазутных форсунок из безвольфрамового порошкового материала для котлов ТЭС и длинновыдвижных аппаратов водяной обмывки поверхностей нагрева паровых котлов. Это частично относится и к выпуску высокомарочного сланцевольного портландцемента, разработанного на базе тонких фракций летучей золы от пылесланцевых котлов.

Аналогичным образом создание усовершенствованных новых конструкций в масштабе  $M=1$  с учетом опыта работы существующих установок, как правило, должно осуществляться без риска ( $R=0$ ). Пример — пылесланцевые котлы БКЗ 75-39ФСЛ и ТП-101 в табл. 2, которая характеризует развитие паровых котлов для энергетического использования горючих сланцев в Прибалтике (нет данных о развитии котлов с топками слоевого сжигания в довоенное время).

Кроме масштабного фактора, сложные экстраполяционные прогнозы необходимы и по причине специфических свойств прибалтийских сланцев, которые обуславливают специфические коррозионные явления на поверхностях нагрева при росте параметров пара (повышение температуры воды и пара в котлах и вместе с тем температуры труб поверхностей нагрева). Величина множителя  $a$ , входящего в формулу (4), рассчитана на основе данных, приведенных в табл. 2; ориентировочно  $a \approx 0,15 \dots 0,25$ .

Сланцевые энергоблоки мощностью 100 и 200 МВт, установленные в 1959—1973 гг., уже частично устарели и продолжают устаревать.

Поэтому были рассмотрены варианты возможного замещения выбывающих мощностей: дубль-блоки мощностью 210 МВт с новыми котлами ТП-218, разработанными на базе усовершенствования котлов ТП-101 ( $r=0!$ ), и моноблока мощностью 500 МВт при  $M=5$  и  $r=0,14$ . Проектная сметная стоимость единицы установленной мощности в первом варианте (блоки по 210 МВт) на 10—20 % больше, однако эта разница может быть перекрыта дополнительными капитальными вложениями за счет риска в варианте с блоками по 500 МВт. В случае, когда варианты в финансовом отношении равнозначны, выбор типа замещающей мощности определяется рядом других факторов, рассмотрение которых выходит за рамки данной статьи.

Таблица 2

Этапы развития энергетических котлов на базе горючих сланцев

Годы	M	logM	Марка котла	$Q_p$ $Q_f$		$r', \%$	a
				кг/с			
1936—1941	—	~3—3,5	Пылесланцевый котел (г. Гдов)	1,8	~0,9	~50	~0,17
1950	23	1,36	ЦКТИ 75—39	20,8	13,5—14,5	30—35	0,22—0,26
1959—1969	4,2—4,5	0,60—0,65	ТП-17	61,1	53—55	11—14	0,17—0,23
1960	1	0	БКЗ 75-39ФСЛ	20,8	20,8	0	—
1962—1966	2,2	0,34	ТП-67 (масса металла 4538 т)	200*	170*	15	0,44
1969—1973	1,2	0,08	ТП-101 (масса металла 6650 т)	200*	200*	0	—
1984	12	1,08	Котел для сжигания сланцевой смолы от УГГ	210**	150**	29	0,27
Проект	1,05	0,02	ТП-218	210*	—	0***	—
„	5	0,7	Котел для моноблока	500**	—	0,14***	—

\* Мощность дубль-блока, МВт.

\*\* Мощность моноблока, МВт.

\*\*\* Принято:  $a=0,2$ .

Из табл. 1 очевидно, что значительное уменьшение риска при внедрении новых идей в производство достигается многоэтапным внедрением. Однако на каждый такой этап обычно требуется не менее 3—6 лет, что в сумме приводит к значительным потерям времени. Большое значение при многоэтапном внедрении имеет умение предвидеть и комплексно разрешать все существенные проблемы на предварительных этапах.

С факторами риска при рассмотрении проблем выбора оптимальной технологии для сланцепереработки в США оперировал М. Н. Гейдари\*. Для разных систем технологии на разных стадиях развития было принято:

$r=0,6$  для M от 90 до 1300 ( $\log M \approx 2—3$ );

$r=0,4$  для M=30 ( $\log M=1,5$ );

$r=0,25$  для M от 5 до 11 ( $\log M \leq 1$ ).

Во всех случаях величины риска приняты одинаковыми как для капитальных затрат, так и для прогнозируемой себестоимости продукции.

Рассмотрим для примера развитие установок термической переработки сланцев в Эстонской ССР. Шахтные реторты с внутренним обо-

\* См. материалы VI конференции ИИАСА по ресурсам, Гольден, США, 1981 — IASA Res. Conf., Golden, Colorado, U.S.A., 1981.



гревом для производства сланцевой смолы (по традиции называемые «газогенераторами») развивались поэтапно в течение 65 лет. К проектированию нового этапа приступали лишь после полного освоения генераторов предыдущего этапа. Основные этапы развития газогенераторов следующие (по суточной пропускной способности, т обогащенного кускового сланца) [6—8]:

1921 г. — опытно-промышленная установка, 8 т;

1925 г. — промышленные генераторы, 33—35 т ( $M=4$ );

1930-е гг. — 40—42 т;

1950-е гг. — 90—115 т ( $M=2-3$ );

1960-е гг. — 115—180 т;

1970-е гг. — введение в существующих генераторах поперечного потока теплоносителя, 190—200 т.

Скачком с  $M=6$  оказалось введение в работу в 1981 г. головного генератора, пропускающего 1000 т/сут. Однако на самом деле в 1981—1982 гг. его пропускная способность была в пределах 800—800 т/сут [8], то есть фактический риск составил 10—20 %. Достижение в отдельные периоды мощности до 1000—1100 т/сут дало возможность начать «тиражирование» этих генераторов с номинальной мощностью 1000 т/сут на ПО «Сланцехим» в Кохтла-Ярве.

Внедрение установок для переработки сланцевой мелочи с твердым (зольным) теплоносителем (УТТ) также проводилось поэтапно, однако оказалось неудачным [9, 10]. Пилотная установка пропускной способностью 2,5 т/сут была испытана в 1949—1956 гг., полупромышленная установка (пропускная способность 200 т/сут,  $M=80$ ) была пущена в 1954 г., и ОПУ-500 (пропускная способность 500 т/сут,  $M=2,5$ ) работала с 1964 по 1973 г. В 1980 г. был закончен монтаж первой УТТ-3000 ( $M=6$ ) и в 1982 г. — второй такой установки. Расходы на сооружение последних двух УТТ составили более 38 млн. руб. [10], однако, несмотря на большие эксплуатационные расходы в 1981—1986 гг., их нормальная работа до сих пор не налажена.

Причина такого положения — недостаточная отработка некоторых ответственных узлов УТТ на всех предыдущих этапах (эффективное отделение золы до конденсации сланцевой смолы, вопросы охраны окружающей среды). Таким образом, масштабные факторы  $M=80$ , 2,5 и 6 оказались фиктивными, а риск при сооружении УТТ-3000 определялся другими факторами и был неоправданно высоким.

Хотя газификация горючих сланцев в настоящее время в экономическом плане не актуальна, следует отметить крупномасштабное внедрение производства бытового газа из сланцев в камерных печах [11] в 1950—1960-е гг. Уже в 1945 г. на основе довоенного опыта использования сланцев на заводах бытового газа в Ленинграде, Таллине и Тарту началось сооружение в Кохтла-Ярве опытной батареи, состоящей из девяти камер (печей) промышленных размеров (высота около 10 м, длина 4 м и ширина 0,352/0,514 м). К концу 1960-х гг. число таких камер на двух комбинатах без особого технического риска при  $M=1$  было доведено до 561 (кроме 9 опытных камер были сооружены 24 батареи, каждая из 23 камер).

1. Эпик И. П. Примеры из опыта внедрения новых разработок в сланцевой теплоэнергетике // Развитие научных исследований в области технических наук в Эстонской ССР: Тез. респ. конф., Таллин, 15 и 16 окт. 1986. — Таллин, 1986. С. 176—179.
2. Тувальбаев Б. Г. Метод технико-экономической оптимизации проектных решений в энергетике на основе аналогового моделирования: Дисс. ВЗПИ. — М., 1984.
3. Гурвич А. М. Теплообмен в топках паровых котлов. — Л.; М., 1950.
4. Резняков А. В., Бухман С. В., Алияров Б. К. Гидродинамическое и огневое моделирование горения и камер сгорания в КазНИИЭ // Горение твердого топлива: Мат. IV Всесоюз. конф. — Новосибирск, 1974. Т. 11. С. 18—25.
5. Седов Л. И. Научные теории, модели и реальность // Природа. 1984. № 11. С. 3—10.
6. Rand M. Põlevkivi ja põlevkivitööstus Eestis. — Tallinn, 1925.
7. Ефимов В. М., Пийк Э. Э. Переработка сланца в газогенераторах // Тр. I Симп. ООН по разработке и использованию запасов горючих сланцев. — Таллин, 1970. С. 282—291.
8. Ефимов В. М., Дойлов С. К., Роокс И. и др. Термическая переработка кускового сланца в газогенераторах // Горючие сланцы. 1984. Т. 1. № 1. С. 81—90.
9. Уланен Я. С. Полукоксование мелкозернистого сланца с твердым теплоносителем // Тр. I Симп. ООН... С. 401—407.
10. Стельмах Г. П., Тягунов Б. И., Чикул В. И. и др. Энерготехнологическая установка для переработки мелкозернистого горючего сланца // Горючие сланцы. 1985. Т. 2. № 2. С. 189—195.
11. Серебрянников Н. Д. Производство бытового газа из сланцев // Тр. I Симп. ООН... С. 327—337.

Президиум Академии наук  
Эстонской ССР  
г. Таллин

Поступила в редакцию  
20.01.1987



**PROBLEMS OF RISK IN INTRODUCING ACHIEVEMENTS OF SCIENCE:  
ON AN EXAMPLE OF THE OIL-SHALE INDUSTRY**

The rapid development of Estonian oil-shale industry during 1950—75 has enabled us to obtain information on practical application of research results and different technological solutions. In this respect, the problem of risk is of particular importance, being directly related to furthering the progress of science and technology in the national economy. The scope of risk depends on the nature of source information and it is to be taken into account that methods of physical and mathematical modelling practically never coincide with real conditions. The extent of risk depends also on the scale according to which an industrial module will be constructed as compared to the prototype being tested.

In this paper, the scope of risk is discussed depending on the scale factor by introducing boiler units and shale-oil generators in Estonian oil-shale industry. Risk can be diminished by multistage introduction of new ideas and novel technologies. But the introduction of each stage takes 3 to 6 years and the whole introduction period will be dragged out. For instance, over a period of 65 years the capacity of shale-oil generators has increased from 8 to 1000 t/d. The design of a new stage was started only after the preceding stage had been brought to a commercial level. Actual risk in the last stage was 10—20 % as instead of the 1000 t/d designed a capacity of 800—900 t/d was achieved. Based on this result wider application of generators became possible.

The results attained in the field of thermal processing of powdered oil shale with solid heat carrier are not so notable. By 1980 a 3000 t/d generator was put into operation. Despite considerable operation expenses in 1981—86 no optimum mode of operation has been achieved yet. This is caused by inadequate analysis of operation of some most important links and the absence of corresponding solutions.

*Presidium of the Academy of Sciences  
of the Estonian SSR  
Tallinn*