

Е. Б. Дёмина

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СТРАТЕГИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРЕВООРУЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ С МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИМ ПРОИЗВОДСТВОМ

В статье предложены критерии эффективности технического перевооружения промышленного производства и методы выбора оптимальной стратегии технического перевооружения; приведены результаты их практической реализации в цехе машиностроительного предприятия.

Ключевые слова: промышленное производство, техническое перевооружение, оптимальная стратегия.

1. Введение

При анализе показателей эффективности работы предприятия далеко не очевидна необходимость в его техническом перевооружении. Предприятие представляет собой сложную организационно-техническую систему, состоящую из комплексов взаимосвязанных производств, каждое из которых характеризуется сложной структурой организации производственного и технологического процессов. Поэтому необходим дифференцированный подход, позволяющий на основании какого-то критерия принять решение о целесообразности проведения соответствующих мероприятий в том или ином производстве. Если оказывается, что необходимо проведение технического перевооружения в нескольких производствах, то этот критерий должен позволить расставить приоритеты. Учитывая, что существующие критерии позволяют оценить эффективность технического перевооружения только после его осуществления, на этапе принятия решения возникает риск получения затрат, не окупаемых за заданный период времени эффективностью от реализации проводимых мероприятий. Поэтому должен быть сформирован такой критерий, который позволял бы на основании фактических показателей эффективности отдельных производств за анализируемый период времени решать задачу их прогнозирования на заданный срок вперед, включающий в себя и возможный период технического перевооружения. Такой критерий должен быть комплексным, состоящим из нескольких локальных показателей.

Учитывая, что техническое перевооружение влечет за собой уменьшение объемов производства и вложение дополнительных средств, необходимо уметь сравнивать величины обобщенного критерия до и во время технического перевооружения. На основании этого сравнения могут быть спланированы его длительность и объем производства на

этапе технического перевооружения. Названные факторы должны быть такими, чтобы обеспечить минимум потерь предприятия вследствие простоев и выпуска некачественной продукции. Необходимые же для перевооружения средства должны быть сопоставимы с потерями предприятия в случае, если техническое перевооружение не проводится.

Одним из основных аспектов в проведении технического перевооружения, с учетом длительности этого процесса и неизбежного уменьшения объема выпуска продукции и производственных мощностей предприятия, становится выбор оптимальной стратегии, позволяющей реализовать комплекс запланированных мероприятий при минимуме снижения мощности производственного потенциала в этот период. При такой постановке задачи под оптимальной следует понимать такую стратегию, при реализации которой предприятие в период обновления промышленного потенциала (в дальнейшем — технического перевооружения) несет минимальные потери.

В общем случае, для принятия решения о целесообразности обновления промышленного потенциала и оптимизации соответствующего комплекса мероприятий, необходимо выбрать одну из альтернатив:

1. Оставить оборудование в работе на выбранный срок за счет разработки системы рациональной эксплуатации.
2. Оставить оборудование в работе на выбранный срок за счет оптимизации комплекса ремонтных работ.
3. Произвести замену оборудования новым, отвечающим перечисленным требованиям.

Выбор первой из альтернатив ставит необходимость оптимизации технического обслуживания оборудования за счет оптимального распределения регламентированных и нерегламентированных работ и оптимизации соответствующих временных графиков, а также необходимость выбора оптималь-

ных технологических режимов в зависимости от входных параметров технологических процессов.

Выбор второй и третьей из альтернатив ставят необходимость оптимального распределения привлеченных средств на проведение выбранного комплекса мероприятий по группам оборудования.

В любом случае, для оценки каждой из выбранных альтернатив необходимо уметь оценить убытки, связанные с их реализацией. Критерием оценки может быть выбран обобщенный критерий эффективности технического перевооружения, который представляется суммарными затратами предприятия, связанными с выпуском некачественной продукции, и затратами от простоев оборудования, т. е. локальными критериями, описанными выше.

2. Состояние вопроса и задачи исследования

Принятие решения о целесообразности технического перевооружения и оптимизации соответствующего комплекса мероприятий является сложной задачей, т. к. выбирая определенную стратегию для реализации соответствующей альтернативы зачастую приходится принимать решения в условиях неполной информации. Как следствие, предприятие может нести убытки, величина которых зависит не только от выбранной стратегии, но и от внешних условий, в которых приходится принимать решения. Таким образом, задача выбора оптимальной стратегии проведения технического перевооружения может быть представлена статистической игрой [1–3], в которой наилучшим будет байесовское действие [4], минимизирующее потери предприятия:

$$R_{opt}(\xi) = \min L(\xi, a) = L(\xi, a_{opt}), \quad (1)$$

где $R_{opt}(\xi)$ — минимальные потери предприятия при выборе оптимальной стратегии перевооружения, $L(\xi, a)$ — средние потери, которые несет предприятие при выборе того или иного действия a , a_{opt} — байесовское действие, ξ — априорное распределение вероятностей, характеризующих возможные внешние условия.

Знание последней величины является исходным для оценки предприятием функции потерь, представляющей собой аналитическое или матричное описание потерь при всех возможных стратегиях и различных внешних условиях. Знание же функции потерь позволяет предпринимать наилучшие действия в условиях имеющейся информации о внешних условиях.

При матричном описании функции потерь каждая строка матрицы представляет собой величину потерь при реализации различных стратегий для определенной априорной вероятности внешних условий, а каждый столбец — величину потерь при реализации одной выбранной стратегии и раз-

личных априорных вероятностей внешних условий. По сути, каждый элемент матрицы функции потерь — это количественная оценка выбранного критерия эффективности технического перевооружения. Данная оценка и представляет собой сформированный обобщенный критерий эффективности. Таким образом, на основании предложенного критерия может быть составлена матрица функции потерь. Выбор оптимальной стратегии может быть осуществлен из класса допустимых стратегий: либо на основании принципа минимакса, минимизирующего максимальные потери предприятия при наихудших внешних условиях, в которых приходится принимать решение, либо с помощью байесовского принципа, усредняющего потери предприятия при всех возможных внешних условиях [4]. Под внешними условиями необходимо понимать возможные состояния оборудования промышленных производств:

- Состояние 1 — оборудование работоспособно и для выпуска качественной продукции достаточно проведения текущих ремонтов и планового технического обслуживания.
- Состояние 2 — детали и узлы оборудования изношены, величина простоев вследствие непланового обслуживания значительна, вероятность выпадения показателей качества продукции за установленные границы велика, необходима оптимизация плановых и неплановых ремонтов, регламентированного и нерегламентированного технического обслуживания.
- Состояние 3 — дальнейшая эксплуатация оборудования становится невозможной из-за низкой функциональной и параметрической надежности и большой интенсивности отказов, срочно требуется проведение технического перевооружения.

3. Применение байесовских стратегий для оптимизации проведения технического перевооружения на основании обобщенного показателя эффективности

Для задания в матрице функции потерь вероятностей названных внешних условий необходим анализ фактического состояния отечественных промышленных производств. В табл. 1 представлены априорные данные о состоянии ряда промышленных предприятий Харьковского и Полтавского регионов за период с 1994 по 2000 г.

Из табл. 1 видно, что для представленных предприятий вероятность состояния 1 составляет 12,5 %, состояния 2 — 50 %, состояния 3 — 37,5 %. Однако для задания вероятности в матрице функции потерь необходим анализ состояний предприятий с однотипным характером производства: машиностроительные предприятия, строительные

предприятия, металлургические предприятия и т. д. Так, для предприятий машиностроительного профиля вероятность состояния 1 соответствует нулю, состояния 2 — 75 %, состояния 3 — 25 %, для предприятий строительного профиля вероятность состояния 1 соответствует 50 %, состояния 2 — 0 %, состояния 3 — 50 %, для предприятий металлургического профиля вероятность состояния 1 соответствует нулю, состояния 2 — 50 %, состояния 3 — 50 %.

Таблица 1

Данные о фактическом состоянии промышленных предприятий

Предприятие	Состояние 1	Состояние 2	Состояние 3
Завод ГЖБ ОАО «Южспецстрой», г. Чугуев			+
АО Машиностроительный завод «Красный Октябрь», г. Харьков			+
АО «Стройинвест», г. Харьков	+		
ОАО «Вторцветмет», г. Харьков			+
ОАО «Кредмаш», г. Кременчуг		+	
ОАО «Сталелитейный завод», г. Кременчуг		+	
ОАО «Вагоностроительный завод», г. Кременчуг		+	
СП ХЗ ПТО, г. Харьков		+	

Как видно из этих данных, фактическая вероятность любого состояния зависит от количества анализируемых однотипных предприятий, и чем большее их количество включается в анализируемую выборку, тем достовернее получается результат. Если конкретное предприятие ограничено в возможностях сбора априорной информации, необходимо выбрать стратегию, сводящую к минимуму ошибку принятого решения из-за неточности оценки состояния внешних условий. В этом случае более подходит минимаксный принцип.

Для выбора предприятием оптимальной стратегии, минимизирующей средние потери по критерию 1, должны быть рассмотрены все возможные варианты с учетом ограничений, обусловленных конкретными особенностями производства на данном предприятии. Средние потери при различных вариантах выбора могут быть рассчитаны как суммы произведений потерь при выбранной стратегии на вероятности соответствующих внешних условий [4]:

$$L(\xi, a_i) = \sum_{\vartheta} L(\vartheta, a_i) \xi(\vartheta_i). \quad (2)$$

При этом класс допустимых стратегий описывается уравнением нижней границы области допустимых стратегий:

$$S = \omega C_1 + (1 - \omega) C_2, \quad (3)$$

где C_1, C_2 — координаты в факторном пространстве потерь предприятия, ω — коэффициент вероятности, принимающий значение в диапазоне $0 \leq \omega \leq 1$, S — граница области допустимых стратегий.

Байесовская стратегия описывается функцией потерь (4):

$$L(\xi, \eta) = L(\vartheta_1, \eta) \vartheta_1 + L(\vartheta_2, \eta) \vartheta_2. \quad (4)$$

На основании изложенных методов выбора стратегии проанализированы фактические производственные данные. Оптимальный директивный срок проведения мероприятий по техническому перевооружению и возможные капитальные вложения определены как результат решения оптимизационной задачи с помощью ридж-анализа [5].

В табл. 2 приведены расчетные результаты по определению фактических потерь предприятия при оптимальных значениях влияющих факторов — готовом объеме производства и длительности производства.

Таблица 2

Фактические потери предприятия при оптимальных значениях факторов

Годовой объем производства, грн	Длительность производства при заданном объеме, мес	Фактические потери предприятия, грн
57525351	35,5	3777538
54875132	35,1	3544412
53470172	34,9	3426082
50987013	34,6	3224694
48851648	34,4	3058461
45346327	34,1	2797241
43211429	33,9	2644133
38438596	33,7	2314955
34795455	33,6	2073513
29569231	33,5	1738580
17487179	33,6	1001477

Результаты математического моделирования представлены в виде поверхности отклика в пространстве факторов «объем производства — длительность производства» на рис. 1.

Анализ полученных результатов показал, что, например, при плановом объеме производства на анализируемом предприятии 35 млн. грн. возможный директивный срок проведения технического перевооружения составляет 33,6 месяца. При этом капитальные вложения за этот период, соответствующие возможным суммарным потерям, составляют 2073513 грн., т. е. в среднем, 61712 грн. Если предприятие не проводит техническое перевооружение, то средние потери в месяц составляют 62775 грн.

Если предприятие не в состоянии обеспечить выпуск продукции в заданном объеме при проведении технического перевооружения и вынуждено

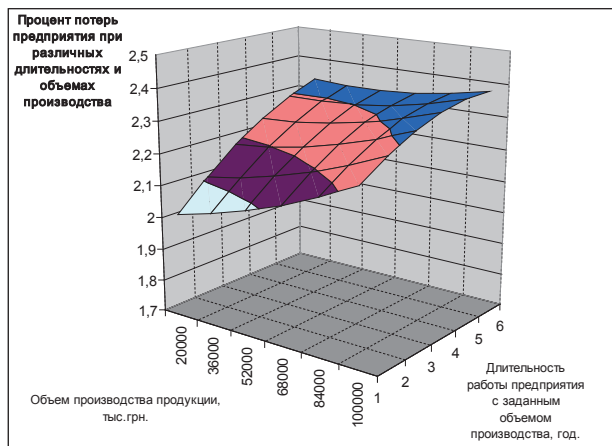


Рис. 1. Результаты моделирования процента потерь предприятия

идти на снижение объема производства, то максимальная сумма капитальных вложений в перевооружение будет ограничена разницей между возможными потерями при базовом и уменьшенном объеме производства. Альтернативой может быть компенсация средств от увеличения объема реализации готовой продукции, выпущенной в предшествующие периоды, например со склада готовой продукции.

Из табл. 2 видно, что предприятие может снизить объем производства продукции до 29,5 млн. грн. При этом уменьшение возможных средств на техническое перевооружение составит 334933 грн. и будет ограничено 1738580 грн.

Для выбора оптимальной стратегии на предприятии рассматривалось четыре варианта:

1. Объем производства оставить на уровне 35 млн. грн., установить директивный срок технического перевооружения 33,6 месяца и запланировать затраты на техническое перевооружение в сумме 2073513 грн.
2. Объем производства снизить до уровня 30 млн. грн., установить директивный срок технического перевооружения 33,5 месяца и запланировать затраты на техническое перевооружение в сумме 1738580 грн.
3. Объем производства снизить до уровня 30 млн. грн., установить директивный срок технического перевооружения 33,6 месяца и за-

планировать затраты на техническое перевооружение в сумме 2073513 грн.

4. Объем производства оставить на уровне 35 млн. грн., установить директивный срок технического перевооружения 33,5 месяца и запланировать затраты на техническое перевооружение в сумме 1738580 грн.

Вероятные состояния для расчета затрат предприятия при реализации выбранных мероприятий были взяты в соответствии с данными, приведенными в табл. 3. Рассматриваемые четыре варианта соответствовали четырем возможным стратегиям.

В табл. 3 представлены данные для выбора байесовского действия.

Из табл. 3 видно, что минимальные средние потери достигаются при реализации стратегии a_2 , следовательно стратегия a_2 и будет байесовским действием. В результате приведенных расчетов на предприятии должно быть принято решение о проведении технического перевооружения в течение 33 месяцев и вложении в техническое перевооружение 1738580 грн. Снижение объема производства может быть скомпенсировано увеличением объема реализации готовой продукции со склада предприятия.

4. Разработка показателя эффективности технического перевооружения на основе критерия оптимизации распределения средств

Задача выбора оптимальной стратегии решается одновременно с выбором приоритетов для реализации соответствующих мероприятий. При этом целесообразно учитывать не только критерии затрат для различных групп оборудования или различных производств, входящих в структуру предприятия, но и критерии надежности и показатели качества, обеспечиваемые этими производствами. Например, при исследовании целесообразности проведения технического перевооружения на машиностроительном предприятии после дифференцированных расчетов приведенных и эксплуатационных затрат следует оценить потенциальные возможности

Таблица 3

Априорные вероятности состояний и затраты предприятия при выборе стратегии проведения технического перевооружения

Состояние предприятия (ϑ)	Вероятность состояния $\xi(\vartheta)$	Среднемесячные затраты при выбранных стратегиях предприятия, грн.			
		№ 1 (a_1)	№ 2 (a_2)	№ 3 (a_3)	№ 4 (a_4)
Техническое перевооружение не проводится, оптимизируется график регламентированных и нерегламентированных работ по техническому обслуживанию и ремонту (ϑ_1)	0,75	62775	54105	54105	62775
Техническое перевооружение проводится в установленные сроки (ϑ_2)	0,25	61712	51898	61712	51888
Средние потери предприятия при различных способах действия, $L(\xi, a_i)$		62509,25	53553,25	56006,75	60053

по обеспечению требуемого качества продукции базовых производств, от эффективности работы которых зависят показатели надежности других производств и, в конечном счете, качество готовых изделий.

Если приоритеты выбраны и принято решение о проведении мероприятий по техническому перевооружению какого-либо производства или комплекса производств, необходимо решить оптимизационную задачу распределения средств. При решении данной задачи следует учитывать прогнозные сроки завершения планируемых мероприятий, динамику затрат и доходов в эти периоды, а также интенсивность распределения работ. Одним из методов оптимизации может быть последовательный симплекс-метод [6]. В этом случае в качестве независимых переменных выбираются эксплуатационные затраты при внедрении планируемого мероприятия за заданный период и капитальные вложения за этот же период в новое оборудование, технологии и технические средства. Критерием оптимизации выбираются суммарные затраты за директивный срок. Последний может соответствовать оптимальной длительности, рассчитанной на основе ридж-анализа. Одновременно определяется и сумма средств, вкладываемых в техническое перевооружение. Эта сумма при заданном объеме производства может соответствовать потенциальным суммарным потерям предприятия. Сравнение полученных на основании ридж-анализа оптимальных результатов планирования и фактических потерь предприятия, не проводящего техническое перевооружение, позволяет выбрать оптимальную стратегию.

При уменьшении объема производства продукции на этапе технического перевооружения величину капитальных вложений целесообразно определять разностью потенциальных потерь при фактически выбранных объемах производства. Если предприятие располагает готовой нереализованной продукцией, выпущенной в предшествующие сроки, то реализация этой продукции, очевидно, может компенсировать вынужденное уменьшение объема производства.

Для выбора приоритетов проведения технического перевооружения можно применить описанную выше методику определения затрат, которые несет предприятие с учетом дифференцирования по типам производств. При этом внутри предприятия должны быть выделены основные типы производств, позволяющие классифицировать оборудование по технологическому назначению. Такими производствами внутри машиностроительного предприятия могут быть:

1. Металлургическое производство (литейное, кузнечно-прессовое и термическое оборудование, гальваническое и электросварочное оборудование).

2. Механообрабатывающее производство (металлорежущее и деревообрабатывающее оборудование).

3. Сборочное производство.

Для расчетов могут быть использованы фактические данные о простоях по типам оборудования и доле брака по видам производств.

На рис. 2–6 приведены диаграммы распределения времени работы оборудования по группам в исследуемом периоде времени на ОАО «Кременчугский завод дорожных машин», построенные на основе фактических производственных данных за период с 1994 по 1998 г.

Применение предложенных показателей, связанных с анализом суммарных затрат предприятия по причине параметрических и функциональных отказов оборудования, к каждому из «внутренних» производств предприятия позволяет выбрать как рациональную последовательность проведения технического перевооружения по типам производств, так и оптимальную стратегию его реализации. В частности, может быть установлен

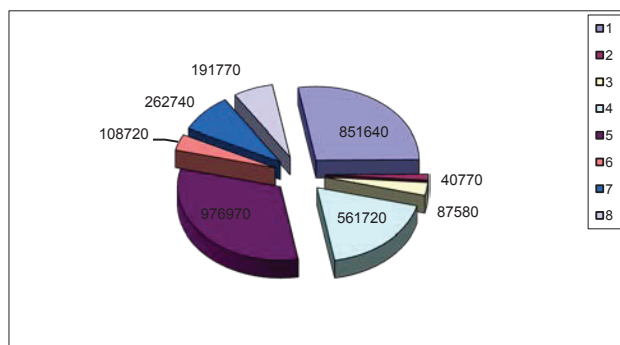


Рис. 2. Распределение времени работы оборудования по группам в 1994 г.: ряд 1 — металлорежущее оборудование, ряд 2 — деревообрабатывающее оборудование, ряд 3 — литейное оборудование, ряд 4 — электросварочное оборудование, ряд 5 — подъемно-транспортное оборудование, ряд 6 — гальваническое оборудование, ряд 7 — кузнечно-прессовое оборудование, ряд 8 — прочее оборудование

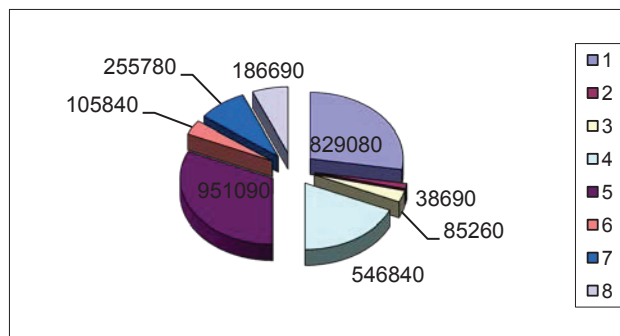


Рис. 3. Распределение времени работы оборудования по группам в 1995 г.: ряд 1 — металлорежущее оборудование, ряд 2 — деревообрабатывающее оборудование, ряд 3 — литейное оборудование, ряд 4 — электросварочное оборудование, ряд 5 — подъемно-транспортное оборудование, ряд 6 — гальваническое оборудование, ряд 7 — кузнечно-прессовое оборудование, ряд 8 — прочее оборудование

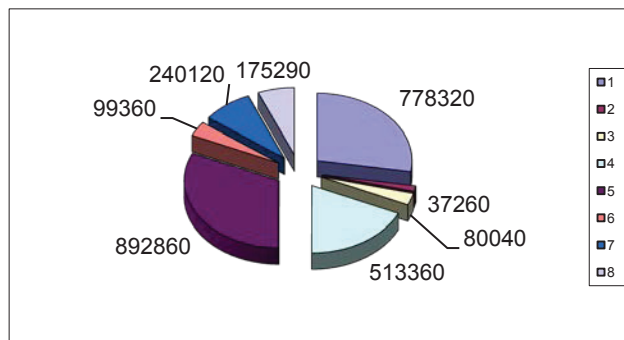


Рис. 4. Распределение времени работы оборудования по группам в 1996 г.: ряд 1 — металлорежущее оборудование, ряд 2 — деревообрабатывающее оборудование, ряд 3 — литейное оборудование, ряд 4 — электросварочное оборудование, ряд 5 — подъемно-транспортное оборудование, ряд 6 — гальваническое оборудование, ряд 7 — кузнечно-прессовое оборудование, ряд 8 — прочее оборудование

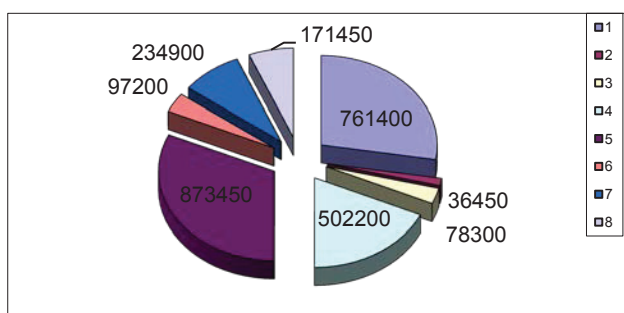


Рис. 5. Распределение времени работы оборудования по группам в 1997 г.: ряд 1 — металлорежущее оборудование, ряд 2 — деревообрабатывающее оборудование, ряд 3 — литейное оборудование, ряд 4 — электросварочное оборудование, ряд 5 — подъемно-транспортное оборудование, ряд 6 — гальваническое оборудование, ряд 7 — кузнечно-прессовое оборудование, ряд 8 — прочее оборудование

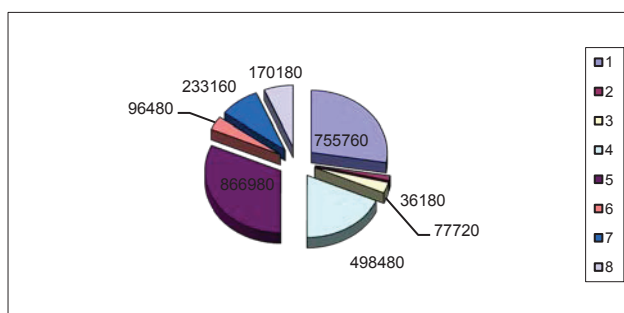


Рис. 6. Распределение времени работы оборудования по группам в 1998 г.: ряд 1 — металлорежущее оборудование, ряд 2 — деревообрабатывающее оборудование, ряд 3 — литейное оборудование, ряд 4 — электросварочное оборудование, ряд 5 — подъемно-транспортное оборудование, ряд 6 — гальваническое оборудование, ряд 7 — кузнечно-прессовое оборудование, ряд 8 — прочее оборудование

оптимальный директивный срок и величина вкладываемых средств для каждого производства. После того, как эта задача становится решенной, возникает вопрос о распределении средств по выполняемым работам и вопрос об эффективности этого распределения. Именно эффективность распределения средств может тоже считаться одним

из показателей эффективности технического перевооружения. Действительно, от того, насколько правильно распределены средства, зависит длительность простоев предприятия по причине технического перевооружения и затраты предприятия, связанные с техническим перевооружением. Чем больше эти величины, тем менее эффективным может считаться техническое перевооружение.

Задача оптимального распределения средств на проведение любого комплекса работ является классической и для ее решения применяется множество хорошо разработанных методов линейного и нелинейного программирования, а также хорошо известных методов сетевого планирования. Все эти методы существуют давно и доступны для реализации практически любому экономисту (особенно это касается методов сетевого планирования). Однако, несмотря на это, подробный анализ эффективности этих методов позволяет «вскрыть» некоторые принципиальные моменты, не сразу очевидные, которые могут значительно упростить задачу оптимизации проведения технического перевооружения и выбрать целесообразные показатели оценки его эффективности. Проведем этот анализ.

Линейное программирование. Этот метод можно эффективно применять при решении различных планово-производственных задач, в которых исследователь имеет достаточно широкий выбор вариаций различных параметров и ограничений на эти параметры [7–8]. К числу «классической» постановки задачи, применительно к техническому перевооружению, можно отнести такую постановку:

- Предприятию для осуществления нескольких разных комплексов работ, связанных, например, с подготовкой перевооружения, транспортными операциями, демонтажем старого оборудования, строительными работами для установки нового оборудования, монтажом и отладкой оборудования и т. д., требуется различное количество ресурсов, причем запасы каждого вида ресурса ограничены. Необходимо при известном расходе ресурсов на каждую работу в каждом из комплексов работ установить, как распределить средства (ресурсы), чтобы обеспечить минимум затрат на проведение всего комплекса работ.

- Для замены старых технологических процессов новыми необходимо несколько видов ресурсов, имеющих ограниченные запасы. Требуется определить, в каком количестве выпускать продукцию каждого вида, чтобы доход от реализации этой продукции был максимальным, если по каждому из технологических процессов известен расход ресурсов на единицу продукции.

Для решения этой задачи рассматриваемым методом составляется система линейных уравнений, каждое из которых связывает между собой вкладываемые средства в рассматриваемую работу

и ограничения средств, и целевая функция, которая должна минимизироваться. Решением системы являются затраты по каждой из работ. Для нахождения решения используют алгебру симплекс-метода или табличные методы нахождения оптимального решения. Сущность симплекс-метода заключается в следующем. Находится любое допустимое базисное решение и проверяется, не достигнут ли уже минимум целевой функции. Если найденное решение не обеспечивает минимум целевой функции, определяют новое допустимое базисное решение, причем такое, которое уменьшает значение целевой функции на некоторую величину. После этого процедура проверки достижения минимума повторяется. Как правило, минимум целевой функции достигается быстро, так как метод позволяет исключать из рассмотрения большое число базисных решений, заведомо не являющихся оптимальными и не обращающими целевую функцию в минимум. Недостатком симплекс-метода является громоздкость преобразований систем линейных уравнений из одной формы в другую. Поэтому для ускорения расчетов применяют табличные методы, позволяющие с помощью ПЭВМ производить пересчет коэффициентов уравнений в таблицах. Если число уравнений и неизвестных велико, и поэтому сложно определить начальное допустимое базисное решение, применяют специальные способы поиска начального допустимого базисного решения.

В задаче распределения ресурсов по работам, как правило, дополнительно задаются вопросом о ценности ресурсов, имеющихся в распоряжении предприятия. Так, считается, что ресурсы, которые предприятие не может полностью использовать, имеет для него низкую ценность с той точки зрения, что даже незначительные затраты, связанные с увеличением запасов этих ресурсов, нецелесообразны. Например, если речь идет о дорогостоящем (хоть и современном) оборудовании, которое по той или иной причине невозможно использовать в технологическом процессе. В этом случае принято считать, что каждый вид ресурса обладает так называемой «теневой ценой», определяющей ценность для предприятия данного ресурса. Эта ценность определяется потенциальным доходом от реализации выпускаемой продукции и зависит от наличного запаса этого ресурса и потребности в нем предприятия для выпуска продукции. Если техническое перевооружение включает в себя не только замену оборудования, но и замену технологических процессов, и предприятие по каким-либо причинам ограничивается одним технологическим процессом, требующим существенных затрат некоторого ресурса, запасы которого ограничены, «теневая цена» этого ресурса будет велика. Задача оптимизации «теневых цен» и распределения при этом ресурсов носит название двойственной задачи линейного программирования.

Если ограничения на ресурсы носят характер какой-то функциональной зависимости, то задача об оптимальном распределении ресурсов становится задачей нелинейного программирования. Для ее решения находятся «седловые точки» функции Лагранжа (из условий Куна-Таккера), в частности методами квадратичного программирования [4].

Сетевое планирование. В ее рамках основное внимание уделяется определению порядка выполнения работ какого-то комплекса, включающего в себя большое число исполнителей и значительные материальные затраты (затраты ресурсов). Одной из целей планирования является составление расписания [9]. При составлении расписания какая-либо целенаправленная деятельность рассматривается как неких протекающий во времени процесс, называемый программой, и заключающийся в реализации определенной совокупности работ. Выполнение каждой такой программы обязательно имеет ряд ограничений и условий, затрудняющих ее выполнение. К ним, в частности, относят ограничения, описывающие взаимозависимость выполнения работ, и ограничения, связанные с наличием ресурсов. Первый тип ограничений каждой из выполняемых работ ставит в соответствие некоторое множество непосредственно предшествующих работ, без выполнения которых невозможно начать данную работу, а также ряд «внешних» факторов, без выполнения которых данная работа не может быть выполнена. Введение второго типа ограничений, связанного с ограниченностью ресурсов, которые могут быть выделены на выполнение программы, требует выполнения такого условия: единичная порция работы или выполняется полностью, если ресурс на нее выделен в полном объеме, или не выполняется совсем, если ресурс не выделен в полном объеме. Иногда предполагается, что объем выполнения работы зависит от количества выделенных ресурсов.

Задача на составление расписания сводится к тому, что для каждого интервала времени, на котором выполняется комплекс работ, выбирается перечень работ, выполняемых в этом интервале, а также объем каждой из этих работ с учетом накладываемых на них ограничений первого и второго типов. Оптимальным вариантом расписания (оптимальным решением задачи на составления расписания) считают такой вариант, при котором суммарная длительность выполнения всего комплекса будет минимальной (так называемый директивный срок).

Если построен сетевой график, описывающий последовательность выполнения работ и их длительности, зачастую применяют коррекцию. Например, распределение ресурсов делают более равномерным за счет смещения начала выполнения работ, имеющих резервы времени. Если же длительность выполнения комплекса работ велика, стремятся ее сократить. Для решения этой задачи, как правило, считают, что с вложением дополнительных средств

длительность работ сокращается. При этом, если дополнительно вкладываемые средства незначительны, зависимость длительности выполнения работ от дополнительно вкладываемых средств считают линейной [4]:

$$\tau'_i = \tau_i(1 - b_i x_i), \quad (5)$$

где τ_i — первоначально запланированная длительность выполнения i -й работы, x_i — дополнительно вкладываемые в i -ю работу средства, τ'_i — новая (уменьшенная по сравнению с исходной) длительность i -й работы, b_i — известный для i -й работы коэффициент.

Задача ставится таким образом: рассчитать дополнительные вложения x_i в каждую из работ таким образом, чтобы уложить весь комплекс работ в заданный срок, меньший, чем исходный директивный срок.

С учетом ограничений на последовательность выполнения работ и на средства, вкладываемые в каждую из работ, зависимость длительности работ от вложенных средств имеет вид:

$$t_i = v_i + \tau_i(1 - b_i x_i), \quad v_i \geq 0, 0 \leq x_i \leq c_i, \quad (6)$$

где v_i — момент начала i -й работы, t_i — момент окончания i -й работы, c_i — максимальный объем средств, который может быть вложен в i -ю работу.

Для решения этой задачи применяют методы линейного программирования, считая, что неизвестными являются дополнительные вложения x_i в каждую из работ и сроки начала каждой работы v_i . Как правило, решение задачи представляет трудности, связанные с большим количеством неизвестных и налагаемых на них ограничений. Для упрощения решения предполагают, что, так как общее время выполнения комплекса работ полностью определяется длительностью работ, лежащих на критическом пути, то все решение можно свести к построению зависимостей только для работ, лежащих на критическом пути.

Применение приведенной выше зависимости для определения необходимых затрат представляет некоторые трудности. Во-первых, коэффициенты b_i далеко не всегда известны для каждой из работ; во-вторых, зависимость между дополнительно вкладываемыми средствами и новой длительностью работ не является непосредственной, так как средства могут вкладываться с совершенно разными назначениями: в материалы, транспорт, работу исполнителей и т. д. Однако, учитывая, что на выполнение определенной работы существуют вполне определенные нормы расхода материалов, дополнительные средства, которые должны сократить время выполнения комплекса работ, должны быть предназначены по большей мере для персонала, выполняющего работы. Поэтому, в общем виде было бы более корректным использовать такой показатель:

$$\tau'_i(n) = \tau_i(n)(1 - b_i(n)x_i(n)), \quad (7)$$

где n — количество персонала-исполнителя работ.

При построении такой зависимости уже предполагается, что дополнительно вкладываемые средства предназначены для увеличения числа исполнителей, причем с увеличением последнего длительность выполнения работ сокращается. Если дополнительные средства не вкладываются, то, согласно исходной зависимости, новая длительность выполнения работ равна исходной длительности. Зависимость считается линейной, если вкладываемые средства невелики и ограничены. Если в исходную зависимость ввести функцию от числа персонала, то очевидность в эффективности ее применения становится меньшей. Действительно, чтобы определить, как изменится длительность выполнения работ при изменении количества персонала, нужно знать, как выглядят функции $\tau'_i(n)$, $\tau_i(n)$, $(b_i(n), x_i(n))$. Получение этих зависимостей представляет большую сложность, поэтому применение этого показателя эффективности становится нецелесообразным. Фактически, исходная зависимость могла бы служить одним из показателей эффективности технического перевооружения уже на этапе его осуществления, так как возможность оптимального распределения средств на этапе реализации мероприятий по техническому перевооружению предопределяет затраты предприятия, зависящие от длительности выполнения запланированного комплекса работ. Альтернативой, с учетом трудности получения указанных выше функциональных зависимостей, является «промежуточная» зависимость, которая может быть построена из следующего очевидного предположения. С увеличением количества персонала до некоторого значения (превышение которого приведет к наличию «лишних» людей) длительность выполнения работ будет уменьшаться обратно пропорционально их количеству. Коэффициент этой обратной пропорциональности будет представлять собой не что иное, как отношение «старой» длительности работы к «новой» длительности, приходящееся на одного исполнителя. Т. е. это будет мера эффективности использования каждого человека, которая определит, во сколько раз изменится длительность работ с добавлением каждого исполнителя. С учетом этого предположения зависимость длительности выполнения работ от количества персонала выразится уравнением:

$$\tau'_i = \frac{\tau_i}{a_i n_i}. \quad (8)$$

Второй зависимостью можно будет принять зависимость затрат предприятия от длительности выполнения работ. Действительно, чем дольше выполняются работы, тем дольше простаивает

соответствующий участок или отделение цеха, не выпуская при этом продукцию. Если исходить из того, что средства, вкладываемые в техническое перевооружение, сопоставимы с потерями вследствие простоев, то эту зависимость можно построить, исходя из планируемой длительности выполнения работ и планируемых на выполнение этих работ средств. Построив эту зависимость и подставив в нее зависимость длительности выполнения работ от количества персонала, можно получить первую из искомых зависимостей затрат предприятия от количества персонала. Функция, описывающая эту зависимость, должна быть убывающей, так как с увеличением количества персонала длительность выполнения работ сокращается, а, следовательно, сокращаются затраты вследствие простоев предприятия по причине технического перевооружения. Вторую искомую зависимость можно получить из следующих соображений. С увеличением количества персонала пропорционально увеличиваются затраты, связанные с оплатой его труда. Функция, описывающая эту зависимость, должна быть возрастающей. Пересечение графиков двух искомых зависимостей даст оптимальную точку на графике, соответствующую оптимальному количеству персонала по критерию минимизации суммарных затрат предприятия, а также оптимальному количеству дополнительно затрачиваемых средств для сокращения длительности выполнения работ. Только после этого можно определить, как зависит «новая» длительность выполнения работ от дополнительно затрачиваемых средств.

Применение такого подхода позволит обойти необходимость решения задачи линейного программирования для оптимизации распределения средств. Т. е., по сути, решение задачи оптимального распределения средств по работам сведется к построению двух зависимостей $Z = f(n)$ для каждого временного участка на сетевом графике и определению точек их пересечения. А, учитывая, что построение сетевых графиков не представляет сложности для любого экономиста, решение оптимизационной задачи о распределении средств тоже становится достаточно несложным. Отправными данными для ее решения становятся лишь планируемые изначально затраты на каждую из работ, нормы времени на ее исполнение и планируемая изначально интенсивность выполнения каждой из работ.

Таким образом, в качестве показателя эффективности технического перевооружения на этапе его осуществления можно предложить эффективность использования персонала. Количественно данный показатель может быть представлен в виде:

$$Z_{\Sigma} = \min Z_{\Sigma}(Z_n, n, \tau'), \quad (9)$$

где Z_n — затраты на оплату персонала.

5. Практическая реализация предложенных методик при планировании технического перевооружения металлургического производства машиностроительного предприятия

Суть планируемого технического перевооружения заключалась в замене устаревших вагранок, применяемых для плавки чугуна, на индукционные печи, позволяющие выплавливать со стабильными показателями надежности высококачественный чугун.

Для планирования технического перевооружения на основе обобщенного критерия эффективности и выбранного байесовского действия применены сетевые методы. Весь комплекс работ по техническому перевооружению представлен в виде ориентированного графа, дуги которого соответствовали выполняемым работам, а вершины — этапам завершения работ. Так как вся работа по техническому перевооружению состоит из подготовительных работ и собственно работ по установке и запуску нового оборудования, проанализированы два комплекса работ — особостроительные работы и работы по приобретению и монтажу (и запуску) технологического оборудования.

В табл. 4 и 5 представлены производственные данные для построения сетевого графика особостроительных работ.

Таблица 4

Исходные данные для сетевого планирования особостроительных работ при техническом перевооружении металлургического производства предприятия

Вид работы	Наименование работы	Предшествующие работы	Срок	Длительность работы, дн.
A	Устройство монолитного ж/б фундамента под стендовый ковш	K	03.11.99–12.11.99	9
B	Разработка котлована под третью печь	—	09.11.99–30.11.99	21
C	Устройство монолитных ж/б фундаментов под печи	B, I, J	25.11.99–30.12.99	36
D	Устройство бетонного фундамента Ф0 М-4... МБ, ж/б каналов и приямков	C	14.12.99–25.01.00	43
E	Монтаж ж/б сборных элементов фундамента	C	10.12.99–25.01.00	48
F	Кирпичная кладка стен нулевого цикла	C	16.12.99–30.01.00	46
G	Монтаж блоков стен и устройство монолитного ж/б пояса с отм. 00	C	16.12.99–20.02.00	67
H	Устройство бетонного пола в подвальном помещении	E	25.12.99–20.02.00	57

Окончание табл. 4

Вид работы	Наименование работы	Предшествующие работы	Срок	Длительность работы, дн.
I	Демонтаж вагранок	—	04.04.99–30.04.99	27
J	Земляные работы для строительства фундаментов на месте вагранок	I	01.05.99–28.05.99	28
K	Земляные работы для строительства фундамента под стендовый ковш	—	12.10.99–02.11.99	22

Таблица 5

Стоимость и трудоемкость особостроительных работ

Вид работы	Наименование работы	Сметная стоимость, грн.	Трудоемкость, тыс. ч/ч
A	Устройство монолитного ж/б фундамента под стендовый ковш	345,35	0,1
B	Разработка котлована под третью печь	250,6	0,07
C	Устройство монолитных ж/б фундаментов под печи	663,68	0,12
D	Устройство бетонного фундамента Ф0 М-4...М6, ж/б каналов и приемков	3159,83	0,85
E	Монтаж ж/б сборных элементов фундамента	150	0,04
F	Кирпичная кладка стен нулевого цикла	1250	0,15
G	Монтаж блоков стен и устройство монолитного ж/б пояса с отм. 00	1640	0,18
H	Устройство бетонного пола в подвальном помещении	1100	0,1
I	Демонтаж вагранок	1476	0,17
J	Земляные работы для строительства фундаментов на месте вагранок	342	0,08
K	Земляные работы для строительства фундамента под стендовый ковш	300,2	0,06
Итого		10677,66	1,92

Ранжировка работ выполнена следующим образом [10]. Каждой работе приписан вес, равный сумме числа непосредственно следующих за ней работ и весов этих работ. Конечным работам, т. е. таким, за которыми не следуют другие работы, приписаны относительные веса, соответствующие важности этих работ. Все конечные работы приняты одинаково важными и им приписаны веса, равные единице. Ранжировка работ приведена в табл. 6.

Таблица 6

Ранжировка особостроительных работ

Работы и ограничения	Вес работы
A –	1
B < C	10
C < D, E, F, G	9
D –	1
E < H	2
F –	1
G –	1
H –	1
I < C, J	21
J < C	10
K < A	2

Наиболее ранний срок окончания работ рассчитан по формуле:

$$t'_k = \max(t'_j + \tau_k), \quad (10)$$

где t'_k – наиболее ранний срок окончания работы, t'_j – наиболее ранний срок окончания предшествующей ей работы, τ_k – длительность выполнения работы.

Наиболее поздний срок окончания работ рассчитан по формуле:

$$t''_k = \min(t''_j - \tau_j), \quad (11)$$

где t''_k – наиболее поздний срок окончания работы, t''_j – наиболее поздний срок окончания последующей работы, τ_j – длительность выполнения последующей работы.

Резервы времени рассчитаны по формуле

$$\Delta\tau_k = t''_k - t'_k. \quad (12)$$

Раннее начало выполнения работ рассчитано по формуле

$$t^0 = t'_k - \tau_k. \quad (13)$$

Директивный срок определен по формуле

$$T = \max_k t'_k. \quad (14)$$

Сводные данные для построения сетевого графика приведены в табл. 7.

Из табл. 7 видно, что директивный срок составляет 196 дней, а критический путь состоит из работ I, J, C, E, H. Это значит, что одним из условий завершения комплекса работ в директивный срок является особое внимание к демонтажу вагранок, проведению земляных работ для строительства фундаментов на месте вагранок, устройству монолитных железобетонных фундаментов под индукционные печи, монтажу железобетонных сборных элементов фундаментов, устройству бетонного пола в подвальном помещении.

Таблица 7

Сводные данные для построения сетевого графика проведения общестроительных работ

Вид работы	Длительность работы, дн.	Предшествующие работы	Последующие работы	Наиболее ранний срок окончания работы	Наиболее поздний срок окончания работы	Резерв времени, дн.	Раннее начало выполнения работы
I	27	—	C, J	27	27	0	0
J	28	I	C	55	55	0	27
B	21	—	C	21	55	34	0
C	36	B, I, J	D, E, F, G	91	91	0	55
E	48	C	H	139	139	0	91
K	22	—	A	22	187	165	0
A	9	K	—	31	196	165	22
D	43	C	—	134	196	62	91
F	46	C	—	137	196	59	91
G	67	C	—	158	196	38	91
H	57	E	—	196	196	0	139

В табл. 8–9 приведены исходные данные для построения сетевого графика работ по приобретению и монтажу технологического оборудования.

Таблица 8

Исходные данные для сетевого планирования работ по приобретению и монтажу технологического оборудования при техническом перевооружении металлургического производства предприятия

Вид работы	Наименование работы	Предшествующие работы	Срок	Длительность работы, дн.
A	Монтаж комплекса электропечей индукционных тигельных	—	01.03.00–29.05.00	90
B	Монтаж системы воздухоочистки	A, J	01.06.00–15.07.00	45
C	Монтаж весов	—	01.03.00–11.03.00	11
D	Футеровка печей	A, J	01.06.00–15.07.00	45
E	Монтаж подъемно-транспортного оборудования	A, C	10.05.00–11.09.00	125
F	Установка гидростанций и насосов	—	19.03.00–30.05.00	73
G	Монтаж системы охлаждения печей	A, F	01.04.00–21.08.00	143
H	Монтаж теплообменников	A	19.04.00–18.06.00	61
I	Установка КИП и системы автоматизации печей	A, D	15.06.00–10.08.00	57

Окончание табл. 8

Вид работы	Наименование работы	Предшествующие работы	Срок	Длительность работы, дн.
J	Монтаж оборудования для производства футеровочных масс	—	01.03.00–13.05.00	75

Таблица 9

Стоимость и трудоемкость работ по приобретению и монтажу технологического оборудования

Вид работы	Наименование работы	Сметная стоимость, грн.	Трудоемкость, тыс. ч/ч
A	Монтаж комплекса электропечей индукционных тигельных	39348	3,3
B	Монтаж системы воздухоочистки	2540	0,18
C	Монтаж весов	12887	1,9
D	Футеровка печей	969	0,07
E	Монтаж подъемно-транспортного оборудования	888	0,08
F	Установка гидростанций и насосов	20195	1,4
G	Монтаж системы охлаждения печей	6560	0,9
H	Монтаж теплообменников	28049	1,65
I	Установка КИП и системы автоматизации печей	2280	0,15
J	Монтаж оборудования для производства футеровочных масс	904	0,04
Итого		114620	9,67

Ранжировка данных выполнена по описанной выше методике и представлена в табл. 10

Таблица 10

Ранжировка работ по приобретению и монтажу технологического оборудования

Работы и ограничения	Вес работы
A < B, D, E, G, H, I	13
B –	1
C < E	2
D < I	2
E –	1
F < G	2
G –	1
H –	1
I –	1
J < B, D	5

Все сводные данные для построения сетевого графика рассчитаны по формулам (10)–(14) и представлены в табл. 11.

Таблица 11

Сводные данные для построения сетевого графика проведения работ по приобретению и монтажу технологического оборудования

Вид работы	Длительность работы, дн.	Предшествующие работы	Последующие работы	Наиболее ранний срок окончания работы	Наиболее поздний срок окончания работы	Резерв времени, дн.	Раннее начало выполнения работы
A	90	—	D, B, E, G, H, I	90	90	0	0
J	75	—	D, B	75	131	56	0
F	73	—	G	73	90	17	0
D	45	A, J	I	135	176	41	90
C	11	—	E	11	108	97	0
B	45	A, J	—	135	233	98	90
E	125	A, C	—	215	233	18	90
G	143	A, F	—	233	233	0	90
H	61	A	—	151	233	82	90
I	57	A, D	—	192	233	41	135

Из табл. 11 видно, что директивный срок составляет 233 дня, а критический путь состоит из работ A и G. Это значит, что одним из условий завершения комплекса работ в директивный срок является особое внимание к монтажу комплекса индукционных печей и монтажу системы охлаждения печей. Для определения зависимости длительности выполнения работ от количества персонала применен показатель (8). Для примера в табл. 12 представлены результаты моделирования величин

Таблица 12

Результаты расчета затрат предприятия и длительности выполнения работ в зависимости от количества персонала в интервале времени 21—22 дня

Количество персонала	Затраты, связанные с сокращением длительности работ	Новая длительность работ, дн	Затраты, связанные с увеличением количества персонала
2	5976,03	73,5	144,44
4	2974,10	36,8	288,88
6	1973,46	24,5	433,32
8	1473,14	18,4	577,76
10	1172,95	14,7	722,2
12	972,82	12,3	866,64
14	829,87	10,5	1011,08
16	722,66	9,2	1155,52

длительности выполнения работ и затрат предприятия в зависимости от количества персонала. Соответствующий график представлен на рис. 7.

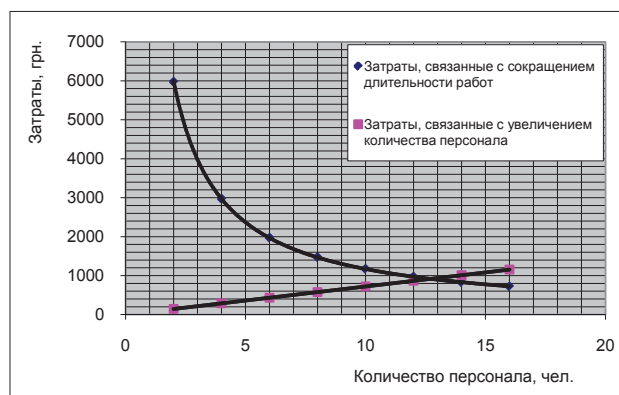


Рис. 7. График расчета оптимального количества персонала, минимизирующего затраты предприятия на этапе реализации мероприятий по техническому перевооружению в интервале времени 0–21 день

Из рис. 7 видно, что в рассмотренном интервале времени выполнения работ оптимальным будет количество персонала 13 чел. Таким образом, представляется возможным минимизация потерь предприятия на каждом этапе технического перевооружения.

6. Выводы

1. Мероприятиям по техническому перевооружению промышленных производств должен предшествовать анализ трех различных возможных состояний оборудования, находящегося в эксплуатации, и применяемых технологий.
2. Для выбора предприятием оптимальной стратегии, минимизирующей средние потери, должны быть рассмотрены все возможные варианты с учетом ограничений, обусловленных конкретными особенностями производства на данном предприятии; эффективным для выбора стратегии технического перевооружения является применение байесовского действия.
3. Оптимальный директивный срок проведения мероприятий по техническому перевооружению и возможные капитальные вложения могут быть определены как результат решения оптимизационной задачи с помощью ридж-анализа; полученные при этом решения используются для выбора байесовского действия.
4. Решение задачи оптимального распределения средств по операциям технического перевооружения может быть сведена к построению двух зависимостей величины затрат предприятия от количества участвующего в техническом перевооружении персонала, для каждого временного участка на сетевом графике, и определению точек их пересечения.

5. В качестве показателя эффективности технического перевооружения на этапе его осуществления можно предложить эффективность использования персонала.

6. Практическое применение предложенных методов исследования, выполненное в условиях реального промышленного производства, заключающееся в замене вагранок, применяемых для плавки чугуна, на индукционные печи, позволяющие выплавлять со стабильными показателями надежности высококачественный чугун, — показало их эффективность для внедрения на отечественных предприятиях с металлургическим циклом на этапе подготовки и проведения их технического перевооружения.

Литература

1. Блекуэлл Д. Теория игр и статистических решений [Текст] / Д. Блекуэлл, М. А. Гиршик. — М. : Изд-во иностр. лит., 1958. — 432 с.
2. Чернов Г. Элементарная теория статистических решений [Текст] / Г. Чернов, Л. Мозес. — С. : Советское радио, 1962. — 386 с.
3. Миддлтон Д. Введение в статистическую теорию связи [Текст] / Д. Миддлтон. — М. : Советское радио, 1966. — 522 с.
4. Коршунов Ю. М. Математические основы кибернетики [Текст] / Ю. М. Коршунов. — М. : Энергия, 1980. — 424 с.
5. Дёмин Д. А. Совершенствование процессов управления электроплавкой [Текст] / Д. А. Дёмин // Вісник національного технічного університету «ХПІ». — Харків : НТУ «ХПІ», 2010. — № 4. — С. 33–44.
6. Дёмин Д. А. Оптимизация технологического процесса в цехе предприятия [Текст] / Д. А. Дёмин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — Х. : Технологический Центр. — 2005. — № 6. — С. 48–59.
7. Юдин Д. Б. Задачи и методы линейного программирования [Текст] / Д. Б. Юдин, Е. Г. Гольштейн. — М. : Советское радио, 1964. — 464 с.
8. Данциг Д. Линейное программирование, его применения и обобщения [Текст] / Д. Данциг. — М. : Прогресс, 1966. — 386 с.
9. Танаев В. С. Введение в теорию расписаний [Текст] / В. С. Танаев, В. В. Шкурба. — М. : Наука, 1975. — 420 с.
10. Моисеев Н. Н. Численные методы в теории оптимальных систем [Текст] / Н. Н. Моисеев. — М. : Наука, 1971. — 324 с.

ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ СТРАТЕГІЇ ТЕХНІЧНОГО ПЕРЕОЗБРОЄННЯ ПІДПРИЄМСТВ З МЕТАЛУРГІЙНИМ ВИРОБНИЦТВОМ

О. Б. Дьоміна

У статті запропоновано критерії ефективності технічного переозброєння промислового виробництва та методи вибору оптимальної стратегії технічного переозброєння; наведені результати їх практичної реалізації в цеху машинобудівного підприємства.

Ключові слова: промислове виробництво, технічне переозброєння, оптимальна стратегія.

Олена Борисіна Дьоміна, головний бухгалтер Приватного АТ «Південспецбуд інженеріng», пошукувач кафедри «Організація виробництва та управління персоналом» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

OPTIMAL STRATEGY WITH TECHNICAL RE-MANUFACTURE OF BASIC METALS

O. Domina

The paper proposed performance criteria for technical upgrading of industrial production and methods for selecting the optimal strategy for modernization, the results of their implementation on the shop floor engineering enterprise.

Keywords: industrial production, modernization, the optimal strategy.

Elena Domina, chief accountant of the Private Joint-Stock Company «Yuzhspetsstroy inzhenering», applicant department «Production and Personnel Management», National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»

Адрес для переписки:

ул. Новгородская, 3а, г. Харьков, 61145
E-mail: nauka@jet.com.ua
Тел.: (057) 750-89-90