

ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОИЗВОДСТВА И ЭКОНОМИЧНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ В ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Объектом исследования является система ремонтного и технического обслуживания технологического оборудования производственного предприятия. Предлагается модель оптимального распределения задач по уровням системы ремонтного и технического обслуживания технологического оборудования. Оптимизация производится по критериям экономичности управления и устойчивости производства. Устойчивость производства предлагается оценивать средним временем существования сбоя. Экономичность управления определяется потерями предприятия из-за сбоев по причине простоя оборудования за заданное календарное время. Рассмотрен пример оптимизации распределения задач по устранению сбойных ситуаций в системе обслуживания оборудования.

Экономическая система предназначена для преобразования ресурсов с наименьшими потерями в необходимую для потребителей продукцию. Под экономической системой подразумеваются производственные, банковские, общественные и др. организации, имеющие дело с обработкой определенных видов ресурсов. В статье речь будет идти о производственных экономических системах. Экономическая система может быть представлена в виде объекта управления и управляющей части [1].

Устойчивость экономической системы определяется величиной зоны безопасности. Чем больше эта величина, тем большей силы возмущающие факторы могут влиять на экономическую систему, не нарушая ее устойчивости. Нижняя граница этой зоны соответствует точке безубыточности предприятия. Верхняя граница зоны должна соответствовать уровню прибыли, при которой минимальная норма прибыли от операционной деятельности будет больше такого показателя, как стоимость капитала. Если норма прибыли от операционной деятельности окажется ниже, чем стоимость капитала, это приведет к потере устойчивости экономической системы.

Устойчивость экономической системы определяется устойчивостью производства. Устойчивость производства нарушается сбоями оборудования в результате износа. Если своевременно не устранять их, то экономическая система может оказаться за нижней границей зоны безопасности. Поэтому основной задачей управляющей части экономической системы является уменьшение длительности сбойных ситуаций в объекте управления (в производстве). Длительность сбойной ситуации имеет экономическое содержание, т.к. из-за сбоев замедляется желаемый темп выпуска продукции. Поэтому целесообразно качество производственного процесса оценивать допустимым сум-

марным временем пребывания его в сбойном состоянии за определенный период. Этот показатель позволяет оценить устойчивость производства. Устойчивость производства – свойство производить необходимые для рынка объемы продукции при возможных сбоях.

Длительность сбойных ситуаций определяется действиями управляющей части. Если ее действия осуществляются оперативно, то и аварийные остановки устраняются быстро. Однако оперативность может быть достигнута использованием избыточных ресурсов, что также ведет к значительным экономическим потерям. Важно сократить длительность аварийной ситуации с наименьшими потерями ресурсов. Поэтому качество функционирования управляющей части целесообразно оценить таким показателем, как экономичность управления.

Рассмотрим задачу обеспечения устойчивости производства и экономичности управления на примере товаропроизводительного предприятия.

На предприятиях актуальна задача поддержания технологического оборудования в работоспособном состоянии. Эту задачу выполняет система ремонтного и технического обслуживания технологического оборудования. Она имеет иерархическую структуру, состоящую из трех уровней. Первый уровень составляют механики участков, второй – механики цехов, третий уровень возглавляется главным механиком. Проблемы, связанные с ликвидацией сбоев, распределяются по этим трем уровням.

Когда возникает сбой, информация для его устранения передается на соответствующий уровень управленческой иерархии. Задача должна быть принята к решению на том уровне, где для этого имеются все необходимые ресурсы. Наличие ресурсов в нужном месте обеспечивает своевременную ликвидацию аварии, что ведет к сокращению ее длительности и соответственно уменьшению экономических потерь.

Если задачи по устранению сбойных ситуаций, которые должны решаться на самом верхнем уровне, остаются на нижнем, то устранение сбоя будет длительным, т.к. оно будет сопровождаться тратой времени на формирование различных видов ресурсов. Если задачи, которые должны решаться на нижнем уровне, в большинстве случаев поступают на средний и верхний уровни, то устранение сбоя будет задерживаться из-за информационной перегруженности руководителей.

Ситуация на предприятии в условиях рыночной экономики быстро меняется, и распределение задач по устранению сбоев в системе ремонтного и технологического обслуживания оборудования тоже может изменяться. Это требует гибкого механизма перераспределения задач, основанного на учете ресурсных возможностей уровней системы.

При распределении задач по уровням системы ремонтного и технического обслуживания технологического оборудования необходимо руководствоваться соображениями: распределение задач по устранению сбойной ситуации по уровням определяет, где необходимо хранить запасные узлы и детали, т.к. это влияет на время их доставки на нуждающийся производственный участок, следовательно, на продолжительность существования сбойной ситуации. При выборе показателя качества надо в данном случае исходить из того, что система ремонтного и технического обслуживания тем лучше, чем ниже ее убытки и чем меньше будет длительность сбоя производства. Итак, качество организации ремонтного хозяйства будем характеризовать экономичностью управления и устойчивостью производства.

Устойчивость производства предлагается оценивать средним временем τ существования сбоя. Это время состоит из двух составляющих: времени идентификации аварийной остановки и времени ликвидации причины остановки.

Экономичность управления определяется потерями предприятия из-за сбоев $z_{сб}(t)$ за заданное календарное время t . Они зависят от того, какова суммарная продолжительность сбойных ситуаций и на каких производственных участках они имели место. Продолжительность сбойной ситуации зависит от уровня, на котором осуществляются меры по ликвидации аварийной остановки участка. Влияние участков на $z_{сб}(t)$ определяется тем, что на разных участках за одно и то же время создается раз-

личный объем продукции, на различную стоимость. Модель необходимо строить при следующих предположениях: мощности уровней системы обслуживания оборудования по устранению нештатных ситуаций в производственном процессе заданы, необходимо найти разумные соотношения между количеством проблем, распределяемых по трем уровням; в среднем каждая сбойная ситуация на своем уровне требует для устранения примерно одно и то же время.

Рассмотрим модель $z_{сб}(t)$: надо найти зависимость

$$z_{сб}(t) = z_{сб}(h^I, h^{II}, h^{III}, t),$$

где h^I, h^{II}, h^{III} – доля задач (из общего количества $W_0(t)$, решаемых за время t), рассматриваемых соответственно на первом, втором и третьем уровнях системы обслуживания.

Обозначим $\Delta\Pi$ – потери от сбоев в единицу времени, τ – среднее время устранения одной сбойной ситуации на i -м участке, $W_i(t)$ – число сбоев за время t на i -м участке, M – количество обслуживаемых производственных участков. Тогда можно записать

$$z_{сб}(t) = \sum_{i=1}^M W_i(t) \Delta\Pi_i \tau_i. \quad (1)$$

Обозначим $\tau_i^I, \tau_i^{II}, \tau_i^{III}$ среднее время выполнения задачи i -го участка соответственно на первом, втором и третьем уровнях системы технического обслуживания оборудования.

Исходя из второго предположения, можно оперировать средними значениями

$$\tau_i^I = \tau^I = \frac{\sum_{i=1}^M \tau_i^I}{\sum_{i=1}^M W_i^I}; \quad \tau_i^{II} = \tau^{II} = \frac{\sum_{i=1}^M \tau_i^{II}}{\sum_{i=1}^M W_i^{II}};$$

$$\tau_i^{III} = \tau^{III} = \frac{\sum_{i=1}^M \tau_i^{III}}{\sum_{i=1}^M W_i^{III}}. \quad (2)$$

Здесь $W_i^I, W_i^{II}, W_i^{III}$ – это количество сбоев на i -м участке, которые за время t устранены соответственно на первом, втором и третьем уровнях системы обслуживания. В соответствии с (2) можно выполнить следующие преобразования:

$$z_{сб}(t) = \sum_{i=1}^M W_i(t) \Delta\Pi_i \tau_i =$$

$$= \sum_{i=1}^M (W_i^I(t) \tau_i^I + W_i^{II}(t) \tau_i^{II} + W_i^{III}(t) \tau_i^{III}) \Delta\Pi_i =$$

$$= \tau^I \sum_{i=1}^M W_i^I(t) \Delta\Pi_i + \tau^{II} \sum_{i=1}^M W_i^{II}(t) \Delta\Pi_i + \tau^{III} \sum_{i=1}^M W_i^{III}(t) \Delta\Pi_i. \quad (3)$$

Предполагается, что аварийная остановка любого участка может рассматриваться на одном из трех уровней системы обслуживания, и $W_i = W_i^I + W_i^{II} + W_i^{III}$.

Левую и правую часть (3) поделим на $W_0(t)$ – общее количество сбоев, устраняемых за время t . Тогда $\bar{z}_{сб}(t) = z_{сб}(t)/W_0(t)$ будет представлять собой убытки предприятия в среднем на одну аварийную остановку. Выполним очевидные преобразования в правой части:

$$\begin{aligned} & \tau^I \sum_{i=1}^M \frac{W_i^I(t)}{W_0(t)} \Delta\Pi_i + \tau^{II} \sum_{i=1}^M \frac{W_i^{II}(t)}{W_0(t)} \Delta\Pi_i + \tau^{III} \sum_{i=1}^M \frac{W_i^{III}(t)}{W_0(t)} \Delta\Pi_i = \\ & = \tau^I \sum_{i=1}^M \frac{W_i^I(t)}{W^I(t)} \frac{W^I(t)}{W_0(t)} \Delta\Pi_i + \tau^{II} \sum_{i=1}^M \frac{W_i^{II}(t)}{W^{II}(t)} \frac{W^{II}(t)}{W_0(t)} \Delta\Pi_i + \\ & \quad + \tau^{III} \sum_{i=1}^M \frac{W_i^{III}(t)}{W^{III}(t)} \frac{W^{III}(t)}{W_0(t)} \Delta\Pi_i. \end{aligned}$$

Здесь $\frac{W_i^I(t)}{W^I(t)} = r_i^I$, $\frac{W_i^{II}(t)}{W^{II}(t)} = r_i^{II}$, $\frac{W_i^{III}(t)}{W^{III}(t)} = r_i^{III}$ пред-

ставляют собой доли сбоев, возникающих за время t на i -м участке и устраняемых соответственно на первом, втором, третьем уровнях системы обслуживания, а отношения $\frac{W^I}{W_0} = h^I$,

$\frac{W^{II}}{W_0} = h^{II}$, $\frac{W^{III}}{W_0} = h^{III}$ – доли задач по ликвидации остановок из общего количества, решаемых на соответствующих уровнях.

Теперь можно записать

$$\bar{z}_{сб} = \tau^I h^I \sum_{i=1}^M r_i^I \Delta\Pi_i + \tau^{II} h^{II} \sum_{i=1}^M r_i^{II} \Delta\Pi_i + \tau^{III} h^{III} \sum_{i=1}^M r_i^{III} \Delta\Pi_i \quad (4)$$

$$\text{Очевидно} \quad \begin{cases} \sum_{i=1}^M r_i^I = \sum_{i=1}^M r_i^{II} = \sum_{i=1}^M r_i^{III} = 1 \\ h^I + h^{II} + h^{III} = 1 \end{cases} \quad (5)$$

Соотношение (4) представляет собой исковую модель потерь $\bar{z}_{сб}$ предприятия, возникающих по причине сбоев производства. Потери здесь оцениваются в среднем на один сбой. Модель связывает доли задач h^I, h^{II}, h^{III} по ликвидации аварийных остановок, решаемых на соответствующих уровнях системы технического обслуживания, экономическую значимость участков $\Delta\Pi_i$, доли $r_i^I, r_i^{II}, r_i^{III}$ проблем, направляемых участками на первый, второй и третий уровни системы.

Разработаем модель устойчивости производства, обеспечиваемой системой ремонтного и технического обслуживания технологического оборудования. Устойчивость будем оценивать средним временем τ пребывания произ-

водства в состоянии сбоя. Обозначим $\tau^I(t), \tau^{II}(t), \tau^{III}(t)$ среднее время пребывания производства в состоянии сбоя при решении проблемы соответственно на первом, втором и третьем уровнях системы обслуживания оборудования.

Совокупность задач по устранению сбоев за заданное время составляет:

$$W_0 = \sum_{i=1}^M W_i, \quad (6)$$

где W – число сбоев на i -м участке, M – количество производственных участков. Задачи в зависимости от сложности решения направляются на соответствующие уровни системы обслуживания. Напомним обозначения: W^I, W^{II}, W^{III} – количество задач с i -го участка, решением которых занимается соответственно первый уровень, второй уровень, третий уровень. Таким образом

$$W = W^I + W^{II} + W^{III}, \quad (7)$$

W^I, W^{II}, W^{III} – количество задач со всех участков, решаемых соответственно на 1-м, на 2-м и на 3-м уровнях системы. При этом:

$$W_0 = W^I + W^{II} + W^{III}, \quad (8)$$

$$W^I = \sum_{i=1}^M W_i^I; \quad W^{II} = \sum_{i=1}^M W_i^{II}; \quad W^{III} = \sum_{i=1}^M W_i^{III},$$

$$h^I = \frac{W^I}{W_0}, \quad h^{II} = \frac{W^{II}}{W_0}, \quad h^{III} = \frac{W^{III}}{W_0} \quad (9)$$

$$h^I + h^{II} + h^{III} = 1$$

В качестве меры устойчивости производства практичнее использовать среднее время существования сбоев $\tau_{сб}(t)$ в общем рабочем времени, т.е. по определению

$$\tau = \frac{\tau_{сб}(t)}{t}.$$

Значение $\tau_{сб}$ можно представить как сумму общего времени, затрачиваемого на ликвидацию сбоев на первом, втором, третьем уровнях системы обслуживания, т.е.

$$\tau_{сб} = \tau_{сб}^I + \tau_{сб}^{II} + \tau_{сб}^{III}.$$

Согласно (9) среднее время устранения одной сбойной ситуации определяется

$$\tau = \frac{\tau_{сб}}{W_0} = \frac{\tau_{сб}^I}{W_0} \cdot \frac{W^I}{W^I} + \frac{\tau_{сб}^{II}}{W_0} \cdot \frac{W^{II}}{W^{II}} + \frac{\tau_{сб}^{III}}{W_0} \cdot \frac{W^{III}}{W^{III}}.$$

Это соотношение можно переписать

$$\bar{\tau} = \tau^I h^I + \tau^{II} h^{II} + \tau^{III} h^{III} \quad (10)$$

Мера $\bar{\tau}$ связывает меру устойчивости производства с распределением h^I, h^{II}, h^{III} проблемы устранения сбоев по уровням системы.

Соотношение (10) представляет собой модель устойчивости производства с точки зрения способности системы управления устранять сбои, возникающие из-за выхода из строя технологического оборудования.

Рассмотрим методику оптимального распределения задач обслуживания по уровням системы ремонтного и технического обслуживания оборудования предприятия, состоящей из трех уровней: производственный участок – цех – подразделение главного механика завода.

Необходимо найти

$$h^I = \frac{W^I}{W_0}; h^{II} = \frac{W^{II}}{W_0}; h^{III} = \frac{W^{III}}{W_0}. \quad (11)$$

Очевидно

$$h^I + h^{II} + h^{III} = 1. \quad (12)$$

Показатели h^I, h^{II}, h^{III} входят в модели (4), (10) качества системы технического обслуживания. От их соотношений зависят убытки от сбоев и показатель устойчивости производства. Задача ставится так: найти такие значения h^I, h^{II}, h^{III} , при которых экономические потери $Z_{сб}$, приходящиеся на одну аварийную ситуацию (остановку), будут минимальны, а доля $\bar{\tau}$ сбойного времени в общем рабочем времени, приходящегося на один сбой, будет не более некоторого допустимого значения $\bar{\tau}_{доп}$, при этом по смыслу $h^I + h^{II} + h^{III} = 1$.

Задача записывается так: определить h^I, h^{II}, h^{III} такие, которые обеспечивают:

$$\left\{ \begin{array}{l} Z_{сб} = h^I \tau^I \sum_{i=1}^M \Delta \Pi_i r_i^I + h^{II} \tau^{II} \sum_{i=1}^M \Delta \Pi_i r_i^{II} + \\ + h^{III} \tau^{III} \sum_{i=1}^M \Delta \Pi_i r_i^{III} \Rightarrow \min_{h^I, h^{II}, h^{III}} \\ \bar{\tau} = \tau^I h^I + \tau^{II} h^{II} + \tau^{III} h^{III} \leq \bar{\tau}_{доп} \\ h^I + h^{II} + h^{III} = 1 \end{array} \right. \quad (13)$$

Для решения поставленной задачи необходимо выполнить в выражении $Z_{сб}$ некоторые преобразования. Дело в том, что значения h^j и r^j ($j = I, II, III$) имеют функциональную зависимость: доля из общего количества проблем, рассматриваемых на j -м уровне системы, зависит от их распределения по уровням на производственных участках.

Примем предположение: доля задач, направляемых с участков на тот или иной уровень системы обслуживания, распределяется по уровням так же, как и общее количество проблем, т. е.:

$$r_i^I = h^I, r_i^{II} = h^{II}, r_i^{III} = h^{III}, i = \overline{1, M}$$

Тогда (13) запишется

$$Z_{сб} = [(h^I)^2 \tau^I + (h^{II})^2 \tau^{II} + (h^{III})^2 \tau^{III}] \sum_{i=1}^M \Delta \Pi_i \Rightarrow \min_{h^I, h^{II}, h^{III}} \quad (14)$$

$$\bar{\tau} = \tau^I h^I + \tau^{II} h^{II} + \tau^{III} h^{III} \leq \bar{\tau}_{доп}$$

$$h^I + h^{II} + h^{III} = 1$$

В системе (14) три неизвестных h^I, h^{II}, h^{III} . Они должны быть определены при ограничениях на допустимую длительность одной сбойной ситуации.

Рассмотрим пример использования методики оптимизации долей проблем, распределяемых по уровням системы обслуживания оборудования. Известны следующие характеристики фактического состояния системы технического обслуживания технологического оборудования:

$\sum_{i=1}^M \Delta \Pi_i$ – сумма потерь от аварийных остановок по всем участкам в единицу времени равна 770 руб/час; число производственных участков $M = 11$; общее число отказов $W_0 = 227$; W^I – число задач, решаемых на первом уровне (87 отказов); $W^{II} = 72$ отказа; $W^{III} = 68$ отказов.

В системе (14) необходимо знать значение средней продолжительности одной сбойной ситуации, устраняемой силами j -го уровня τ^j ($j = I, II, III$). По формуле

$$\tau^j = \frac{\sum_{i=1}^M \tau_i^j}{\sum_{i=1}^M W_i^j}$$

найдем значения $\tau^I, \tau^{II}, \tau^{III}$. Здесь W_i^j – это количество сбоев на i -м участке, которые за время t устранены соответственно на j -х уровнях системы обслуживания, а τ_i^j – среднее время устранения сбоя i -го участка на j -м уровне системы технического обслуживания оборудования. В системе (14) также необходимо знать $\bar{\tau}_{доп}$ – это допустимая длительность одной сбойной ситуации, ее значение определяется руководителем системы технического обслуживания оборудования $\bar{\tau}_{доп} = 2,9$ час. Примем $\tau^I = 250/68 \approx 3,7$ час; $\tau^{II} = 199/72 \approx 2,8$ час; $\tau^{III} = 204/87 \approx 2,3$ час.

Подставим эти значения в систему (14) и получим $h^I = 0,31$; $h^{II} = 0,33$; $h^{III} = 0,36$.

Покажем, что предлагаемое распределение задач более эффективно. Для этого эти значения подставим в целевую функцию системы (14) и получим

$$\bar{z}(t) = (3,7(h^I)^2 + 2,8(h^{II})^2 + 2,3(h^{III})^2) 770 = 678 \text{ руб.}$$

Затем по формуле (11) рассчитаем фактические доли задач $h^{I\Phi}$, $h^{II\Phi}$, $h^{III\Phi}$, которые подставим также в целевую функцию системы (14). Тогда $h^{I\Phi} = 87/227 = 0,38$; $h^{II\Phi} = 72/227 = 0,32$; $h^{III\Phi} = 68/227 = 0,30$. Подставив эти значения в целевую функцию системы, получим:

$$\bar{z}^{\Phi}(t) = (3,7(h^{I\Phi})^2 + 2,8(h^{II\Phi})^2 + 2,3(h^{III\Phi})^2) 770 = 785 \text{ руб.}$$

Тогда экономическая выгода от использования методики составит

$$\bar{z}^{\Phi}(t) - \bar{z}(t) = 785 - 678 = 107 \text{ руб.}$$

на одну сбойную ситуацию.

В целом экономия на 227 отказов будет равна 107 руб. $\cdot 227 = 24289$ руб., что составляет на 13,6% уменьшения потерь в год. Полученные данные сведем в табл. 1.

Таблица 1. Показатели экономичности управления и устойчивости производства

	$\bar{z}(t)$	h^I	h^{II}	h^{III}
Фактические данные	785	0,38	0,32	0,30
Расчетные данные	678	0,31	0,33	0,36

Разработанная методика оптимального распределения задач по устранению сбойных ситуаций в производстве позволила повысить показатель экономичности управления на предприятии на 13,6% в год.

Список использованной литературы:

- Ильясов Б.Г., Исмагилова Л.А., Валеева Р.Г. Моделирование производственно-рыночных систем. – Уфа: Изд. УГАТУ, 1995. – 321 с.