УДК 510.217

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ СТРАТЕГИИ РЕМОНТНЫХ РАБОТ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

МЕДВЕДЕВА М. И.
кандидат физико-математических наук
Донецк

В современной теории управления промышленными предприятиями одной из первостепенных задач, является задача организации и контроля надежности технологического оборудования, определения оптимальной стратегии его ремонта, профилактики и переналадки. Надежность оборудования, как известно, является одним из основных показателей процесса его эксплуатации, который характеризует способность выполнять поставленные задачи в заданном режиме и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортировки. Современная теория производства характеризуется, в частности, системным подходом к вопросам снабжения, организации производственного процесса и сбыта готовой продукции [1, 2]. Очевидно, все это тесно связано с проблемами управления профилактикой и ремонтным обслуживанием производственного оборудования.

Эффективное функционирование современного предприятия, его способность выпускать конкурентоспособную продукцию во многом определяется деятельностью его вспомогательных служб, задачей которых является обеспечение работоспособного состояния производственного оборудования с минимальными затратами. При этом возрастающая роль ремонтных служб в обеспечении эффективной работы предприятия ставит задачи формирования и развития организационно-экономического механизма управления ремонтными службами. Однако, в силу сложившихся традиций, ремонтные службы относятся к вспомогательному производству, в связи с чем им уделяется недостаточно внимания. Необходимость сосредоточиться на основном производстве часто ставит перед предприятием вопрос о выводе на аутсорсинг тех функций (ремонтных служб), которые не являются стратегически важными и легко поддаются стандартизации.

Данная работа посвящена построению и анализу вероятностной модели обслуживания производственного оборудования. В отличие от раннее исследовавшихся моделей [3, 4] здесь рассматривается система с неидентичной переналадкой, т. е. интенсивности переналадки после восстановления системы и в процессе бесперебойной работы оборудования различны. Такие модели позволяют выбрать оптимальную стратегию функционирования как основного, так и вспомогательного материального потока логистической системы, принимать решение о выводе ремонтных служб на аутсорсинг или инсорсинг.

Пусть имеется производственно-экономическая система, которая может быть описана с помощью одноканальной системы массового обслуживания разомкнутого типа с простейшим входным потоком, интенсивность которого $\lambda > 0$. Оборудование независимо друг от друга обслуживают две бригады. При этом одна бригада осуществляет переналадку оборудования, вторая – его профилактику и ремонт. Предполагается, что время обслуживания (обработки) поступившего заказа имеет показательное распределение с параметром $\mu > 0$. После обслуживания всех заказов, находящихся в системе, оборудование немедленно отключается и переходит в состояние свободен – не готов; при поступлении нового заказа оборудование проходит переналадку на выпуск новой партии, после чего начинается выполнение поступившего заказа. Длительность переналадки имеет показательный закон распределения с параметром $\nu > 0$.

Предполагается, что выход оборудования из строя может произойти только во время выполнения заказа, т. е. если оно находится в рабочем состоянии. Момент выхода из строя имеет показательный закон распределения с параметром $\chi > 0$. Если в момент выхода из строя в системе была заявка, то она теряется. После того, как было выполнено последнее требование и в системе нет новых заявок, начинается профилактика оборудования, длительность которой имеет показательный закон распределения с параметром $\psi_1 > 0$. Время ремонта или время восстановления оборудования имеет показательный закон распределения с параметром $\psi_2 > 0$. Если после восстановления оборудования, в системе нет заявок, то оно переходит в состояние свободен – не готов. Если же в системе есть заявки, то для ее выполнения требуется переналадка, интенсивность которой υ_1. Следовательно, рассматривается система с неидентичной переналадкой.

Случайный процесс поступления заявок и их обслуживание может быть описан следующими возможными состояниями:

$(0, k)$ – прибор вышел из строя и восстанавливается, в системе $k \geq 0$ требований;

$(1, 0)$ – прибор свободен – не готов;

$(1, k)$ – прибор работает и в системе $k \geq 1$ требований;

$(0^*, k)$ – проводится переналадка оборудования и в системе $k \geq 1$ требований;

$(2, 0^*, k)$ – проводится профилактика и переналадка оборудования и в системе $k \geq 1$ требований;

$(2, k)$ – проводится профилактика и в системе $k \geq 0$ требований:

$(0, 0^*, k)$ – проводится переналадка оборудования после его ремонта и в системе $k \geq 1$ требований.

Граф состояний описанной системы имеет вид (*рис. 1*).

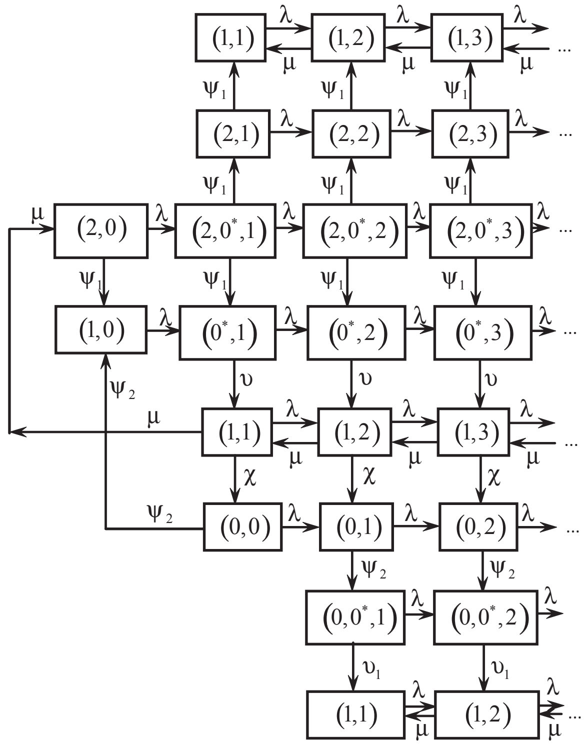

Рис. 1. Граф состояний системы массового обслуживания с ненадежным оборудованием

Найдем основные характеристики рассматриваемой системы – распределения совместных вероятностей того, что оборудование находится в определенном состоянии (переналадка, профилактика, восстановление или работа) и в системе имеется определенное количество требований. Для этого рассмотрим стационарный случайный процесс $\xi(t)$, описывающий состояние системы в момент времени t. Его фазовое пространство имеет вид:

$$E=\left\{\begin{matrix}(0,\,k),\,(1,\,k),\,(2,\,k),\,k\ge 0;\,(0^*,\,l),\,(2,\,0^*,\,l),\,l\ge 1;\\(0,\,0^*,\,m),\,m\ge 1\end{matrix}\right\}.$$

Рассмотрим стационарные вероятности состояний процесса $\xi(t)$:

$$P_{ik}=\mathrm{P}\{\xi(t)=(i,\,k)\},\ i=0,\,1,\,2;\ k\ge 0,$$

$$P_{0^*k}=\mathrm{P}\{\xi(t)=(0^*,\,k)\},\ k\ge 1,$$

$$P_{2,0^*k}=\mathrm{P}\{\xi(t)=(2,0^*,\,k)\},\ k\ge 1,$$

$$P_{0,0^*k}=\mathrm{P}\{\xi(t)=(0,0^*,\,k)\},\ k\ge 1.$$

С помощью графа состояний процесса $\xi(t)$ составляем системы однородных бесконечных алгебраических уравнений для вероятностей P_{ik}, $i = 0, 1, 2$; $k \ge 0$, P_{0^*k}, $k \ge 1$, $P_{2,0^*k}$, $k \ge 1$, $P_{0,0^*k}$, $k \ge 1$:

$$\begin{cases}-(\lambda+\upsilon)P_{0^*1}+\lambda P_{10}+\psi_1 P_{20^*k}=0,\\-(\lambda+\upsilon)P_{0^*k}+\lambda P_{0^*,k-1}+\psi_1 P_{20^*k}=0,\ k>1;\end{cases}\qquad(1)$$

$$\begin{cases}-(\lambda+\psi_2)P_{0,0}+\chi P_{11}=0,\\-(\lambda+\psi_2)P_{0k}+\lambda P_{0,k-1}+\chi P_{1,k+1}=0,\ k\ge 1;\end{cases}\qquad(2)$$

$$\begin{cases}-\lambda P_{10}+\psi_1 P_{20}+\psi_2 P_{00}=0,\\-(\lambda+\mu+\chi)P_{11}+\upsilon P_{0^*1}+\mu P_{12}+\\+\psi_1 P_{21}+\upsilon_1 P_{0^*01}=0,\\-(\lambda+\mu+\chi)P_{1k}+\lambda P_{1,k-1}+\upsilon P_{0^*k}+\\+\mu P_{1,k+1}+\psi_1 P_{2k}+\upsilon_1 P_{0^*0k}=0,\ k\ge 2;\end{cases}\qquad(3)$$

$$\begin{cases}-(\lambda+\psi_1)P_{20}+\mu P_{11}=0,\\-(\lambda+\psi_1)P_{21}+\upsilon P_{20^*1}=0,\\-(\lambda+\psi_1)P_{2k}+\upsilon P_{20^*k}+\lambda P_{2,k-1}=0,\ k\ge 2;\end{cases}\qquad(4)$$

$$\begin{cases}-(\lambda+\upsilon+\psi_1)P_{20^*1}+\lambda P_{20}=0,\\-(\lambda+\upsilon+\psi_1)P_{20^*k}+\lambda P_{20^*,k-1}=0,\ k\ge 2;\end{cases}\qquad(5)$$

$$\begin{cases}-(\lambda+\upsilon_1)P_{00^*1}+\psi_2 P_{01}=0,\\-(\lambda+\upsilon_1)P_{00^*k}+\lambda P_{00^*,k-1}+\psi_2 P_{0k}=0,\ k\ge 2.\end{cases}\qquad(6)$$

Для решения систем уравнений (1) – (6) введем в рассмотрение производящие функции вида:

$$a_0(z)=\sum_{k\ge 0}P_{0k}z^k,\ a_0^*(z)=\sum_{k\ge 1}P_{0^*k}z^k,\ a_1(z)=\sum_{k\ge 0}P_{1k}z^k,$$

$$a_2(z)=\sum_{k\ge 0}P_{2k}z^k,\ a_1^*(z)=\sum_{k\ge 1}P_{00^*k}z^k,\ a_2^*(z)=\sum_{k\ge 1}P_{20^*k}z^k,$$

а также параметры

$$\rho=\frac{\lambda}{\mu},\ \delta=\frac{\upsilon}{\mu},\ \delta_1=\frac{\upsilon_1}{\mu},\ \beta_1=\frac{\psi_1}{\mu},\ \beta_2=\frac{\psi_2}{\mu},\ \gamma=\frac{\chi}{\mu}.$$

Умножив уравнения системы (1) на z, z^k, $k > 1$, суммируем их по k. Тогда после несложных преобразований, с учетом введенных обозначений, получаем уравнение

$$(\rho+\delta-\rho z)\,a_0^*(z)-\beta_1 a_2^*(z)=\rho\, z\, P_{10}.\qquad(7)$$

Аналогично из систем бесконечных линейных уравнений (2) – (6) соответственно получаем

$$z(\rho+\beta_2-\rho\, z)\,a_0(z)-\gamma\, a_1(z)=-\gamma P_{10},\qquad(7a)$$

$$z(\rho+\beta_2-\rho z)\,a_0(z)-\gamma a_1(z)=-\gamma P_{10},\qquad(8)$$

$$\begin{aligned}&(\rho z^2-z(1+\rho+\gamma)+1)\,a_1(z)+\delta z a_0^*(z)+\\&+\beta_1 z a_2(z)+\delta_1 z a_1^*(z)=\\&=(\rho z^2-z(1+\gamma)+1)P_{10}+zP_{11}-\beta_2 z\, P_{00},\end{aligned}\qquad(9)$$

$$(\rho z-\rho-\beta_1)\,a_2(z)+\delta a_2^*(z)=\rho z P_{20}-P_{11},\qquad(10)$$

$$(\rho+\delta+\beta_1-\rho z)\,a_2^*(z)=\rho\, z\, P_{20},\qquad(11)$$

$$(\rho z-\rho-\delta_1)\,a_1^*(z)+\beta_2 a_0(z)=\beta_2 P_{00}.\qquad(12)$$

Выразим неизвестные вероятности P_{00}, P_{11} и P_{20} через P_{10}. Для этого составим систему из первых уравнений систем (2), (3) и (4), предварительно проведя несложные преобразования. Получаем следующую систему алгебраических уравнений:

$$\begin{cases}-(\rho+\beta_2)P_{00}+\gamma P_{11}=0,\\-\rho P_{10}+\beta_1 P_{20}+\beta_2 P_{00}=0,\\-(\rho+\beta_1)P_{20}+P_{11}=0.\end{cases}\qquad(13)$$

Обозначим

$$C=\frac{\rho}{\beta_1(\rho+\beta_2)+\gamma\beta_2(\rho+\beta_1)}.$$

Тогда несложно показать, что решение системы алгебраических уравнений (13) относительно P_{10} имеет вид:

$$\begin{cases} P_{11}=C(\rho+\beta_1)(\rho+\beta_2)P_{10}, & \textbf{(14)}\\ P_{00}=\gamma C(\rho+\beta_1)P_{10}, & \textbf{(15)}\\ P_{20}=C(\rho+\beta_2)P_{10}. & \textbf{(16)}\end{cases}$$

Подставив найденные значения вероятностей , и в соотношения (7), (9) – (12), соответственно получаем

$$(\rho+\delta-\rho z)\,a_0^*(z)-\beta_1 a_2^*(z)=\rho z\,P_{10}, \qquad \textbf{(17)}$$

$$\begin{aligned}&(\rho z^2-z(1+\rho+\gamma)+1)\,a_1(z)+\delta z a_0^*(z)+\beta_1 z a_2(z)+\\ &+\delta_1 z a_1^*(z)= \qquad \textbf{(18)}\\ &=[\rho z^2-z(1+\gamma)+1+Cz(\rho+\beta_1)\cdot(\rho+\beta_2-\gamma\beta_2)]P_{10},\end{aligned}$$

$$(\rho z-\rho-\beta_1)\,a_2(z)=C(\rho+\beta_2)(\rho z-\rho-\beta_1)P_{10}-\delta a_2^*(z), \qquad \textbf{(19)}$$

$$(\rho+\delta+\beta_1-\rho z)\,a_2^*(z)=C\rho z(\rho+\beta_2)P_{10}, \qquad \textbf{(20)}$$

$$(\rho z-\rho-\delta_1)\,a_2^*(z)+\beta_2 a_0(z)=C\gamma\beta_2(\rho+\beta_1)\,P_{10}. \qquad \textbf{(21)}$$

Для простоты изложения, введем следующие обозначения:

$$\begin{aligned}&d_1(z)=z(\rho+\beta_2-\rho z),\\ &d_2(z)=\rho z^2-z(1+\rho+\gamma)+1,\\ &d_3(z)=\rho+\delta-\rho z,\\ &d_4(z)=\beta_1 a_2^*(z)+\rho z\,P_{10},\\ &d_5(z)=\begin{bmatrix}\rho z^2-z(1+\gamma)+1+\\ +Cz(\rho+\beta_1)(\rho+\beta_2-\gamma\beta_2)\end{bmatrix}P_{10}-\beta_1 z a_2(z),\\ &d_6(z)=\rho z-\rho-\delta_1.\end{aligned}$$

Из равенств (8), (17), (18) и (21) составляем новую систему алгебраических уравнений, которая, с учетом введенных обозначений, имеет вид:

$$\begin{cases} d_1(z)\,a_0(z)-\gamma a_1(z)=-\gamma P_{10},\\ d_2(z)a_1(z)+\delta z a_0^*(z)+\delta_1 z a_1^*(z)=d_5(z),\\ d_3(z)a_0^*(z)-\beta_2 a_0(z)=d_4(z),\\ d_6(z)a_1^*(z)+\beta_2 a_0(z)=C_1,\end{cases} \qquad \textbf{(22)}$$

где $C_1=C\gamma\beta_2(\rho+\beta_1)P_{10}$.

Решая систему алгебраических уравнений (22) относительно стационарной вероятности P_{10}, можно выразить производящие функции $a_0(z)$, $a^*_0(z)$ и $a_1(z)$ через P_{10}.

Для определения P_{10}, а затем и вероятностей P_{11}, P_{00} и P_{20} воспользуемся условием нормировки

$$a_0(1)+a_0^*(1)+a_1(1)+a_1^*(1)+a_2(1)+a_2^*(1)=1.$$

Значения производящих функций $a_2(z)$ и $a^*_2(z)$ в точке $z = 1$ находим непосредственно из равенств (19) и (20). В частности из равенства (20) находим

$$a_2^*(1)=\frac{C\rho(\rho+\beta_2)}{\delta+\beta_1}P_{10}. \qquad \textbf{(23)}$$

Из равенств (19) и (23) следует, что

$$a_2(1)=C(\rho+\beta_2)\left(1+\frac{\delta\rho}{\beta_1(\delta+\beta_1)}\right)P_{10}. \qquad \textbf{(24)}$$

Теперь из первого уравнения системы (22) при $z = 1$ получаем следующее соотношение

$$a_1(1)=P_{10}+\frac{\beta_2}{\gamma}a_0(1). \qquad \textbf{(25)}$$

Из третьего уравнения системы (22) при $z = 1$ получаем соотношение вида:

$$a_0^*(1)=\frac{d_4(1)}{\delta}. \qquad \textbf{(26)}$$

Наконец, из четвертого уравнения системы (22) при $z = 1$ следует справедливость равенства

$$a_1^*(1)=\frac{1}{\delta_1}(\beta_2\,a_0(1)-A). \qquad \textbf{(27)}$$

Подставив соотношения (26) и (27) в условие нормировки, после несложных преобразований получаем

$$\begin{aligned}&P_{10}+\frac{d_4(1)}{\delta}-\frac{A}{\delta_1}+\left(1+\frac{\beta_2}{\gamma}+\frac{\beta_2}{\delta_1}\right)a_0(1)+ \qquad \textbf{(28)}\\ &+a_2(1)+a_2^*(1)=1.\end{aligned}$$

Таким образом, для вычисления стационарной вероятности P_{10} достаточно найти значение производящей функции.

Из системы (22) находим:

$$a_0(z)=\gamma\frac{d_6(z)[d_3(z)d_5(z)-d_2(z)d_3(z)P_{10}-\\ -\mathrm{d}\,zd_4(z)d_6]-\mathrm{d}_1 zd_3(z)A(z)}{d_3(z)[d_1(z)d_2(z)d_6(z)-\gamma\beta_2\mathrm{d}_1 z]}.$$

Тогда можно показать справедливость следующего равенства

$$a_0(1)=\frac{\delta_1\rho\gamma\left[P_{10}+\dfrac{d_4(1)}{\delta}+a_2^*(1)+a_2(1)-\dfrac{A}{\delta_1}\right]}{\beta_2\delta_1(1+\gamma)-\rho(\gamma\delta_1+\beta_2(\delta_1+\gamma))}. \qquad \textbf{(29)}$$

Из равенства (29) находим условие существования стационарных вероятностей состояний системы, а именно

$$\rho<\frac{\beta_2\delta_1(1+\gamma)}{\gamma\delta_1+\beta_2(\delta_1+\gamma)}. \qquad \textbf{(30)}$$

Наконец, используя равенства (28) и (29), выписываем условие нормировки:

$$\left[P_{10}+\frac{d_4(1)}{\delta}-\frac{A}{\delta_1}+a_2(1)+a_2^*(1)\right]\times$$
$$\times\left[1+\frac{[\gamma\delta_1+\beta_2(\delta+\gamma)]\rho\delta}{\beta_2\delta_1(1+\gamma)-\rho(\gamma\delta_1+\beta_2(\delta_1+\gamma))}\right]=1.$$

Подставив в последнее равенство найденные выше значения производящих функций $a_2(1)$ и $a^*_2(1)$, находим

$$P_{10}=\frac{1}{B(1+K)},$$

где

$$B=\frac{1}{\delta\delta_1\beta_1(\delta+\beta_1)}\left[\beta_1(\delta+\beta_1)\begin{pmatrix}\delta_1(\delta+\rho)+C\delta\delta_1(\rho+\beta_2)-\\-C\gamma\delta\beta_2(\rho+\beta_1)\end{pmatrix}+\right.$$
$$\left.+C\rho\delta(\rho+\beta_2)(\delta^2+\beta_1^2+\beta_1\delta)\right].$$

и $K=\dfrac{[\gamma\delta_1+\beta_2(\delta+\gamma)]\delta\rho}{\beta_2\delta(1+\gamma)-\rho(\gamma\delta+\beta_2(\delta+\gamma))}.$

Таким образом, найдены производящие функции вероятностей состояний системы и необходимое условие (30) существования стационарного распределения вероятностей состояний рассмотренной системы. С помощью найденных вероятностей можно рассчитать различные показатели, которые характеризуют процесс функционирование рассмотренной системы, а также оценить целесообразность вывода ремонтных услуг на аутсорсинг. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Друкер П. Создание новой теории производства / П. Друкер // Проблемы теории и практики управления. – 1991. – № 1. – С. 5 – 11.

2. Промышленная логистика. Логистико-ориентированное управление организационно-экономической устойчивостью промышленных предприятий в рыночной среде / И. Н. Омельченко, А. А. Колобов, А. Ю. Ермаков, А. В. Киреев ; Под ред. А. А. Колобова. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1997. – 204 с.

3. Медведева М. И. Исследование системы обслуживания с ненадежным прибором и переналадкой в начале периода занятости / Н. В. Румянцев, М. И. Медведева // Бізнес Інформ. – Харьков, 2011. – № 7(1). – С. 10 – 13.

4. Медведева М. И. Гибкая производственная система с переналадкой, ненадежным оборудованием, восстановлением и профилактикой / М. И. Медведева // Проблеми економіки. – Харків, 2012. – № 2. – С. 54 – 58.

УДК 330.3:311.3

СТАТИСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ІНВЕСТИЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ В УКРАЇНІ

ЖМАЙЛО М. А.

НАКОНЕЧНИЙ Я. В.

Донецьк

Одним из важных условий обеспечения постоянного экономического развития является проведение активной инвестиционной политики. Существует целый комплекс факторов, которые оказывают влияние на принятие решений об инвестировании: политические, экономические, социальные и т. д. Чем меньше имидж страны соответствует ожиданиям инвестора, тем ниже оценивается инвестиционный климат и тем на большие уступки и льготы должно соглашаться государство для привлечения капитала. И наоборот, улучшение инвестиционного климата позволяет государству последовательно снижать льготы, выравнивая их в соответствии с международными стандартами, и создавать конкурентно-инвестиционный рынок.

Теоретическим основам изучения инвестиционной деятельности посвящены работы таких ученых, как Скоромнюк М. О. [6], Кужель О. В., Марцин В. С., Рудченко О. Ю. [7], Титова С. П., Федоренко В. Г. [8] и др. Вопросами оценки и анализа инвестиционной деятельности занимались Абрамова С. И. [1], Азаров А. О. [2], Пересада А. А. [5] и др. Однако вопросам непосредственно моделирования инвестиционной деятельности в научной литературе уделено недостаточно внимания.

Целью статьи является изучение факторов, влияющих на инвестиционные процессы, а также разработка предложений, направленных на улучшение инвестиционного климата с учетом возможных сценариев развития инвестиционной деятельности в Украине.

Основной целью инвестиций является воспроизводство и обновление основного капитала. Проблема инвестирования всегда привлекала внимание экономической науки, поскольку инвестиции непосредственно влияют на основы хозяйственной деятельности, определяя процесс экономического роста.

В Законе Украины «Об инвестиционной деятельности» от 18.09.91 г. инвестициями являются все виды имущественных и интеллектуальных ценностей, вкладываемых в объекты предпринимательской и других видов деятельности, в результате которой образуется прибыль (доход) или достигается социальный эффект [4].

Современная инвестиционная политика Украины является противоречивой, так как базируется, с одной стороны, на либеральной экономической концепции, а с другой – на механизме административного регулирования. Такое двойственное развитие экономики является причиной неудовлетворительного состояния инвестиционной деятельности в сфере капитальных инвестиций [3]. В результате этого, на первоочередное место выступает планирование и прогнозирование исследуемого показателя. При этом важно выделять возможные, как оптимистические, так и пессимистические, сценарии развития инвестиционной деятельности.

Наиболее информативным показателем инвестиционной деятельности является объем освоенных инвестиций в основной капитал. Капитальные инвестиции играют важную роль как на микро-, так и на макроуровне, поскольку они являются основой для:

- систематического обновления основных производственных фондов предприятия и осуществления политики расширенного воспроизводства;
- ускорения НТП и улучшения качества продукции;