

УДК 669.02/09

Белодеденко Сергей Валентинович⁽¹⁾, зав. кафедры, доктор технических наукГречаный Алексей Николаевич⁽¹⁾, аспирантЧеченев Владимир Андреевич⁽²⁾, ведущий научный сотрудник, доктор технических наук

ПЛАНИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ МЕТАЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВАНИИ МОДЕЛЕЙ «ОТЛОЖЕННОГО РЕМОНТА»

⁽¹⁾ *Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепр*⁽²⁾ *ПК «СТАЛЬПРОМ», г. Днепр*

При переходе к обслуживанию по техническому состоянию акцент в затратах средств на техническое обслуживание и ремонт смещается с ремонтных воздействий на диагностирование технического состояния, которое решает вопрос о последующих датах и объемах восстановительных мероприятий. Возрастает актуальность планирования операций контроля технического состояния. Получены решения для оптимизационных моделей в относительных стоимостных и ресурсных показателях. Продемонстрирована эффективность моделей «отложенного ремонта» на примере кожуха шахт доменных печей.

Ключевые слова: техническое обслуживание, техническое состояние, риск, безопасность, контроль, мониторинг, отказ, кожух, доменная печь

Анализ проблемы и постановка задачи. В настоящее время сервис оборудования является неотъемлемой частью промышленного производства [1]. Принимая во внимание особую актуальность технологий технического обслуживания и ремонта (ТОиР) для металлургического производства, с целью оптимизации расходов по данной статье менеджмент предприятий стал постепенно отходить от традиционной планово-предупредительной системы ремонтов с их жестким графиком (превентивное обслуживание, preventive maintenance – PM). На ряде предприятий стесненность в средствах на ТОиР привела к корректирующей стратегии обслуживания, когда восстанавливающие мероприятия производятся после фактов отказов (corrective maintenance – CM). Как видно, в обеих стратегиях расходование средств *S* далеко не оптимально и использование PM и CM-стратегий может быть оправданно только на отдельных этапах эксплуатации. Минимизации расходов на обслуживание оборудования и максимизации его готовности способствует стратегия обслуживания по техническому состоянию (technical condition maintenance – TCM). Данная стратегия предполагает использование гибкого графика ремонтов и характеризуется активным применением методов технической диагностики, вследствие чего в зарубежной литературе такие стратегии именуются как proactive (predictive) maintenance, imperfect maintenance. Кроме рассмотренных типов стратегии обслуживания по состоянию с контролем параметров, известен и широко приме-

няется тип стратегии с контролем надежности (Reliability centered maintenance – RCM) [2]. Здесь уже возникает задача оценки последствий отказов, что привело к созданию стратегии с контролем риска и безопасности (risk based inspection – RBI).

Учитывая сказанное, производители металлургического оборудования (например, «SMS Meyer», «SMS Siemag», «Danieli», «Eirich») стали оснащать его встроенными системами контроля функционирования, а самое примечательное, предлагают послепродажное сервисное обслуживание [2]. По существу, это рекомендации по датам замен узлов, которые осуществляются (иногда в «он-лайн» режиме) по результатам мониторинга технического состояния. Такая тенденция является актуальной, поскольку, принимая во внимание моду на аутсорсинг, от оборудования отторгаются постоянно наблюдающие его специалисты-механики, а количество информации, которая характеризует техническое состояние, возрастает и усложняется.

На металлургических предприятиях, исповедующих новые подходы к политике ТОиР, интенсивно организуются службы надежности и технической диагностики оборудования. Например, на крупном металлургическом комбинате, выпускающем более 5,0 млн. тонн готового проката, служба диагностирования включает 32 персоны, которые выполняют оценку технического состояния 4035 единиц разнообразного оборудования с использованием переносных средств диагностики. В такой ситуации актуальными становятся модели, позволяющие оптими-

зировать периодичность диагностических операций.

Вопросы планирования режимов технического обслуживания важны, как для традиционной нормативно-предупредительной стратегии использования механических систем, так и для проактивных стратегий. Невозможно одномоментно перейти от традиционной стратегии к выгодной ТМС-стратегии, хотя бы потому, что оборудование должно быть контролепригодным, а действующие машины и конструкции не отвечают этому. В подобных условиях оценка технического состояния и поиск дефектов производится посредством инспекций или ревизий, где предусматривается, как правило, разборка узлов. Это существенно увеличивает трудоемкость обслуживания и время простоев. Поэтому оптимизация периодичности инспекций приобретает особую актуальность на пути перехода к обслуживанию по техническому состоянию.

Цель работы. Один из путей снижения затрат на ТОиР связан с увеличением межремонтного периода (эксплуатационного цикла) за счет использования резерва в виде периода развития неисправности или дефекта до критического значения. Собственно, тенденция введения нескольких фаз технического состояния в эксплуатационные модели направлена на сокращение ремонтных издержек и повышение готовности оборудования. Такая идея воплощена в моделях, которые можно назвать моделями *отложенного ремонта*. К ним относятся модели резервного времени и модели задержки времени (DT-модели). Принципиальная разница между ними, на взгляд авторов, заключается в том, что в моделях резервного времени используется функция надежности, получаемая апостериорно математико-статистическими методами с учетом периода работы объекта в поврежденном состоянии. В DT-моделях используется функция распределения живучести (обратная функции надежности на интервале развития дефекта), получаемая вероятностно-физическими методами. Модели, учитывающие промежуточные фазы технического состояния, потребовали развития методов их контроля. В результате этого актуализировались методы технического диагностирования.

Настоящая работа призвана, на основании обзора моделей и алгоритмов эксплуатационных процессов, помочь практикующим специалистам разобраться, какими критериями следует руководствоваться при назначении режимов технического обслуживания конкретного оборудо-

Реализация задачи.

Модель «резервного времени». Данная модель инспектирования (backup model) предложена для стратегий ТОиР, где рассматриваются три фазы технического состояния, одна из которых (*B*-фаза) расположена между работоспособной (*G*-фаза) и неработоспособной (*D*-фаза) [3]. Фактически, предполагается функционирование технической системы в промежуточной фазе, модель для которой была предложена Р.Барлоу [4] в 60-х годах прошлого столетия.

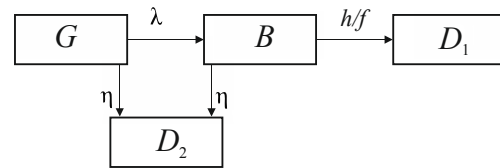


Рисунок 1 – Схема модели технических состояний

Оценить принадлежность объекта к *B*-фазе или *G*-фазе возможно только путем контрольной проверки, поэтому при ТОиР активно используют техническое диагностирование. Следовательно, возрастает актуальность процедур контроля (checking), как растут и расходы на них C_i . Предполагается, что имеющийся дефект ведет к неисправности технической системы, но она может функционировать в такой фазе какое-то резервное время. Тогда в этой ситуации появляется возможность сэкономить на ремонтных затратах, имеющих интенсивность c_c (loss cost). Зная среднюю наработку на отказ T_0 , ремонтные издержки должны бы составить величину равную $c_c \cdot T_0$. Баланс расходов $C(t)$ обусловлен постоянным линейным ростом планируемых ремонтных затрат совместно с затратами на контроль C_i и экономией этих затрат на временном отрезке $\delta = t_j - t_{j-1}$ между инспекциями j , которая сдерживается вероятностью отказа $F(j\delta)$ [5]:

$$C(t) = (C_i - c_c \cdot \delta) \cdot \sum_{j=1}^{\infty} F(j\delta) + c_c \cdot T_0. \quad (1)$$

Исходя из этих предпосылок предложены три варианта инспекционных режимов: периодический, с уменьшающимися межинспекционными интервалами (последовательный) и рандомизированный. Для первых двух режимов параметром инспекционной модели является отношение C_i/c_c , имеющее размерность времени. Для периодического режима оптимальный интервал δ постоянен и при экспоненциальном законе надежности определяется из уравнения:

$$\delta = T_0 \cdot (1 - \exp(-\delta \cdot T_0)) - \frac{C_i}{c_c}. \quad (2)$$

Данное уравнение можно представить как

$$\frac{\delta}{T_0} - (1 - \exp(-\delta \cdot T_0)) = \frac{C_i}{c_c \cdot T_0} = \frac{1}{T_0 \cdot c_r}, \quad (3)$$

из которого при $T_0 = 1$ можно найти оптимальный относительный интервал δ_{opt}^r .

Для последовательного режима межинспекционный интервал $\delta_j = t_j - t_{j-1}$ определяется из уравнения:

$$\frac{F(t_j) - F(t_{j-1})}{f(t_j)} = t_j - t_{j-1} - \frac{C_i}{c_c}, \quad (4)$$

где $F(t)$, $f(t)$ – соответственно вероятность и плотность вероятности распределения наработки на отказ.

Аналогичная модель, хотя и из других предпосылок, получена в работах [6,7]. Для первого межинспекционного интервала $t_{j-1} = 0$, а $\delta_1 = t_1$. Учитывая, что при экспоненциальном законе распределения времени наработки на отказ $f(t) = [\exp(-t/T_0)]/T_0$, данная модель для δ_1 становится идентичной модели строго периодичных инспекций (2). По результату использования приведенных алгоритмов следует, что дата первой инспекции составляет $\delta_1 = (0,2...0,4)T_0$, увеличиваясь с ростом ее стоимости C_i [5,6].

DT-модели для инспекционных режимов. С развитием теории надежности экономико-статистические методы обслуживания стали сочетать с методами «физики отказов», которые отражают природу деградационного процесса [8]. Например, в рассмотренных выше методах содержится, фактически, функция распределения периода живучести $[F(t), P_f(t)]$, которую проблематично установить без использования методов механики разрушения и анализа нагруженности. Ведь речь идет об объектах с неким риском, для которых за время эксплуатации не набирается представительная выборка результатов для обоснования вида функции живучести. Признаком подобного перехода к вероятностно-физическим методам является также анализ промежуточной фазы технических состояний, то есть, при этом осуществляется переход от «марковской» двухфазной классификации технических состояний (работоспособное – неработоспособное, исправное – неисправное) к классификации, где учитываются дополнительные поврежденные состояния D_1 и D_2 (рис. 1).

Такой постановке задачи соответствуют, так называемые, DT-модели. Их название (delay time – задержка времени), по-видимому, объясняется тем, что в целях снижения времени простоев и увеличения степени выработки ресурса оборудования замена его узлов происходит не сразу после обнаружения дефекта, как это может быть

при корректирующем обслуживании, а после его развития до критического значения. То есть, с некоторой задержкой, которая обусловлена временем развития дефекта, которое соответствует периоду живучести (рис. 2). Данная модель разработана в 80-х годах Кристером как один из инструментов для стратегии обслуживания по техническому состоянию. Фактически, здесь рассматриваются три фазы технического состояния, одна из которых промежуточная на пути от работоспособного состояния к неработоспособному (unavailability) [9].

Идея метода заключается в том, что период до следующей инспекции δ не может быть больше периода живучести h : $\delta < h$. В подобных моделях время эксплуатации t может выражаться посредством межинспекционных интервалов δ . В основе алгоритма лежит функция отказов от времени эксплуатации:

$$F(t) = \lambda \int_0^{\delta} (\delta - h) \cdot f(h) dh, \quad (5)$$

где λ – интенсивность появления дефектов (определяется обычно, как их число за интервал времени эксплуатации t); $f(h)$ – плотность распределения времени живучести.

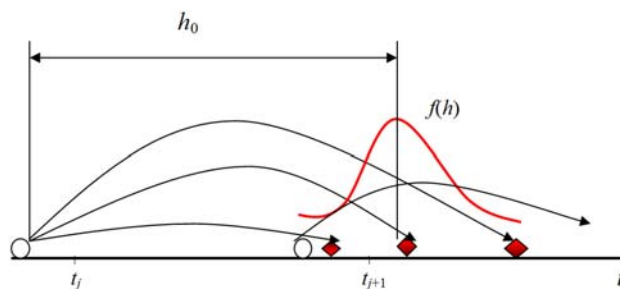


Рисунок 2 – Схема DT-модели: возникновение дефекта (кружки), его развитие (стрелки) в течение времени h , приводящее к отказам (ромбы), а также сроки инспекций t_j и t_{j+1}

Данное уравнение может также трактоваться как число послеотказных ремонтов, исходя из интенсивности отказов за средний срок службы T_0 : $N_f = \lambda \cdot h_0 = h_0 / T_0$, здесь h_0 – средний период живучести.

Вариант использования DT-концепции для оптимизации периода инспекций по критерию минимума времени простоев описан авторами в работе [3]. В данной работе рассмотрен еще один критерий.

Минимизация удельных затрат. Данные модели разработаны для технических систем, состоящих из последовательно и параллельно работающих элементов (сложные технические системы), оснащенных средствами технического диагностирования [10,11]. Модели применимы

для смешанных стратегий обслуживания, когда в традиционную стратегию превентивно-корректирующего обслуживания (РМ-СМ) вводятся элементы обслуживания по техническому состоянию. Детерминированная модель удельных затрат выглядит традиционно, хотя и имеет особенности:

$$c(t) = c_{pc}(t) + c_m(t) + c_i(t). \quad (6)$$

Удельные затраты на ремонты $c_{pc}(t)$ зависят от стоимости новых заменяемых деталей C_e (очевидно, сюда следует включать и стоимость, собственно, замены):

$$c_{pc} = [(n - k + 1) \cdot N_f + N_{ir}] \cdot C_e / t, \quad (7)$$

где n – число элементов системы; k – минимальное число элементов системы, достаточное для ее функционирования; N_f – число внезапных отказов; N_{ir} – число деталей, заменяемых после инспекции.

Удельные убытки от отказа системы составляют:

$$c_m(t) = \frac{N_f \cdot C_m}{t}, \quad (8)$$

где C_m – абсолютные убытки от отказа с последствиями (в риск-анализе – это интенсивность ущерба).

Аналогично выражению (8) вычисляют и удельную стоимость инспекции:

$$c_i(t) = \frac{N_i \cdot C_i}{t}, \quad (9)$$

где N_i – число инспекций, в которое, помимо непосредственно, диагностирования, включают количество превентивных замен предотказных элементов.

Более интересно выглядит вероятностная модель расходов на ТОиР сложных технических систем за эксплуатационный цикл:

$$c(\delta) = \frac{c_m \cdot P_c(t) + c_{pc} \cdot [1 - P_c(t)] \cdot \sum_{j=1}^n F(\delta_j) + c_i \cdot [1 - P_c(t)]}{\prod_{j=1}^n (1 - F(\delta_{j-1}))}, \quad (10)$$

где $P_c(t)$ – вероятность внезапного отказа, найденная по функции надежности; $F(\delta_{i-1})$, $F(\delta_i)$ – вероятности постепенного отказа, найденные по функции распределения живучести (времени задержки h) начале (δ_{i-1}) и в конце (δ_i) межинспекционного периода соответственно.

С увеличением времени эксплуатации t вероятность отказов $P_c(t)$ возрастает, как возрастает и вероятность завершения развития дефекта $F(\delta_i)$ в течение межинспекционного интервала. Это способствует росту интенсивности затрат. Знаменатель формулы (10) представляет надежность системы по постепенным отказам. Ее ес-

тественное снижение в процессе эксплуатации также ведет к росту затрат.

Исследуя поведение детерминированной модели, ее авторы выяснили, что форма закона распределения периода h не существенно влияет на положение функций затрат $c(t)$ и готовности $A(t)$. Последнюю вычисляли в вероятностном аспекте с использованием зависимости:

$$A(t_p) = \frac{T_{0P}}{T_{0P} + T_{pP} + T_{cP}}, \quad (11)$$

где T_{0P} , T_{pP} , T_{cP} – соответственно время эксплуатации, время профилактического ремонта, время корректирующего (послеотказного) ремонта, найденные по их функциям распределения для вероятности P .

Наиболее влиятельными в этом отношении являются средние значения периода живучести h и межинспекционного интервала δ . Более того, был найден критерий оптимального периода $\delta_{opt} \approx 0,5h$, поскольку после $h/\delta > 2$ значения c и A изменяются незначительно (рис. 3). Примечательно, что данное положение установлено в условиях существенного риска, что выражено соотношением $c_m/c_{pc} = 10^4$.

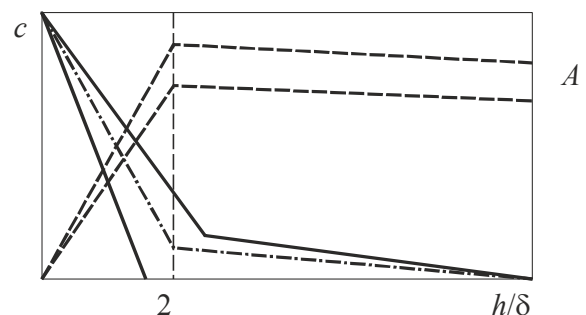


Рисунок 3 – Расположение полей значений c (сплошные) и A (пунктир), полученное по моделям (7)-(12) методом Монте-Карло

Таким образом, из анализа моделей следует, что эффективное техническое обслуживание может быть реализовано путем увеличения числа инспектируемых элементов с высоким риском эксплуатации. При этом важно достоверно прогнозировать период h , поскольку при росте его вариации авторы алгоритма рекомендуют сокращать отношение h/δ [11]. Очевиден уход от стратегии строго периодического инспектирования.

Периодичность инспектирования кожуха шахты доменной печи. Как видно, ключевую роль в обеспечении концепций «отложенного ремонта» играет функция распределения живучести или развития дефекта. Данная концепция, фактически, используется при ТОиР кожухов

металлургических агрегатов. Кожухи подвергаются периодическим инспекциям, сочетающим их осмотр, инструментальное диагностирование и оперативное устранение дефектов. Эта операция является достаточно трудоемкой, поскольку, кроме значительной площади поверхности, кожух доменной печи имеет труднодоступные для контроля места. Осмотры кожухов доменных печей рекомендовано производить два раза в месяц [12]. Они предназначены для выявления повреждений на ранней стадии и являются элементами нормативно-превентивной стратегии ТОиР.

Для кожухов шахты доменных печей разработан алгоритм на основе нелинейной механики разрушения, позволяющий получить функцию распределения живучести [13]. При этом используют логнормальный закон:

$$\lg T_p = \lg T_0 \pm S_{\lg T_0} \cdot u_p, \quad (13)$$

где T_p – искомый период живучести для вероятности неразрушения P ; $\lg T_0$ – медианное значение логарифма времени живучести; $S_{\lg T_0}$ – среднеквадратическое отклонение логарифма периода живучести; u_p – нормированная квантиль нормального распределения для вероятности P .

Численные значения данного уравнения получены для условий роста поверхностной полуэллиптической трещины глубиной 10 мм до критического значения, соответствующего критическому значению коэффициента интенсивности напряжений при циклическом нагружении. Толщина кожуха – 40 мм. Расчет выполнен для типовой истории нагружения кожуха шахты в виде трехступенчатого блока [13]. Такой блок формируется на основании параметров лишь одной ступени. В данном случае это ступень с максимальными напряжениями 300 МПа и относительной величиной действия c_3 , которая определяется как произведение относительного времени работы кожуха с поврежденной системой охлаждения t_3 и относительного количества

отказавших элементов системы охлаждения z_3 : $c_3 = t_3 \cdot z_3$.

Рассмотрены три марки стали, используемые для изготовления кожухов и два варианта историй нагружения (табл. 1). Видно, что наибольшая стойкость кожуха достигается для стали с карбонитритным упрочнением 16Г2АФ. При возрастании величины c_3 стойкость кожуха уменьшается.

Таблица 1 – Параметры функции живучести в месяцах работы

Марка стали	$c_3 = 0,2$		$c_3 = 0,3$	
	$\lg T_0$	$S_{\lg T_0}$	$\lg T_0$	$S_{\lg T_0}$
ст.3 сп.	1,91	0,41	1,77	0,41
09Г2С	1,97	0,48	1,77	0,48
16Г2АФ	2,30	0,42	2,07	0,42

Оптимальный период между инспекциями по зависимости (13) будет:

$$\delta = 0,5 \cdot 10^{\lg T_0}. \quad (14)$$

В практической деятельности по обслуживанию кожухов персонал не всегда уверен в том, из какого материала изготовлен элемент кожуха. Также неясны уровни нагрузок и динамика их изменения. В процессе диагностирования эти сведения различными способами уточняются и происходит идентификация моделей. В данном случае идентификация отражается в количестве объединяемых выборок, которые имеют параметры, указанные в табл. 1. Объединенная выборка имеет параметры $\lg T_{0\Sigma}$ и $S_{\lg T_0}$ (табл. 2).

Обычно, идентификация приводит к уменьшению числа ремонтных операций, что выражается в увеличении периодов между восстанавливаемыми мероприятиями. В данном случае идентификация отвергла более благоприятные варианты и величина δ снизилась с 25,4 мес. до 17,1 мес. В дальнейшем идентификация приводит к ожидаемому росту δ до 29,4 мес.

Таблица 2 – Изменение межинспекционного периода при идентификации моделей

Шаг идентификации	Глубина идентификации	Среднее значение медиан выборок	$S_{\lg T_0}$	$\lg T_{0\Sigma}$	δ , мес.
1	Неизвестна марка и режим (6 выборок)	1,97	0,475	1,71	25,4
2	Ясно, что марка не 16Г2АФ (4 выборки)	1,86	0,45	1,62	21,0
3	Уточнен режим $c_3 = 0,3$, но не ясна марка стали (2 выборки)	1,77	0,45	1,54	17,4
4	Уточнена марка – сталь В.3,сп, но неясен режим (2 выборки)	1,84	0,42	1,64	21,6
5	Известны марка стали – В.3,сп и режим – $c_3 = 0,3$ (1 выборка)	1,77	0,41	1,77	29,4

Предлагаемый период осмотра гарантирует, что обнаруженная раньше поверхностная трещина не превратится в сквозную. К сожалению, кожух содержит и другие повреждения – перегревы, выпучивания, смещения, которые нуждаются в контроле и не дают возможности полностью оптимизировать режим ТОиР.

Выводы. В результате исследований ДТ-моделей был найден универсальный критерий для нахождения оптимального межинспекционного интервала, который равен половине среднего периода живучести $\delta_{opt} = 0,5 h_0$. Фактически при помощи этого критерия устанавливается не оптимальное (оно зависит лишь от одного фактора), а гарантированное время эксплуатации, при котором дефект не разовьется до критического. После инспекции следует установить новый срок эксплуатации либо для прежнего, либо для восстановленного элемента.

Возможность контроля за развитием дефектов обусловлена интенсивным развитием средств технической диагностики. В таких обстоятельствах становится актуальным уход от строго периодической стратегии инспекций, присущей чисто экономико-статистическим моделям, к последовательной, с уменьшающимися интервалами, стратегии инспекций, характерной для «гибридных» моделей с диагностированием отдельных видов отказов (ДТ-модели, алгоритмы Фама). В моделях на основе вероятностно-физических методов описания деградиационных процессов понятие регулярного межинспекционного интервала отсутствует. Существует только интервал до последующей

проверки, который устанавливается на основе прогноза остаточного ресурса. Собственно, это и составляет отличительную черту стратегий обслуживания по техническому состоянию, когда отсутствует строгий график инспекций и запланированный, постоянный объем восстановительных мероприятий.

Следует отметить, что развитие моделей ТОиР отражает тенденцию перехода от нормативно-превентивных и корректирующих стратегий использования оборудования к стратегии его использования до предотказного состояния и стратегии обслуживания по фактическому техническому состоянию. Именно этим объясняется появление моделей, в которых рассматривается три-четыре фазы технического состояния. Введение промежуточных фаз между работоспособным и неработоспособным (исправным и неисправным) состояниями соответствует фактическому функционированию объекта в поврежденном состоянии. Появление ДТ-моделей знаменует тенденцию проникновения в экономико-статистические модели вероятностно-физических методов. При их посредстве возможно получение функции распределения времени развития дефекта $h(t)$, которое применительно к трещине называется периодом живучести. Для ответственных и дорогостоящих элементов конструкций представительную выборку для получения функции $h(t)$ невозможно получить в производственных условиях, кроме как путем испытаний их модельных фрагментов в лаборатории. Можно сказать, что априорные модели, в силу своей экономичности и эффективности, сменяют апостериорные.

Библиографический список

1. **Johnston, A. T.** Maintenance As A Part Of The Enterprise [Электронный ресурс] / Initiating the Dialogue with MIMOSA. – Режим доступа: \ <http://www.mimosa.org/whitepapers>. – 2001. – 7 p. – Загл. с экрана.
2. **Белодеденко, С. В.** Вопросы периодичности контролей технического состояния механических систем в металлургии. [Текст] / С. В. Белодеденко, М. С. Ибрагимов – Днепр : ЛизуновПресс, 2017. – 80 с.
3. **Белодеденко, С. В.** Модели «отложенного ремонта» для обслуживания механических систем [Текст] / С. В. Белодеденко, А. Н. Гречаный, М. С. Ибрагимов // Вісник сертифікації залізничного транспорту. – 2017. – № 3 (43). – С. 6-13.
4. **Barlow, R. E.** Mathematical Theory of Reliability. [Text] / R. E. Barlow, F. Proschan. – New York: John Wiley and Sons, Inc. – 1965. – 256 p.
5. **Nakagawa, T.** A summary of maintenance policies for a finite interval [Text] / T. Nakagawa, S. Mizutani // Reliability Engineering and System Safety. – 2009. – Vol. 94, No. 1. – Pp. 89-96.
6. **Chen, M.** Optimal backward and backup policies in reliability theory [Text] / M. Chen, S. Mizutani, T. Nakagawa // Journal of the Operations Research Society of Japan. – June 2010. – Vol. 53, No. 2. – Pp. 101-118.
7. **Байхельт, Ф.** Надежность и техническое обслуживание. [Текст] / Ф. Байхельт, Франкен П. – М. : Радио и связь, 1988. – 392 с.
8. **Fischer, K.** New Approaches for Reliability Assessment of Mechanical Systems and Parts [Электронный ресурс] / K. Fischer, N. Asmolovkiy, R. Custer at el. – Submitted to ECSSMET – Режим доступа: \ <https://www-researchgate.net/publication/308898708/> – 2016. – 15 p. – Загл. с экрана.
9. **Christer, A. H.** Reducing Production Downtime Using Delay-Time Analysis [Text] / A. H. Christer and W. M. Waller // Journal of the Operational Research Society. – 1984. – Vol. 35. – Pp. 499-512.

10. **Jodejko-Pietruczuk, A.** Block inspection policy model with imperfect inspections for multi-unit systems [Text] / A. Jodejko-Pietruczuk, T. Nowakowski, S. Werbińska-Wojciechowska // RT&A. – 2013. – No. 3 (30). – Pp. 75-86.
11. **Jodejko-Pietruczuk, A.** Analysis of maintenance models' parameters estimation for technical systems with delay time [Text] / A. Jodejko-Pietruczuk, S. Werbińska-Wojciechowska // Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability. – 2014. – Vol. 16 (2). – Pp. 288-294.
12. **Любин, А. Е.** Кожухи доменных печей и воздухонагревателей. Действительная работа и промышленная безопасность. [Текст] / А. Е. Любин. – Киев. : Сталь, 2011. – 268 с.
13. **Чеченев, В. А.** Крупногабаритные охлаждаемые модули доменных печей. [Текст] / В. А. Чеченев. – Днепропетровск : Системные технологии. – 1999. – 101 с.

Білодіденко Сергій Валентинович, доктор технічних наук, завідувач кафедри машин та агрегатів металургійного виробництва, Національна металургійна академія України (Дніпро, Україна). E-mail: sergeibelo@gmail.com

Гречаний Олексій Миколайович, аспірант кафедри машин та агрегатів металургійного виробництва, Національна металургійна академія України (Дніпро, Україна). E-mail: tartalet@ukr.net

Чеченєв Володимир Андрійович, доктор технічних наук, провідний науковий співробітник ПК «СТАЛЬПРОМ» (Дніпро, Україна). E-mail: chechenev1va@gmail.com

ПЛАНУВАННЯ РЕЖИМІВ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ МЕТАЛУРГІЙНОГО БЛАДНАННЯ НА ПІДСТАВІ МОДЕЛЕЙ «ВІДКЛАДЕНОГО РЕМОНТУ»

Під час переходу до обслуговування за технічним станом акцент у витратах коштів на технічне обслуговування та ремонт зміщується з ремонтних впливів на діагностування технічного стану, яке вирішує питання про наступні дати та обсяги відновлювальних заходів. Зростає актуальність планування операцій контролю технічного стану. Одержано вирішення для оптимізаційних моделей у відносних вартісних і ресурсних показниках. Продемонстровано ефективність моделей «відкладеного ремонту» на прикладі кожуха шахт доменних печей. Ключові слова: технічне обслуговування, технічний стан, ризик, безпека, контроль, моніторинг, відмова, кожух, доменна піч.

Bilodidenko Sergey, Doctor of Technical Sciences, Head of Department Machines and Aggregates of Metallurgical Production, National Metallurgical Academy of Ukraine (Dnepr, Ukraine). E-mail: sergeibelo@gmail.com

Grechany Alexis, Graduate Student of Department Machines and Aggregates of Metallurgical Production, National Metallurgical Academy of Ukraine (Dnepr, Ukraine). E-mail: tartalet@ukr.net

Chechenev Vladimir, Doctor of Technical Sciences, Chief Scientist of PC «STALPROM» (Dnepr, Ukraine). E-mail: chechenev1va@gmail.com

PLANNING OF SERVICE METHODS OF METALLURGICAL EQUIPMENT ON BASED MODELS OF «DEFERRED REPAIR»

When switching to maintenance, the accent in the costs of maintenance and repair is shifted from repair actions to diagnosis of technical condition, which solves the issue of the following dates and the volume of rehabilitation measures. The urgency of scheduling maintenance monitoring operations is increasing. Solutions for optimization models in relative cost and resource indicators are obtained. The efficiency of the models of «postponed repair» is shown on the example of the casing of the mines of blast furnaces.

Keywords. maintenance, technical condition, risk, safety, monitoring, monitoring, failure, casing, blast furnace.

Стаття надійшла до редакції 12.03.2018 р.
Рецензент, проф. О.В. Явтушенко

Текст даної статті знаходиться на сайті ЗДІА в розділі Наука
<http://www.zgia.zp.ua>