

Управление надежностью оборудования на предприятиях по обращению с отходами

А.М. Гонопольский, зав. кафедрой, д-р техн. наук, профессор

В.Е. Мурашов, канд. техн. наук

А.В. Федорова, аспирант

Московский государственный машиностроительный университет

e-mail: amgonopolsky@mail.ru

Ключевые слова:

система обращения с отходами, статистические методы управления, программная надстройка, наработка на отказ, модель.

В статье рассматривается алгоритм программного управления надежностью оборудования, используемого на предприятиях системы обращения с отходами, а значит, и безопасностью как техносферы, так и окружающей среды. Задача решается посредством программного обеспечения выбора технологических, эксплуатационных и других параметров оборудования, обеспечивающих минимальный поток отказов при заданной производительности.

1. Управление надежностью системы обращения с отходами производства и потребления

Городская система обращения с отходами производства и потребления как объект программного управления характеризуется:

- слабостью теоретических знаний о взаимодействии элементов системы;
- качественным характером знаний о системе как объекте управления;
- большой долей необходимых экспертных знаний при описании, структуризации объекта управления;
- слабоструктурированными задачами управления системой;
- высоким уровнем неопределенности исходной информации.

По этим причинам особое значение здесь приобретают статистические методы управления данной системой, основанные на анализе технического состояния оборудования методами теории надежности [1]. Так как абсолютное большинство региональных систем обращения с отходами в России функционирует в условиях значительного дефицита мощностей предприятий, то целью анализа является управление надежностью, т.е. совершение действий по выбору технологических, эксплуатационных и других параметров оборудования, обеспечивающих минимальный поток отказов при заданной перерабатывающей мощности. Надежность оборудования в наших усло-

виях является синонимом экологической безопасности техносферы, окружающей среды и здоровья населения на прилегающих территориях.

Алгоритм управления надежностью оборудования, перерабатывающего отходы, предусматривает сбор оперативной информации о его работе (мощности, общей наработке, причинам и характере отказов, межремонтному ресурсу, затратам на ремонты), технико-экономический анализ показателей надежности, анализ влияния видов и методов технического обслуживания и ремонта (ТО и Р), прогнозирование показателей надежности на кратко- и среднесрочную перспективу.

Анализ надежности перерабатывающего отходы оборудования на стадии эксплуатации в общем случае представляет собой набор процедур:

- последовательного уточнения оценок и показателей надежности по мере уточнения правил эксплуатации, системы технического обслуживания и ремонта, критериев отказов и предельных состояний машин и аппаратов;
- накопления более полной и достоверной информации обо всех факторах, определяющих надежность.

2. Управление надежностью системы на базе программы «1С»

Алгоритм программы оптимального управления надежностью реализован на базе модификации ши-

роко известной программы «1С», предназначенной для ведения учета и планирования при выполнении ремонтов и технического обслуживания. Прежде чем перейти к основной цели данной статьи, необходимо остановиться на структуре базовой программы. Условно структуру программы можно разделить на три части. Основное назначение одной части программы — сбор первичной информации об отказах и ремонтах. Ведение учета происходит по каждой единице оборудования, что позволяет получить временные ряды по наработкам на отказ и затратам на ремонт, характерные именно для этой единицы с учетом ее особенностей. Это позволяет выявить отклонения в работе конкретного оборудования по сравнению с аналогами (например, по значениям наработок на отказ, по стоимости однотипных видов ремонта и т.п.).

Как показано на рис. 1, программа позволяет анализировать показатели надежности групп однотипных аппаратов и агрегатов, а также анализировать зависимость показателей надежности (например, наработок на отказ) однотипного оборудования от технологических параметров процессов переработки отходов. Такой анализ является составной частью предпроектных исследований при создании новых и реконструкции действующих предприятий.

Создание базы данных по ремонтам и отказам оборудования функционально вписывается в базовую программу «1С». Однако для задач анализа надежности перерабатывающего отходы оборудования на стадии эксплуатации была создана программная надстройка, реализованная в регистре «Планирование» базовой программы «1С» (рис. 2), как вторая часть программы. В нашем случае для анализа надежности исходными данными служат: межремонтный ресурс (наработка на отказ) и затраты на ремонт (продолжительность и стоимость ремонта) при заданных параметрах управления процессом переработки отходов. В большинстве производственных ситуаций этого достаточно, чтобы оценить текущее состояние оборудования, спрогнозировать затраты на ремонт и определить наименее надежные узлы и детали.

Алгоритм программной надстройки регистра «Планирование» программы «1С» для анализа временных рядов наработок на отказ и затрат на ремонт представлен на рис. 3. Из схемы на рис. 3 видно, что в первую очередь определяются параметры временного ряда (наличие тренда, закон распределения). Далее происходит сравнение временных рядов наработок на отказ и затрат на ремонт, а также сравнение с работой аналогичного оборудования. После этого, исходя из полученных данных, принимается решение об эффективности работы оборудования, о целесообразности его ремонта или замены.

3. Прогнозирование отказов мусороперерабатывающего оборудования

Для прогнозирования, с учетом возможностей варьирования технологических и конструкционных параметров в ограниченных пределах, определяемых технологическими регламентами на процесс и паспортными данными на оборудование, необходима модель, описывающая зависимость количества отказов и межремонтного периода от производительности и других условий эксплуатации. В качестве такой модели были использованы результаты работы [2] в виде соотношений, подчиняющихся закону Вейбулла, т.е. распределению непрерывной случайной величины, которая может принимать только положительные значения с плотностью вероятности:

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \cdot x^{\alpha-1} \cdot e^{-\frac{x^\alpha}{\beta}}, \quad (1)$$

функцией распределения:

$$F(x) = 1 - e^{-\frac{x^\alpha}{\beta}} \quad (2)$$

и вероятностью безотказной работы:

$$P(x) = e^{-\frac{x^\alpha}{\beta}}, \quad (3)$$

где α и β — параметры закона распределения.

Эта модель, как показал анализ отказов мусороперерабатывающего оборудования на предприятиях ГУП «Экотехпром», хорошо описывает надежность механических систем как в начальный период эксплуатации, так и из-за усталостных разрушений [2]. В общем случае основные характеристики надежности мусороперерабатывающего оборудования анализировались в виде:

$$n_{Б.С.} = \int_0^n \lambda(t) dt, \quad (4)$$

$$t = f(n), \quad (5)$$

где λ — интенсивность отказов; t — средняя наработка на отказ, ч.; $n_{мек}$ — количество отказов за межремонтный период.

Немаловажным фактором при анализе надежности оборудования является частота технических осмотров и капитального ремонта. Данные по отказам, усталостные разрушения, износ деталей учитываются при составлении графика планово-производственных работ (ППР).

Функциональная схема программы "Управление ремонтами"

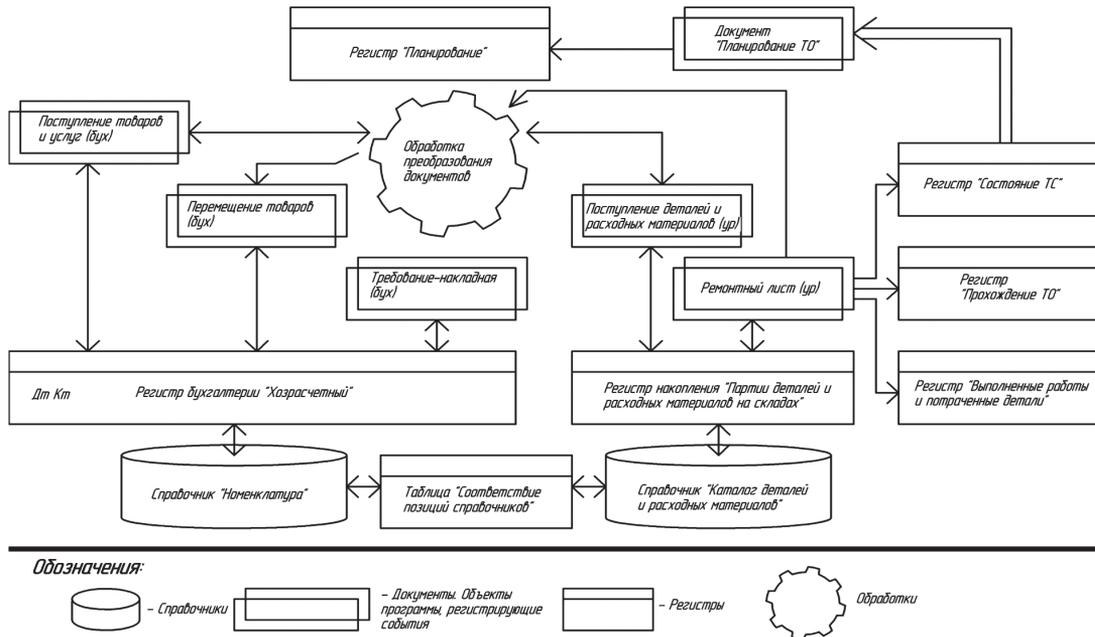


Рис. 1. Функциональная схема модификации программы «1С» для ведения учета и планирования при выполнении ремонтов и технического обслуживания.

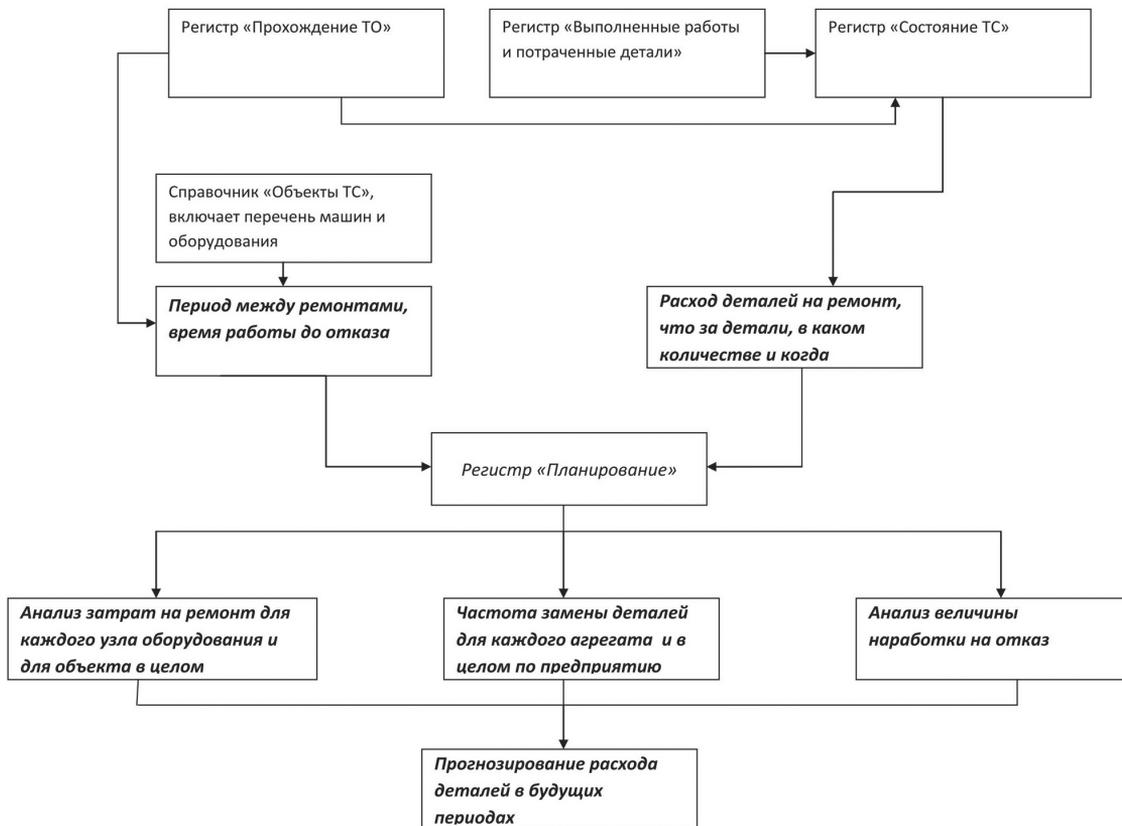


Рис. 2. Функциональная схема регистра «Планирование» программы «1С» для ведения учета и планирования при выполнении ремонтов и технического обслуживания.

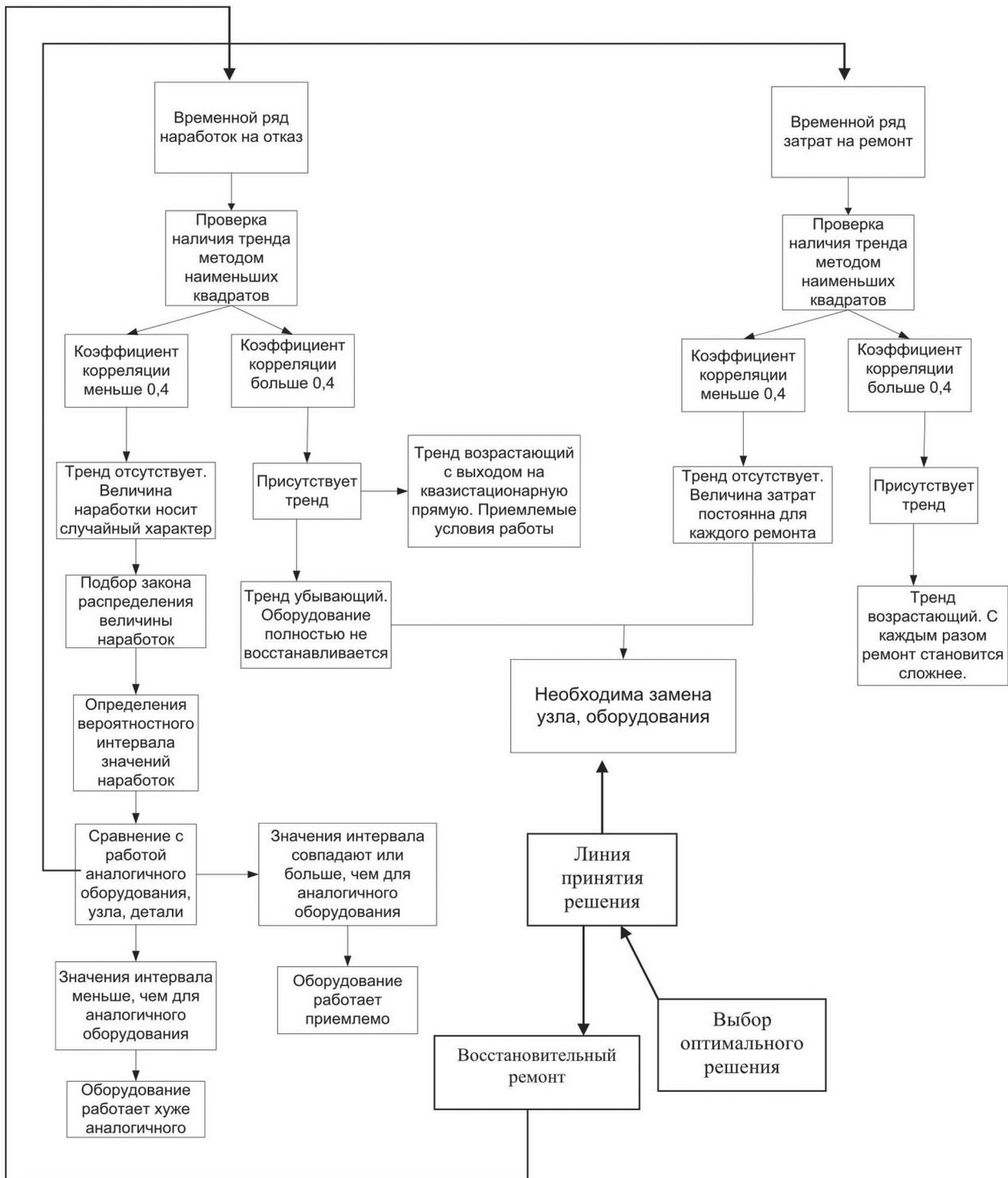


Рис. 3. Блок-схема надстройки регистра «Планирование» программы «1С» для анализа временных рядов наработок на отказ и затрат на ремонт мусороперерабатывающего оборудования.

Соотношения (4)–(5) отвечают целям и задачам текущей эксплуатации и позволяют прогнозировать вероятность отказов, разрабатывать графики плано-профилактических работ, а их программная реализация составляет основу второй части программы.

Однако, для минимизации количества отказов и оптимизации затрат на плано-профилактические работы на средне- и долгосрочную перспективу этих результатов недостаточно. Такие задачи оказалось возможным решить методами вариационного исчисления, как задачи поиска локального экстремума с ограничениями общего вида для реальной технической системы. С этой целью в [3] была поставлена и решена задача минимизации числа отказов мусороперерабатывающего оборудования. Условия оптимальности, полученные в этой работе (на примере шнека выгрузки шлака из печи мусоросжигательного завода), имеют вид:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial G} = \frac{-(T + \sum \frac{T^\alpha - 1}{\beta} \cdot \tau_{\text{тек } i} + \tau_{\text{кап}}) G_{\text{рег}}}{8760 \tau_{\text{ББ}} G^2} - \frac{\sum (Q_{\text{ДП}} (8760 - \sum (T_j + \tau_{\text{кан } j}) - \sum n_{\text{тек } i} \tau_{\text{тек } i}) + Q_{\text{ДН}} \sum n_{\text{тек } i} \tau_{\text{тек } i} + \tau_{\text{кан}}) G_{\text{рег}} - \tau_{\text{кан}}}{\tau_{\text{тек}} G^2} - \mu_2 \tau_{\text{тек}} C_{\text{прод}} \frac{T^{\alpha-1}}{\beta T} + \mu_3 \frac{60000 N_{\text{двиг}} \eta}{\pi k D t g (\alpha_1 + \phi) \frac{dn}{dG}}$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial T} = \frac{(1 + \sum \alpha \frac{T^{\alpha-1}}{\beta} \cdot \tau_{\text{тек } i}) G_{\text{рег}}}{8760 \tau_{\text{ББ}} G} + \mu_1 \frac{\tau_{\text{тек}} n_{\text{тек}} + \tau_{\text{кап}}}{(\tau_{\text{тек}} n_{\text{тек}} + \tau_{\text{кап}} + T)^2} + \mu_2 \left(-\frac{C_{\text{кап}}}{T^2} + (C_{\text{тек}} + \tau_{\text{тек}} C_{\text{прод}} G) \left(\frac{(\alpha-1) T^{\alpha-2}}{\beta} - \frac{1}{T^2} \right) \right),$$

$$\frac{d\mu_1}{dT} = \frac{dK_{\text{т.и.}}}{dT} - \frac{(\tau_{\text{тек}} n_{\text{тек}} + \tau_{\text{кап}} + T) - T}{(\tau_{\text{тек}} n_{\text{тек}} + \tau_{\text{кап}} + T)^2} = \frac{dK_{\text{т.и.}}}{dT} - \frac{\tau_{\text{тек}} n_{\text{тек}} + \tau_{\text{кап}}}{(\tau_{\text{тек}} n_{\text{тек}} + \tau_{\text{кап}} + T)^2},$$

$$\frac{\partial \mu_2}{\partial T} = \frac{\partial C}{\partial T} - \left(-\frac{C_{\text{кап}}}{T^2} + (C_{\text{тек}} + \tau_{\text{тек}} C_{\text{прод}} G) \left(\frac{(\alpha-1) T^{\alpha-2}}{\beta} - \frac{1}{T^2} \right) \right),$$

$$\frac{d\mu_3}{dn} = \frac{dP}{dn} + \frac{120000 N \eta}{2\pi n^2 k D t g (\alpha_1 + \phi)},$$

где:

$G_{\text{рег}}$ — регламентная (запланированная) производительность предприятия, т/год;

G — максимальная производительность предприятия (производительность предприятия при условии отсутствия остановок), т/год;

$G_{\text{рег}}/G$ — коэффициент загрузки оборудования;
 $m_{\text{тек}}$ — количество текущих ремонтов за год, ч;
 $\tau_{\text{тек}}$ — среднее время текущего ремонта, ч;
 $\tau_{\text{кап}}$ — среднее время капитального ремонта, ч;
 $n_{\text{кап}}$ — количество капитальных ремонтов за календарный год;
 $n_{\text{тек}}$ — количество текущих ремонтов за календарный год;
 T — чистое время работы оборудования, ч;
 $Q_{\text{ДН}}$ и $Q_{\text{ДП}}$ — вероятность своевременного обнаружения отклонений в работе оборудования в момент проведения ремонтных и профилактических работ;
 μ_1, μ_2, μ_3 — множители Лагранжа;
 $K_{\text{т.и.}}$ — коэффициент технического использования;
 $C_{\text{кап}}$ — стоимость капитального ремонта;
 $C_{\text{тек}}$ — стоимость текущего ремонта;
 C — суммарная величина затрат;
 $n_{\text{тек}} \tau_{\text{тек}} C_{\text{прод}}$ — недополученная прибыль;
 P — наибольшая действующая на шнек продольная сила (Н);
 N — мощность двигателя, кВт;
 η — КПД механизма привода;
 D — диаметр вала, м;
 n — частота вращения шнека, об./мин;
 k — эмпирический коэффициент;
 α_1 — угол подъема винтовой линии шнека на радиусе r ;
 ϕ — угол трения материала о поверхность шнека.

Соотношения (6)–(10) представляют собой условия минимизации количества отказов и оптимизации затрат на плано-профилактические работы на средне- и долгосрочную перспективу.

4. Выбор оптимального решения

Для программной реализации полученных условий оптимальности по параметрам эксплуатационной надежности был разработан блок оптимального управления технологическими параметрами как третья часть базовой программы. Ниже, на рис. 4, представлена блок-схема программы выбора оптимального решения.

Как видно из блок-схемы на рис. 4, выбор оптимального режима работы состоит в подборе управляющих технологических параметров таким образом, чтобы условия (6)–(10) были выполнены. Предложенный алгоритм позволяет практически реализовать решение задач оптимального управления надежностью оборудования на предприятиях по обращению с отходами не только путем тривиальной своевременной замены или ремонта, но и путем варьирования технологических параметров процесса. Так как затраты на технологическое регулирование, как правило, происходят без остановки процесса

и существенно меньше, чем на ремонт, то это приводит к повышению технико-экономической эффективности работы.

В качестве иллюстрации применения разработанного алгоритма рассмотрим решение, полученное для минимизации числа отказов шнека выгрузки золы с фильтров системы газоочистки мусоросжигательного завода. Выгрузка золы осуществляется разгрузочными водоохлаждаемыми шнеками. Температура золы на входе в шнек составляет 600–650°С. Скорость вращения шнеков 2,3–23,3 об./мин. Решение для наглядности представлено в виде графиков. В качестве ограничительных параметров выбраны: суммарный простой оборудования, коэффициент технического использования, затраты, приведенные к возможной прибыли, предельная прочность машины (узла, механизма, оборудования в целом). При всей важности непрерывности процесса переработки и утилизации ТБО главную роль играет экономическая составляющая. С учетом того, что затрат на ремонт и техническое обслуживание не избежать, при проведении этих работ важны две составляющие: время ремонта (уменьшение размера упущенной выгоды, меньшее время простоя приведет к увеличению количества переработанного ТБО и выпуска продукции) и качество работ (уменьшение внеплановых ремонтов).

Из рис. 5 видно, как меняется количество отказов в зависимости от двух параметров — производительности шнека и межремонтного периода, а также зна-



Рис. 4. Блок-схема надстройки регистра «Планирование» программы «1С» для минимизации количества отказов и оптимизации затрат на планово-профилактические работы на среднесрочную и долгосрочную перспективу

чения минимума отказов для различных значений межремонтного периода.

На рис. 6 приведена линия оптимального управления, учитывающая взаимодействие двух рассматриваемых параметров. Так, при задании жестко одного из параметров второй подбирается так, чтобы

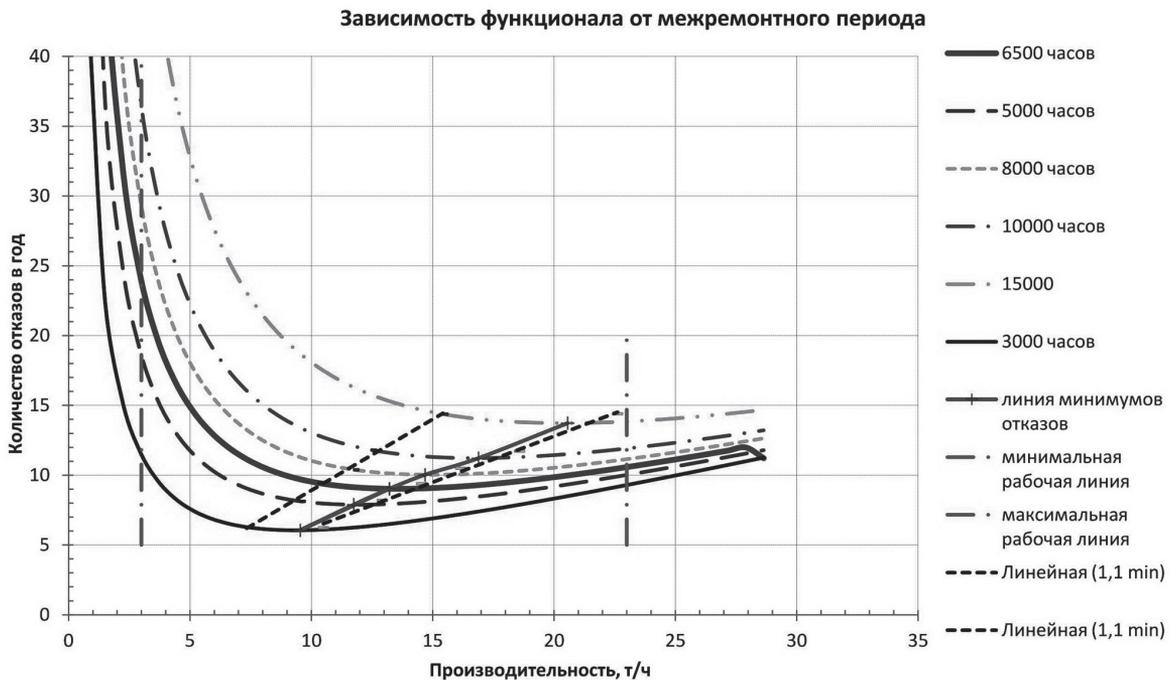


Рис. 5. Зависимость функционала от производительности для шнека выгрузки и межремонтного периода.

точка, определяющая состояние системы, находилась на расчетной линии (рис. 6) или в зоне оптимальных значений (рис. 5). При соблюдении этих условий количество отказов и, как следствие, расходы на ремонт и техническое обслуживание будут минимальны.

Полученные в настоящей работе результаты апробированы на предприятиях ГУП «Экотехпром» и подтвердили адекватность разработанного алгоритма оптимального управления надежностью оборудования на предприятиях по обращению с отходами реальным производственным процессам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шубин В.С., Рюмин Ю.А. Надежность оборудования химических и нефтеперерабатывающих производств: учебное пособие. — М.: Изд-во «Колосс», 2004.
2. Гонопольский А.М., Нестеров М.В., Федорова А.В. Анализ надежности оборудования для переработки отходов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. — 2010. — № 8. — С. 37–41.
3. Гонопольский А.М., Мурашов В.Е., Федорова А.В. Вариационная задача о минимизации числа отказов мусороперерабатывающего оборудования // Экология и промышленность России. — 2012. — С. 2–6.

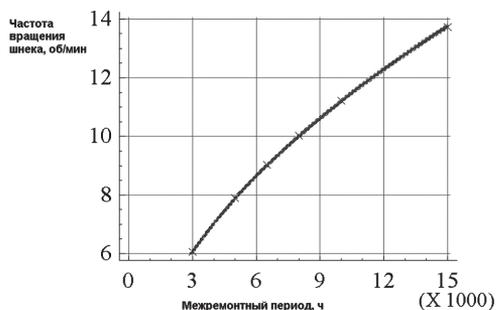


Рис. 6. Значения параметров процесса выгрузки золы и шлака, при которых число отказов минимальное

Equipment Reliability Management at Waste Treatment Enterprises

A.M. Gonopolsky, Doctor of Engineering, Professor, Head of Chair “Equipment and Technologies for Waste Treatment”, Moscow State University of Mechanical Engineering

V.E. Murashov, Ph.D. of Engineering, Moscow State University of Mechanical Engineering

A.V. Fedorova, Postgraduate Student, Moscow State University of Mechanical Engineering

The algorithm for program control related to reliability of equipment used at enterprises of waste treatment system is considered in this paper. The problem is solved by means of the software related to a choice of technological, operational and other equipment parameters providing the minimum stream of refusals with a set productivity.

Ключевые слова: waste treatment system, statistic control methods, program wrapper, time to failure, model.

Проект концепции модернизации системы аттестации научных кадров высшей квалификации

Завершилось общественное обсуждение проекта Концепции модернизации системы аттестации научных кадров высшей квалификации (ознакомиться с Концепцией можно на сайте Минобрнауки России). Общественное обсуждение проекта стартовало 17 апреля 2013 года в рамках выполнения поручения Председателя Правительства России Д. Медведева. Преподаватели высших учебных заведений, научные работники, молодые учёные, представители общественных организаций могли оставить свои предложения и замечания по проекту концепции на сайте Общественного совета Министерства и официальной странице Минобрнауки России в Живом Журнале.

Все поступившие в ходе обсуждения предложения и замечания были проанализированы специалистами Министерства и Высшей аттестационной комиссии и по возможности учтены в проектах постановлений Правительства России «Об утверждении единого реестра учёных степеней и учёных званий и Положения о порядке присуждения учёных степеней» и «Об утверждении Положения о Высшей аттестационной комиссии при Министерстве образования и науки Российской Федерации».

Указанные проекты постановлений Правительства Российской Федерации в настоящее время опубликованы на Едином портале для размещения информации о разработке федеральными органами исполнительной власти проектов нормативных правовых актов и результатов их публичных обсуждений на портале <http://regulation.gov.ru/>

http://regulation.gov.ru/project/1949.html?point=view_project&stage=2&stage_id=372