

УДК (665.6/7:681.5)002.2

ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМАТИЧЕСКИХ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

В.С. Семенов

Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Рассмотрены вопросы обеспечения эксплуатационной надежности автоматических и автоматизированных систем управления технологическими объектами, процессами, комплексами. Отмечена важность быстрого восстановления работы систем управления после отказов, а также планирования и организации их эффективного профилактического обслуживания. Подчеркнута необходимость сбора, обработки, анализа и использования данных о надежности систем управления. Введено понятие коэффициента нормального функционирования системы, отмечена важность обеспечения автоматической или автоматизированной системы запасными деталями и элементами.

Ключевые слова: отказ, профилактическое обслуживание, восстановление работоспособности, наработка на отказ, коэффициент готовности, число профилактик, интегральный показатель, пополнение запаса.

Эффективность и безопасность функционирования сложных технологических объектов, процессов, комплексов в промышленности (прокатные станы, компрессорные станции магистральных газопроводов, установки НПЗ, гидроэлектростанции, энергоблоки АЭС и т. д.), в сельском хозяйстве (птицефабрики, теплицы, элеваторы и т. д.) обеспечивают автоматические и автоматизированные системы управления. Однако это будет достигнуто только в том случае, если автоматические и автоматизированные системы будут иметь высокую надежность.

Автоматические и автоматизированные системы управления технологическими объектами, процессами, комплексами в промышленности и в сельском хозяйстве являются системами длительного применения. В случае отказа элемента прибор, аппарат, устройство системы управления, в котором произошел отказ, ремонтируется и после замены отказавшего элемента вновь включается в работу.

В некоторых случаях всю совокупность приборов, аппаратов, устройств, входящих в состав автоматических и автоматизированных систем управления технологическим объектом, процессом или комплексом, будем называть системой управления этим объектом, процессом или комплексом.

Вопросам обеспечения надежности системы управления технологическим объектом, комплексом, процессом должно быть уделено особое внимание при проектировании системы, при изготовлении всех аппаратных средств, при разработке математического и программного обеспечения, при создании информационного обеспечения, при проведении монтажных и пусконаладочных работ, при эксплуатации системы [1, 2, 3, 4].

Владимир Семенович Семенов (д.т.н., проф.), профессор кафедры «Вычислительная техника».

В данной статье мы рассмотрим вопросы обеспечения надежности автоматических и автоматизированных систем управления технологическими объектами, комплексами, процессами за счет оптимального обслуживания этих систем.

Только высокая надежность систем управления гарантирует безопасное и эффективное функционирование современных производств и предприятий.

Основными методами поддержания работоспособности, т. е. надежности, автоматических и автоматизированных систем управления технологическими объектами, процессами, комплексами в процессе эксплуатации являются:

- повышение квалификации обслуживающего персонала и уровня обслуживания;
- быстрое восстановление работоспособности системы после отказа;
- планирование и организация эффективного профилактического обслуживания системы;
- сбор, обработка, анализ и использование данных об эксплуатационной надежности системы управления;
- обеспечение системы запасными деталями и элементами.

Повышение квалификации обслуживающего персонала и уровня обслуживания

Обучение обслуживающего персонала должно быть начато еще на стадии проектирования системы управления. На этой стадии и в последующем при эксплуатации системы для обучения и тренировки как оперативного, так и ремонтного персонала целесообразно использовать компьютерные тренажеры. На предприятии должна быть создана служба надежности.

Быстрое восстановление работоспособности системы после отказа

Рассмотрим одно из устройств системы. Это устройство в момент времени $t=0$ является полностью работоспособным. В случайный момент времени t_1 в устройстве происходит отказ и оно становится неработоспособным. Должно быть проведено внеплановое обслуживание системы, необходимое вследствие возникновения отказа или из-за неправильной работы эксплуатируемой системы. Целью такого обслуживания является восстановление функций системы путем замены, ремонта или наладки элементов, вызывающих нарушение нормальной работы.

Затраты времени на восстановление работоспособности прибора, устройства, аппарата, системы определяются как

$$T_B = T_o + T_y + T_p, \quad (1)$$

где T_o – затраты времени на обнаружение отказа;

T_y – затраты времени на устранение отказа;

T_p – затраты времени на пуск устройства после устранения отказа.

При отыскании неисправностей применяют ручной (инструментальный) поиск отказов, полуавтоматический и автоматический контроль с индексацией места повреждения. Аппаратное и программное обеспечение системы управления должно включать средства диагностики. Задача состоит в том, чтобы уменьшать значения T_o .

В современных системах автоматического и автоматизированного управления целесообразно применять все три вида поиска неисправностей (ручной, полуавтоматический и автоматический).

Затраты времени на устранение отказа T_y зависят от конструкции вышедшего

из строя аппарата (прибора, устройства), т. е. от его ремонтпригодности и приспособленности к быстрому ремонту. Кроме того, T_y существенно зависит от квалификации ремонтного персонала и от наличия запасных деталей и элементов.

Для более быстрого пуска в работу прибора, аппарата, устройства, системы (для уменьшения значения T_p) необходимо четко следовать инструкциям по эксплуатации приборов, аппаратов, устройств, системы, а также совершенствовать свои знания и умения регулярными занятиями на компьютерных тренажерах.

Планирование и организация эффективного профилактического обслуживания

В состав автоматических и автоматизированных систем управления входят детали и элементы, подверженные износу и старению. Системы управления технологическими объектами, процессами, комплексами являются системами длительного применения, и они неизбежно из периода нормальной эксплуатации, для которого характерно постоянное значение интенсивности отказов ($\lambda = const$), переходят в период старения, в котором происходит возрастание интенсивности отказов.

Профилактическое обслуживание приборов, аппаратов, устройств системы управления обеспечивает замену деталей и элементов, приближающихся к работе в период старения, на новые детали и элементы и, следовательно, приводит к поддержанию надежности системы управления на заданном высоком уровне.

Профилактическое обслуживание является плановым обслуживанием и должно проводиться через регулярные промежутки времени.

В профилактическое обслуживание входят контроль, осмотр, проверка, в процессе которых:

- обеспечивается обслуживание нормально работающих элементов, узлов, блоков, требующих постоянного внимания (смазка, очистка, регулировка, проверка и т. д.);

- проверяются, заменяются или ремонтируются отказавшие резервные элементы, если система резервирована;

- осматриваются и заменяются элементы и детали, близкие к износу.

После перехода системы управления технологическим объектом, процессом, комплексом в постоянную эксплуатацию на приборах, аппаратах, устройствах системы должны регулярно проводиться профилактические мероприятия.

Виды и регламент профилактического обслуживания указаны в заводских инструкциях по эксплуатации приборов, аппаратов, устройств системы управления.

Заводские (фирменные) правила по срокам проведения и содержанию профилактических работ должны выполняться первые 1-2 года промышленной эксплуатации системы управления, а затем должны быть скорректированы по результатам сбора, обработки и анализа данных по надежности системы.

Сбор, обработка, анализ и использование данных об эксплуатационной надежности системы управления

На предприятии, на котором эксплуатируются системы автоматического и автоматизированного управления, должен быть организован сбор данных:

- о внезапных отказах приборов, аппаратов, устройств (дата отказа; признаки; затраты времени на обнаружение; использование аппаратно-программных

средств для обнаружения отказа; влияние отказа на работу системы управления; затраты времени на устранение отказа; ресурсы, использованные для устранения отказа; затраты времени на пуск в работу прибора, аппарата, устройства);

– о профилактическом обслуживании приборов, аппаратов, устройств системы управления (дата проведения; продолжительность работ; использованные аппаратно-программные средства при проведении работ; содержание работ; использованные ресурсы).

Полученные материалы по отказам и профилактическим работам в первую очередь должны быть использованы для определения количественных характеристик эксплуатационной надежности каждого прибора, аппарата, устройства, каждой группы однотипных приборов, аппаратов, устройств, а также системы управления в целом.

Введем следующие обозначения:

– индексы приборов, аппаратов, устройств, входящих в состав системы управления, обозначаем как

$$q = 1, 2, \dots, Q; \quad q = \overline{1, Q};$$

– индексы типов деталей и элементов, входящих в приборы, аппараты, устройства, обозначаем как

$$r = 1, 2, \dots, R; \quad r = \overline{1, R};$$

– количество однотипных деталей и элементов в составе прибора, аппарата, устройства обозначаем как

$$h_q^{(r)},$$

например, запись $12_2^{(3)}$ означает, что в состав прибора типа 2 входят 12 элементов с индексом 3.

Назначается значение интервала наблюдения ($T=1000, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000$ или 7000 часов).

Определяется значение наработки на отказ, т. е. среднего времени между двумя соседними отказами:

– для приборов, аппаратов, устройств каждого типа

$$\bar{T}_{oq} = \frac{\sum_{i=1}^{n_q} \tau_{iq}}{n_q}, \quad (2)$$

где τ_{iq} – время исправной работы прибора, аппарата, устройства типа q между i -тым и $(i+1)$ отказами;

n_q – число отказов одного прибора, аппарата, устройства типа q за время T ;

– для всей группы приборов, аппаратов, устройств типа q

$$\bar{T}_{oq}^{(gr)} = \frac{\sum_{i=1}^{n_q^{(gr)}} \tau_{iq}^{(gr)}}{n_q^{(gr)}}, \quad (3)$$

где $\tau_{iq}^{(gr)}$ – время исправной работы группы приборов, аппаратов, устройств типа q между i -тым и $(i+1)$ отказами;

$n_q^{(gr)}$ – число отказов всех приборов, аппаратов, устройств типа q за время T ;

– для системы управления в целом

$$\bar{T}_0^{(c)} = \frac{\sum_{i=1}^{nc} \tau_i^{(c)}}{n_c}, \quad (4)$$

где $\tau_i^{(c)}$ – время исправной работы системы управления между i -тым и $(i+1)$ отказами;

n_c – число отказов системы управления в целом за время T .

Будем рассматривать системы без применения методов резервирования. В этом случае на время устранения отказа или проведения профилактических мероприятий функционирование прибора, аппарата, устройства прекращается.

На основании собранных за время интервала наблюдения T данных должно быть определено среднее время восстановления после отказа приборов, аппаратов, устройств каждого типа

$$\bar{T}_{Bq} = \frac{\sum_{i=1}^{n_q} t_{iq}}{n_q}, \quad (5)$$

где t_{iq} – время восстановления после i -го отказа прибора, аппарата, устройства типа q .

По формулам, аналогичным (5), определяются среднее время восстановления для каждой группы приборов, аппаратов, устройств $\bar{T}_{Bq}^{(gr)}$ и среднее время восстановления для системы управления в целом $\bar{T}_B^{(c)}$.

По полученным значениям наработки на отказ \bar{T}_{oq} , $\bar{T}_{oq}^{(gr)}$, $\bar{T}_o^{(c)}$ и времени восстановления \bar{T}_{Bq} , $\bar{T}_{Bq}^{(gr)}$, $\bar{T}_B^{(c)}$ должны быть определены величины коэффициента готовности:

а) для приборов, аппаратов, устройств каждого типа

$$K_q = \frac{\bar{T}_{oq}}{\bar{T}_{oq} + \bar{T}_{Bq}}; \quad (6)$$

б) для группы приборов, аппаратов, устройств

$$K_q^{(gr)} = \frac{\bar{T}_{oq}^{(gr)}}{\bar{T}_{oq}^{(gr)} + \bar{T}_{Bq}^{(gr)}}; \quad (7)$$

в) для системы управления в целом

$$K^{(c)} = \frac{\bar{T}_o^{(c)}}{\bar{T}_o^{(c)} + \bar{T}_B^{(c)}}. \quad (8)$$

Анализ полученных данных по наработке на отказ, по затратам времени на восстановление после отказа, по коэффициенту готовности позволит наметить мероприятия, реализация которых приведет к повышению эксплуатационной надежности приборов, аппаратов и системы в целом.

Далее рассмотрим влияние продолжительности профилактик и частоты их проведения на эксплуатационную надежность системы управления.

Как было сказано выше, первые 1-2 года работы системы виды и регламенты

профилактического обслуживания принимаются в соответствии с рекомендациями заводских инструкций по эксплуатации приборов, аппаратов, устройств.

В этот период для выбранного интервала наблюдений T необходимо найти значения ряда показателей. Итак, заводскими инструкциями заданы: ΔT_{prq} – интервал между двумя соседними профилактиками для приборов, аппаратов, устройств типа q и T_{prq} – продолжительность проведения одной профилактики на приборе, аппарате, устройстве типа q .

Определяем число профилактик на приборе, аппарате, устройстве типа q на интервале T :

$$W_q = \frac{T}{\Delta T_{prq}}, \quad q = \overline{1, Q}. \quad (9)$$

Затраты времени на интервале времени T на проведение профилактик на всех приборах, аппаратах и устройствах системы управления определяются как

$$T_{prs} = \sum_{q=1}^Q W_q \cdot b_q \cdot T_{prq}, \quad q = \overline{1, Q}, \quad (10)$$

где b_q – количество однотипных приборов, аппаратов, устройств типа q .

Считаем, что профилактики не проводятся одновременно на двух или более приборах, аппаратах, устройствах.

Находим затраты времени на устранение всех отказов на интервале времени T :

$$T_{Bc} = \sum_{q=1}^Q n_q T_{Bq}, \quad q = \overline{1, Q}. \quad (11)$$

Находим значение интегрального показателя, который может быть назван коэффициентом нормального функционирования системы:

$$K_{nf} = \frac{T - (T_{Bc} + T_{prs})}{T}. \quad (12)$$

Изменяя стратегию профилактического обслуживания и организацию работ по восстановлению приборов, аппаратов системы управления после отказов, необходимо анализировать значения коэффициента нормального функционирования системы K_{nf} и добиваться на интервалах T ($T_1=T_2=T_3 \dots$) нужных значений надежности систем автоматического и автоматизированного управления технологическим объектом, процессом, комплексом.

Обеспечение системы запасными деталями и элементами

Значение коэффициента K_{nf} существенно зависит от обеспечения системы управления запасными деталями и элементами. Недостаточный объем запасных деталей и элементов или их отсутствие приводит к увеличению затрат времени на восстановление системы после отказов и возникновению затруднений при проведении профилактических работ.

Однако объем запасов не должен быть чрезмерным, так как возникают затраты на их содержание, возрастающие пропорционально увеличению объема запасов и времени их хранения.

При определении объема запасов деталей и элементов необходимо учитывать следующие факторы:

- сроки выполнения заказов на детали и элементы, т. е. значения интервала времени между моментом размещения заказа и моментом выполнения заказа;
- затраты на хранение запасов деталей и элементов;
- риск замораживания денежных средств предприятия при чрезмерных запасах.

Однако отсутствие в нужный момент какого-либо запасного элемента может привести к длительному неработоспособному состоянию как вышедшей из строя системы управления, так и технологического объекта, процесса, комплекса. При этом может произойти уменьшение или полное прекращение выхода продукции, создаться аварийная ситуация.

Запасы деталей и элементов должны создаваться по деталям и элементам всех типов $r = \overline{1, R}$, использованных в приборах, аппаратах, устройствах автоматических и автоматизированных систем управления технологическим объектом, процессом или комплексом.

Общее число отказов элементов типа r за интервал наблюдения T представляет собой ряд

$$N_{OT}^{(r)} = N_1^{(r)} + N_q^{(r)} + \dots + N_Q^{(r)} = \sum_{q=1}^Q N_q^{(r)}, \quad q = \overline{1, Q}; r = \overline{1, R}. \quad (13)$$

Накапливаются данные по отказам деталей и элементов и других типов за интервал наблюдения T :

$$N_{OT}^{(1)}; N_{OT}^{(2)}; \dots; N_{OT}^{(R)}.$$

При проведении профилактических работ в течение интервала наблюдения T фиксируется расход элементов каждого типа $r = \overline{1, R}$. Будет получен ряд

$$N_{pr}^{(1)}; N_{pr}^{(2)}; \dots; N_{pr}^{(r)}; \dots; N_{pr}^{(R)}.$$

Этот ряд на каждом последующем интервале T должен корректироваться.

Суммируя расход элементов и деталей каждого типа r на устранение отказов и проведение профилактических работ, получаем ожидаемую потребность элементов и деталей типа r при интервале времени $t = T$:

$$N_{potrT}^{(r)} = N_{OT}^{(r)} + N_{pr}^{(r)}. \quad (14)$$

В результате получаем значение потребностей по всем элементам и деталям при интервале времени $t = T$:

$$N_{potrT}^{(1)}; N_{potrT}^{(2)}; \dots; N_{potrT}^{(r)}; \dots; N_{potrT}^{(R)}.$$

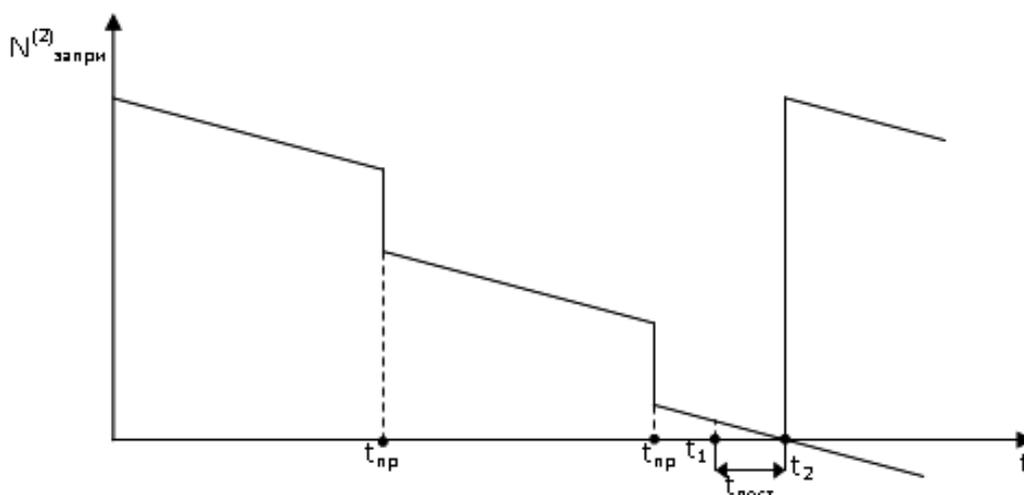
Введем понятие расчетного интервала. Обозначим расчетный интервал как Δt . Потребность в деталях и элементах различного типа, как правило, неодинакова, различным может быть и интервал времени между моментом размещения заказа и моментом его пополнения. В связи с этим расчетный интервал Δt может быть различным: $\Delta t^{(1)}; \Delta t^{(2)}; \dots; \Delta t^{(r)}; \dots; \Delta t^{(R)}$.

Количество деталей или элементов типа r , которые должны быть в наличии в расчетном интервале, определяется как

$$N_{zapRI}^{(r)} = \frac{N_{potrT}^{(r)} \cdot \Delta t^{(r)}}{T}, \quad r = \overline{1, R}. \quad (15)$$

Принимая во внимание затраты времени на пополнение запаса (заказ, при-

обретение, доставка) $t_{\text{пост}}$, построим кривую изменения запасов деталей или элементов типа r (см. рисунок).



Кривая изменения запасов деталей или элементов типа r

На рисунке: $t_{\text{пр}}$ — моменты проведения профилактических работ; t_1 — момент начала оформления заказа на детали или элементы типа r ; t_2 — момент поставки деталей или элементов типа r ; $t_{\text{пост}}$ — интервал времени от заказа до поступления деталей или элементов типа r на предприятие.

Заключение

В процессе эксплуатации технологического объекта, процесса, комплекса должна быть обеспечена высокая надежность их систем автоматического и автоматизированного управления. Только в этом случае технологические объекты будут функционировать безопасно и эффективно.

Для получения высокой эксплуатационной надежности систем управления необходимо постоянно повышать квалификацию обслуживающего персонала; обеспечивать быстрое восстановление после отказов работоспособности приборов, аппаратов, устройств; планировать и организовывать эффективное профилактическое обслуживание; осуществлять сбор, обработку, анализ и использование данных об эксплуатационной надежности систем автоматического и автоматизированного управления технологическим объектом, процессом, комплексом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Семенов В.С. Оценка надежности систем автоматического и автоматизированного управления // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. — 2015. — № 2(46). — С. 42-47.
2. Тихомиров А.А., Семенов В.С. Пути повышения надежности программного обеспечения автоматизированных систем управления технологическими процессами нефтедобывающего предприятия // Естественные и технические науки. — 2013. — № 3(65). — С. 253-257.
3. Семенов В.С. К оценке надежности информационно-измерительных установок нефтедобывающего предприятия // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. — 2012. — № 1(33). — С. 61-65.
4. Ушаков И.А. Курс теории надежности систем. — М.: Дрофа, 2008. — С. 240.

Статья поступила в редакцию 3 марта 2016 г.

THE PROBLEM OF OPTIMAL OPERATION OF THE AUTOMATIC AND AUTOMATED CONTROL SYSTEMS

V.S. Semenov

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

The aspects of providing the serviceability of automatic and automated control system of technological structures, processes, complexes are considered. The importance of rapid recovery of control system after refuses and also planning of the routine maintenance is shown. The necessity of collection, treatment, analysis and use of control system reliability is underlined.

Keywords: *refuse, prophylactic service, renewal of capacity, work on a refuse, coefficient of readiness, number of prophylactic, integral index, addition to the supply.*