

*А. А. Ешимкенов*¹, *К. С. Чакеева*²

¹Алматинский Технологический Университет, г. Алматы, Казахстан

²Туран Университет, г. Алматы, Казахстан

РЕЗЕРВИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ КАК ОСНОВА НАДЕЖНОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПРОЦЕССОВ

Аннотация. Повышенное резервирование системы может принести пользу сети, если перенаправление трафика необходимо во время чрезвычайной ситуации, строительства/реконструкции, столкновения или другого разрушительного события. Во многих важных для безопасности системах, таких как электродистанционные и гидравлические системы в самолетах, некоторые части системы управления могут быть тройными, что формально называется тройным модульным резервированием (ТМР). Ошибка в одном компоненте может быть отвергнута двумя другими. В системе с тройным резервированием система состоит из трех подкомпонентов, все три из которых должны выйти из строя, прежде чем система выйдет из строя. Поскольку каждый из них редко выходит из строя, и ожидается, что подкомпоненты будут выходить из строя независимо друг от друга, вероятность отказа всех трех компонентов считается чрезвычайно малой; часто перевешиваются другими факторами риска, такими как человеческий фактор. Резервирование также может быть известно под терминами «системы голосования большинством» или «логика голосования». В данной статье рассматриваются основные аспекты резервирования систем, анализируются причины и факторы использования резервного оборудования, изучается роль отказоустойчивой системы.

Ключевые слова: резервирование, распределенная система управления (PCU), система управления, датчики, блоки питания, отказоустойчивость.

*A.A. Yeshimkenov*¹, *K.S.Chakeyeva*²

¹Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

²Turan University, Almaty, Kazakhstan

REDUNDANT PROCESS CONTROL SYSTEM AS A BASIS FOR RELIABLE PROCESS OPERATION

Abstract. Increased system redundancy can benefit the network if traffic needs to be redirected during an emergency, construction/refurbishment, collision, or other disruptive event. In many systems important to safety, such as electrical and hydraulic systems in aircraft, some parts of the control system may be triple, formally referred to as triple modular redundancy (TMR). An error in one component can be rejected by the other two. In a triple redundant system, the system consists of three sub-components, all three of which must fail before the system fails. Since each rarely fails, and subcomponents are expected to fail independently of each other, the probability of failure of all three components is considered to be extremely low; often outweighed by other risk factors such as human error. Reservation may also be known by the terms "majority voting systems" or "voting logic". This article discusses the main aspects of system redundancy, analyzes the reasons and factors for the use of backup equipment, and studies the role of a fault-tolerant system.

Keywords: redundancy, distributed control system (DCS), control system, sensors, power supplies, fault tolerance.

Введение. В начале статьи необходимо выделить как минимум три класса: процессы управления, вычислительные процессы и технологические процессы. Процесс управления — это совокупность отдельных видов деятельности, направленных на упорядочение и координацию функционирования и развития организации и ее элементов в интересах достижения стоящих перед ними целей. Он решает две задачи: тактическая заключается в поддержании устойчивости, гармоничности взаимодействия и работоспособности всех элементов объекта управления; стратегическая обеспечивает его развитие и совершенствование, перевод в качественно и количественно иное состояние. Вычислительный процесс — процесс выполнения программы совместно с ее данными на процессоре (редактирование текста, трансляция, выполнение какой-либо программы). Технологический процесс — это система взаимосвязан-

ных действий, выполняющихся с момента возникновения исходных данных до получения нужного результата. «Технологический процесс» — это часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и определению состояния предмета труда. В мире так много систем. Механические системы, такие как двигатели, маятник, динамика автомобилей/ракет и т. д., электрические системы, такие как силовые цепи, электроника, электрические двигатели и т. д., а также их комбинация.

И мы хотели бы заставить их работать в определенной точке или диапазоне работы. Например, если мы хотим, чтобы наша машина разогналась и достигала определенной скорости, то нам необходимо нажать на акселератор.

Другой пример: если мы вращаем регулятор вентилятора, то мы хотели бы увеличить или уменьшить скорость и обеспечить эффект охлаждения.

Таким образом, всем системам предпочтительно работать в определенной рабочей точке или диапазоне с желаемыми значениями. Таким образом, мы должны контролировать их. Он либо автоматический, либо ручной. При ручном управлении мы вводим данные вручную и ожидаем, что система будет вести себя соответствующим образом. В автоматическом управлении, как и в автономных автомобилях, поступают данные от различных датчиков, и на их основе автомобиль едет автоматически. Другим примером является мониторинг температуры внутри и снаружи помещений и автоматическое управление системой кондиционирования воздуха.

Но для безопасной работы каждой автоматизированной системы нужно, чтобы система была сконфигурирована на резервированный метод управления процессом.

Основные положения. Среднее время наработки на отказ (СВНО) любой системы, зависящей от определенных критических компонентов, может быть увеличено за счет параллельного дублирования этих компонентов таким образом, чтобы отказ только одного из них не ставил под угрозу систему в целом. Это называется резервированием.

Распространенным примером резервирования компонентов в системах КИПиА является резервирование, обеспечиваемое распределенными системами управления (PCY), в которых процессоры, сетевые кабели и даже каналы ввода/вывода могут быть оснащены готовыми дубликатами «горячего резерва» чтобы принять на себя функциональность в случае отказа основного компонента.

Резервирование имеет тенденцию увеличивать среднее время безотказной работы системы, не обязательно увеличивая срок ее службы. PCY, например, оснащенная резервными микропроцессорными модулями управления в своей стойке, будет демонстрировать большее среднее время безотказной работы, поскольку случайный отказ микропроцессора будет компенсироваться наличием запасного («горячего» резерва) микропроцессорного модуля.

Однако, учитывая тот факт, что оба микропроцессора находятся под постоянным питанием и, следовательно, имеют тенденцию «изнашиваться» с одинаковой скоростью, срок их службы не будет складываться. Другими словами, два микропроцессора не будут работать в два раза дольше до износа, чем один микропроцессор.

Расширение среднего времени безотказной работы за счет резервирования справедливо только в том случае, если случайные отказы являются действительно независимыми событиями, то есть не связаны общей причиной.

Если снова использовать пример стойки PCY с резервными модулями микропроцессорного управления, восприимчивость этой стойки к случайному сбою микропроцессора будет снижена за счет наличия резервных микропроцессоров только в том случае, если рассматриваемые сбои не связаны друг с другом, затрагивая два микропроцессора отдельно.

Могут существовать механизмы отказа по общей причине, способные отключить оба микропроцессорных модуля так же легко, как и один, и в этом случае резервирование не добавляет никакой ценности.

Примеры таких отказов по общей причине включают скачки напряжения (поскольку скачок напряжения, достаточно сильный, чтобы убить один модуль, скорее всего, одновре-

менно уничтожит другой) и заражение компьютерным вирусом (поскольку вирус, способный атаковать один модуль, сможет атаковать и другой) так же легко и в то же время).

В компьютерных системах резервирование используется для хранения данных и файловых серверов. Для защиты данных в файловых системах компьютерные системы могут использовать избыточный массив недорогих дисков или такие методы, как зеркалирование дисков, которые защищают данные, дублируя их более чем на одном диске. В промышленных ПК используется спаренный диск или блок питания, которые можно заменять в горячем режиме или заменять во время работы. Сеть использует избыточность, чтобы выдерживать сбои, повышать вероятность соблюдения жестких временных ограничений и ратционировать (на основе приоритетов задач) ограниченную полосу пропускания системы.

Для таких критичных ко времени систем используется резервирование для обеспечения требуемой пропускной способности и отказоустойчивости. Диспетчерское управление и сбор данных (SCADA), а также распределенные системы управления используют избыточность для обмена информацией и данными. Если какой-либо из серверов выходит из строя, резервная система по-прежнему собирает информацию. Некоторое программное обеспечение позволяет просматривать деятельность предприятия с помощью человеко-машинного интерфейса или узла просмотра, если узел SCADA становится недоступным, направляя запросы данных на резервный узел SCADA.

Программируемые логические контроллеры (ПЛК) также имеют резервирование. На одном уровне в системе используется несколько ПЛК, управляющих одной шиной ввода-вывода, так что в случае отказа одного из ЦП управление вступает в силу.

ПЛК также могут быть избыточными, когда одна точка ввода-вывода соединяет две идентичные системы ПЛК, ЦП или интерфейсной карты ввода-вывода. Необходимо соблюдать осторожность, чтобы избежать путаницы при чтении или записи входных и выходных данных. ПЛК также используют резервирование с несколькими ЦП и источниками питания. Избыточность может потребовать связи между несколькими ЦП и распределения выходных данных обратно на серверы. Аппаратное обеспечение ввода-вывода также может обеспечить избыточность.

Материалы и методы. Простым примером резервирования компонентов в промышленной контрольно-измерительной системе являются два источника питания постоянного тока, питающиеся через диодный модуль. Если один из двух блоков питания переменного тока в постоянный выходит из строя из-за низкого выходного напряжения, другой блок питания может нести нагрузку, пропуская свою мощность через модуль диодного резервирования. Этот модуль резервирования имеет собственное значение СВНО, поэтому, включая его в систему, мы добавляем еще один компонент, который может выйти из строя.

Однако среднее время безотказной работы простой диодной сети значительно превышает таковое для всего блока питания переменного тока в постоянный, поэтому мы оказываемся на более высоком уровне надежности, используя этот модуль диодного резервирования, чем если бы мы его не использовали (и имели только один модуль). источник питания).

Для того чтобы резервные компоненты действительно увеличивали среднее время безотказной работы системы, необходимо устранить потенциальные отказы по общей причине. Например, рассмотрим последствия питания резервных источников питания переменного тока в постоянный от одной и той же линии переменного тока.

Резервные источники питания повысят надежность системы в случае случайного отказа источника питания, но эта избыточность никак не повлияет на повышение надежности системы в случае отказа общей линии питания переменного тока. Чтобы в этом примере в полной мере воспользоваться преимуществами резервирования, мы должны получать каждый источник питания переменного тока в постоянный от другой (несвязанной) линии переменного тока.

Другим примером резервирования в промышленных контрольно-измерительных приборах является использование нескольких преобразователей для измерения одной и той же

переменной процесса, при этом предполагается, что критическая переменная процесса будет по-прежнему контролироваться даже в случае отказа преобразователя. Таким образом, установка резервных передатчиков должна увеличить среднее время безотказной работы сенсорной способности системы.

Здесь мы снова должны устранять сбои по общей причине, чтобы воспользоваться всеми преимуществами резервирования. Если три датчика уровня жидкости установлены для измерения одного и того же уровня жидкости, их объединенные сигналы представляют увеличение среднего времени безотказной работы измерительной системы только для независимых неисправностей.

Механизм отказа, общий для всех трех передатчиков, сделает систему столь же уязвимой для случайного отказа, как и одиночный передатчик. Для достижения оптимального среднего времени безотказной работы в массивах датчиков с резервированием датчики должны быть невосприимчивы к распространенным отказам.

В системах управления нашло широкое применение мажоритарное резервирование (с использованием «голосования»). Этот способ основан на применении дополнительного элемента, называемого мажоритарным, или логическим, элементом (рис.1). Логический элемент позволяет вести сравнение сигналов, поступающих от элементов, выполняющих одну и ту же функцию. Если результаты совпадают, то они передаются на выход устройства.

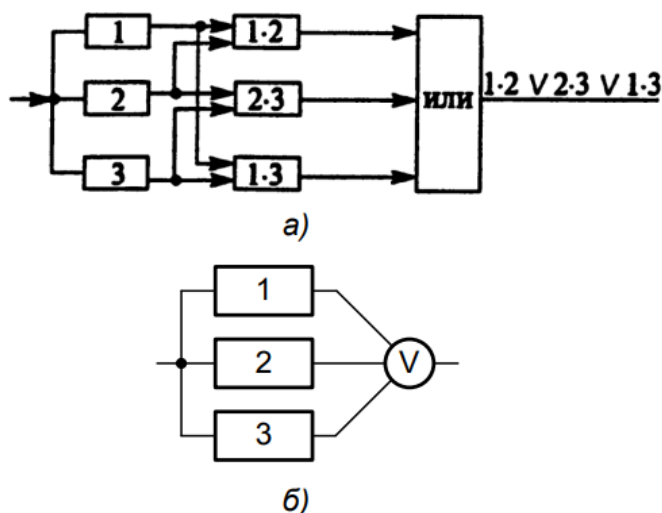


Рис. 1. Мажоритарное резервирование «2 из 3»:
 а) логическая схема; б) блок-схема надежности

На рис. 1 изображено резервирование по принципу «2 из 3», т.е. любые два совпадающих результата из трех считаются истинными и проходят на выход устройства. По такому принципу построены многие схемы подсистем систем управления и защиты (СУЗ). Можно применять соотношения «3 из 5» и др. Главное достоинство этого метода — обеспечение повышения.

Результаты. Основная цель резервирования в системе управления состоит в том, чтобы исключить зависимость от одного модуля и в то же время обеспечить несколько вариантов в случае отказа. Резервирование в системе управления уменьшает последствия отказа компонента. Он предоставляет ресурсы в случае возникновения каких-либо проблем.

Некоторые процессы требуют доступности систем на самом высоком уровне любой ценой. Прерывание или потеря системы после запуска процессов очень дорого обойдется процессу. Процесс бесполезен, если он остановлен или потерпел неудачу в середине. Процесс должен быть обращен обратно к его начальной стадии, чтобы получить результат.

Например, в фармацевтической промышленности существует процесс промывки перед розливом. Если стиральная машина прерывается между циклами мойки, контейнеры необходимо мыть снова.

Это также важно в системе, где процессы необратимы. Это означает, что если процесс запущен, его нельзя повернуть назад или остановить в середине до завершения. Например, в случае химической или фармацевтической промышленности после того, как продукт был изготовлен, его следует во что бы то ни стало разлить в нужные контейнеры. В противном случае его химические свойства изменятся, и он будет бесполезен.

Некоторые отрасли просто не могут позволить себе перезапустить систему, потому что время перезапуска — немалая задача. Перезапуск некоторых систем для полноценной работы занимает большое количество времени — иногда до месяца.

Пример такого длительного времени перезапуска можно увидеть в черной металлургии, где используется печь. В печи поддерживается постоянная высокая температура, и для ее достижения требуется значительное время.

Резервирование — это дополнительная единица оборудования, аналогичная исходной. При выборе резервирования важным фактором при проектировании является дополнительное оборудование. Очень важно решить, на каком уровне требуется резервирование. При неправильном проектировании это будет пустой тратой ресурсов и денег, и желаемые результаты не будут достигнуты.

Резервирование сопряжено с дополнительными затратами — чем выше уровень избыточности, тем выше затраты. Эти затраты часто не используются в течение неопределенного периода времени. Чтобы проверить, оправданы ли затраты, стоимость резервирования сравнивается с потерями из-за отказа системы. Если стоимость сбоя процесса превышает стоимость избыточности, избыточность экономически эффективна. Резервирование на всех уровнях автоматизации оправдано окупаемостью инвестиций (ROI). Пользователи должны осознавать любые затраты на оборудование, настройку, ввод в эксплуатацию и техническое обслуживание в сравнении с преимуществами эксплуатационной готовности, гибкости планирования технического обслуживания и лучшей диагностики.

Резервные системы обычно предпочтительнее нерезервированных (симплексных) систем, но с некоторыми оговорками. Некоторые избыточные реализации увеличивают сложность, увеличивая проектные, аппаратные и эксплуатационные расходы сверх того, что оправдано. Кроме того, некоторые методы резервирования ухудшают различные аспекты производительности и поэтому не подходят.

Резервирование процессов разных классов может носить принципиально разный характер. Например, представляется сложным или вовсе невозможным резервирование последовательных операций технологического процесса. Исходя из этого к резервированию процессов разных классов должен быть разный подход.

При рассмотрении решения с резервированием для любого приложения необходимо оценить взаимосвязь нескольких дисциплин автоматизации, чтобы обеспечить ожидаемую производительность:

- распределение мощности;
- инструменты;
- сети полевых шин;
- промышленный контроллер;
- локальные ПК;
- сети информационных технологий (ИТ);
- подключение к облаку;
- облачные вычисления.

Резервные устройства, питающиеся от одной отказоустойчивой цепи, не обладают лучшей надежностью. Резервные инструменты предоставляют больше данных, но поднимают вопрос о том, какой сигнал является правильным. Сети Fieldbus и IT в кольцевой конфи-

густрации являются хорошим выбором для резервирования, если проектировщики тщательно прокладывают кабели, чтобы физический разрыв открывал кольцо только в одном месте. Многие облачные ресурсы имеют функции избыточности, но плохое подключение может поставить их под угрозу.

Пример резервированной системы управления со всеми основными компонентами изображен на рисунке 2.

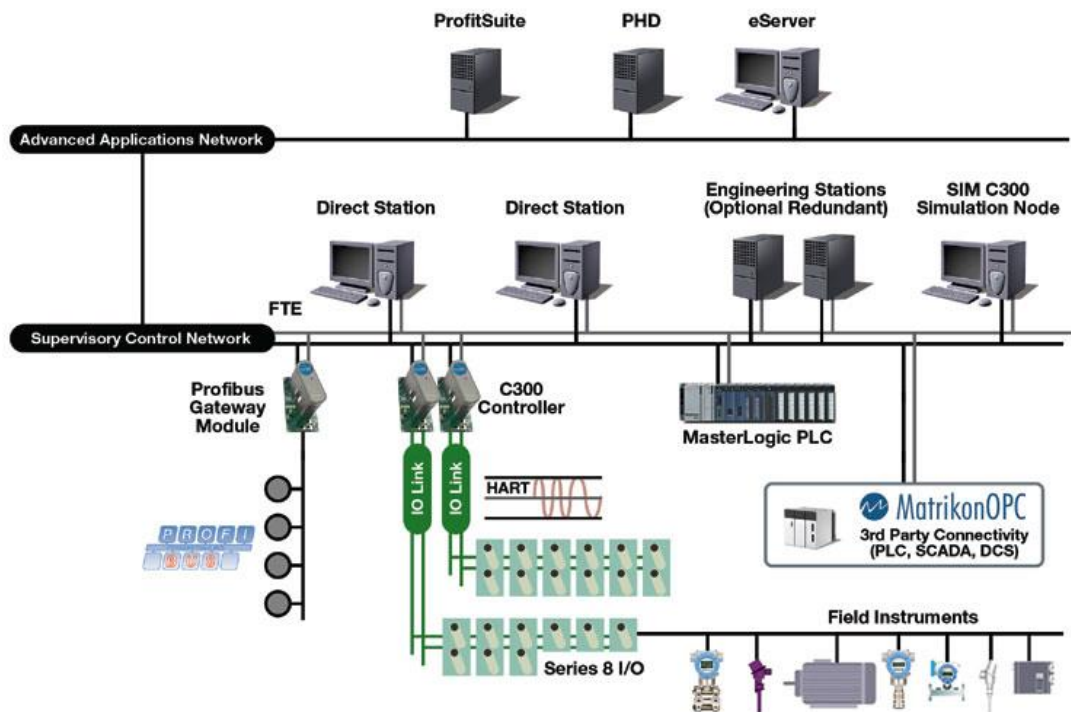


Рис. 2. Пример резервированной системы управления

Заключение. По результатам исследования сделаны следующие выводы и выявлено, что же может произойти без резервирования системы:

1. Потеря продуктов или целых процессов.

Как упоминалось выше, в некоторых отраслях, таких как фармацевтика или очистка воды, после запуска процесса его нельзя обратить вспять. Любая потеря из-за системного сбоя может, к сожалению, привести к потере продукта без какого-либо использования.

2. Увеличение поломок.

Поломки приводят к неиспользованию ресурсов. Замена любого компонента в случае неисправности, очевидно, требует времени, что, в свою очередь, приводит к поломке машины.

3. Отсутствие запасных частей.

Доступность деталей может добавить дополнительную проблему — трудоемкую проблему, которая приводит к еще большему времени простоя машины. Например, иногда поставщик или производитель прекратил выпуск этого номера детали или он недоступен на местном рынке.

4. Увеличение эксплуатационных расходов

Даже когда машина находится в неработоспособном состоянии из-за поломки, она продолжает потреблять такие ресурсы, как электричество и другие ресурсы. Это приводит к увеличению эксплуатационных расходов на конкретный процесс или продукт, что напрямую влияет на производственные затраты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Резервированная система управления
<https://www.quora.com/search?q=control%20system%20redundant>

// URL:

- 2 Техника управления резервированием для компьютеров космического корабля "Шаттл" // URL: <https://research.ibm.com/publications?search=eyJ0eXBlljoi291cmNlIiwidmFsdWUiOnsiaWQiOiIxOTk3MSIsInRleHQiOiJJQk0gSi4gUmVzLiBEZXYifX0>
- 3 Устройства резервирования URL: <http://www.tersy.ru/index.php?module>
- 4 Методика выбора невосстанавливаемых резервированных систем управления технологическими процессами URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-vybora-nevosstanavlivaemyh-rezervirovannyh-sistem-upravleniya-tehnologicheskimi-protsessami>
- 5 Резервированная система URL: <https://www.ngpedia.ru/id430965p1.html>
- 6 Резервирование РАС-контроллеров URL: <https://isup.ru/articles/36/5661/>
- 7 РЕЗЕРВИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ SIMATIC S7-400H URL: <https://www.energostandart.ru/tehnika-avtomatisacii/rezervirovannye-sistemy-avtomatizacii/>
- 8 Системы повышенной надежности нового поколения - Системы автоматизации URL: <http://www.aqad.ru/index.php?tree=1000000&tree2=3009999&tree3=10008586&tree4=5309999&tree5=5300041&tree6=10022957>
- 9 Система автоматического управления вспомогательным оборудованием - САУ ВО URL: <https://energybase.ru/equipment/sau-vo>
- 10 ИНТЕГРАЦИЯ СРЕДСТВ БЕЗОПАСНОСТИ В АВТОМАТИЗАЦИЮ ПРОЦЕССОВ URL: <http://simatic-market.ru/catalog/Siemens-CA01/10044147/#10044147/info/>

REFERENCES

- 1 Rezervirovannaja sistema upravlenija // URL: <https://www.quora.com/search?q=control%20system%20redundant>
- 2 Tehnika upravlenija rezervirovanijem dlja komp'juterov kosmicheskogo korablja "Shattl" // URL: <https://research.ibm.com/publications?search=eyJ0eXBlljoi291cmNlIiwidmFsdWUiOnsiaWQiOiIxOTk3MSIsInRleHQiOiJJQk0gSi4gUmVzLiBEZXYifX0>
- 3 Ustrojstva rezervirovanija URL: <http://www.tersy.ru/index.php?module>
- 4 Metodika vybora nevosstanavlivaemyh rezervirovannyh sistem upravlenija tehnologicheskimi processami URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-vybora-nevosstanavlivaemyh-rezervirovannyh-sistem-upravleniya-tehnologicheskimi-protsessami>
- 5 Rezervirovannaja sistema URL: <https://www.ngpedia.ru/id430965p1.html> Резервирование РАС-контроллеров URL: <https://isup.ru/articles/36/5661/>
- 6 Rezervirovanie RAS-kontrollerov URL: <https://isup.ru/articles/36/5661/>
- 7 REZERVIROVANNYE SISTEMY AVTOMATIZACII SIMATIC S7-400H URL: <https://www.energostandart.ru/tehnika-avtomatisacii/rezervirovannye-sistemy-avtomatizacii/>
- 8 Sistemy povyshennoj nadezhnosti novogo pokolenija - Sistemy avtomatizacii URL: <http://www.aqad.ru/index.php?tree=1000000&tree2=3009999&tree3=10008586&tree4=5309999&tree5=5300041&tree6=10022957>
- 9 Sistema avtomaticheskogo upravlenija vspomogatel'nym oborudovanijem - SAU VO URL: <https://energybase.ru/equipment/sau-vo>
- 10 INTEGRACIJA SREDSTV BEZOPASNOSTI V AVTOMATIZACIJU PROCESSOV URL: <http://simatic-market.ru/catalog/Siemens-CA01/10044147/#10044147/info/>

Информация об авторах

Аян Арманович Ешимкенов – магистр, Алматинский Технологический университет, г. Алматы, email: yeshimkenov@gmail.com

Карлыгаш Сайлаубаевна Чакеева – к.т.н., ассоциированный профессор, Туран университет, г. Алматы, email: chakeeva_karla@mail.ru

Authors

Ayan Armanovich Yeshimkenov – master, Almaty Technological university, Almaty city, email: yeshimkenov@gmail.com

Karlygash Saylaubayevna Chakeyeva – PhD, associate professor, Turan University, Almaty, email: chakeeva_karla@mail.ru

Для цитирования

Ешимкенов А.А., Чакеева К.С. Резервированная система управления процессом как основа надежной работоспособности процессов // «Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами»: электрон. науч. журн. – 2022. – №1(13). – С. 55-62 – DOI: 10.26731/2658-3704.2022.1(13).55-62 – Режим доступа: <http://ismm-irgups.ru/toma/113-2022>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения: 26.04.2022)

For citation

Yeshimkenov A.A., Chakeyeva K.S. Redundant process control system as a basis for reliable process operation // Informacionnye tehnologii i matematicheskoe modelirovanie v upravlenii slozhnymi sistemami: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal [Information technology and mathematical modeling in the management of complex systems: electronic scientific journal], 2022. No. 1(13). P. 55-62. DOI: 10.26731/2658-3704.2022.1(13).55-62. [Accessed 26/04/22]