

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ «ЖИВУЧЕСТИ» АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМИ УЧРЕЖДЕНИЯМИ

Е.Н. Надеждин, М.В. Иванченко

Закономерным итогом ускоренного развития и внедрения информационных и коммуникационных технологий в сферу управления образованием, а также эволюции организационные структур управления являются две взаимосвязанные тенденции: интеллектуализация и интеграция автоматизированных информационных систем (АИС) в составе автоматизированных систем управления деятельностью образовательных учреждений (АСУ ОУ) на единой концептуальной платформе [1; 5]. Переход АСУ ОУ на качественно новый функциональный уровень потребовал расширения набора традиционных показателей ее эффективности за счет введения в его состав компонентов, отражающих такие системные качества как адаптивность, многофункциональность и многорежимность [7]. Наряду с формальным описанием потенциальных и реальных характеристик автоматизированной системы, важно иметь инструментарий для количественной оценки устойчивости информационной инфраструктуры АСУ ОУ к воздействию дестабилизирующих факторов различного происхождения и, соответственно, для анализа степени инвариантности сетевой инфраструктуры ОУ. В связи с этим представляется актуальной задача изучения некоторых аспектов анализа эффективности АСУ ОУ с позиций комплексного понятия «живучесть».

Термин «живучесть» заимствован из науки о судостроении, где под «живучестью» судна традиционно понималась способность противостоять неблагоприятному воздействию сил ветра, волн, пожаров, оружия противника, а при повреждениях – сохранять и восстанавливать (полностью или частично) мореходность и боевые качества.

В научных публикациях, посвященных исследованию «живучести» средств вычислительной техники и техники связи, нашли отражение оба названных аспекта. Одни авторы (Б.С. Флейшман, В.Ф. Крапивин, О.П. Васильев, К.Е. Юрченко) под «живучестью» понимают *«свойство систем активно с помощью соответствующим образом организованной структуры и поведения противостоять вредным воздействиям среды, при этом предполагается, что вредные воздействия необязательно носят преднамеренный характер»*. Другие авторы (В.А. Мясников В.А., Ю.Н. Мельников) особо подчеркивают враждебность характера внешних воздействий. «Живучесть» здесь рассматривается как *«свойство системы с определенной гарантией качества выполнять комплекс возложенных на нее целевых функций в условиях преднамеренных воздействий внешней среды, направленных на срыв выполнения системой основной задачи»*.

В настоящее время интерес к известному свойству объясняется, следующими обстоятельствами. Возрастание масштабов внедрения АСУ в сферу управления образованием приводит к значительному росту рисков (ущербов) от отключения даже части системы, увеличению доли технологически связанных нарушений жизнедеятельности образовательных учреждений. Отметим также, что в АСУ ОУ – эргатических системах непрерывного цикла – при нарушении электронного документооборота и сбоях в информационно-вычислительном процессе (ИВП) существенно возрастают сложность и трудоемкость восстановительных операций. В связи с развитием и усложнением связей между различными системами и подсистемами АСУ ОУ значительную негативную роль могут играть вторичные последствия нарушений работоспособности элементов системы. Следовательно, возникает проблема обоснования наилучшего способа устранения (или ограничения) вторичных последствий. На практике существует также проблема дистанционного аудита и перераспределения сохранившихся внутренних ресурсов в интересах восстановления и

последующей реализации жизненно важных функций автоматизированной системы после активного на нее воздействия.

В настоящей статье делается попытка обосновать алгоритмический подход к задачам оценки «живучести» и формализации выбора способа ее реализации с учетом особенностей функционирования АСУ ОУ.

В вычислительных системах с «живучестью» обычно связывается отсутствие потерь любой задачи (функции) из-за отказов элементов. Согласно ГОСТ 34.003-90 *«живучесть – свойство системы, характеризующее способность выполнять установленный объем функций в условиях воздействий внешней среды и отказов компонентов системы в заданных пределах»* [3]. Это свойство обеспечивается развитыми аппаратно-программными средствами технического диагностирования, восстановления и реконфигурации.

В работе [1] под «живучестью» понимается способность систем к сохранению своих основных функций (хотя бы с допустимой потерей качества их выполнения) при воздействии факторов внешней среды катастрофического характера – неблагоприятных условий эксплуатации.

В работе [9] «живучесть» определена как свойство объекта, заключающееся в его способности выполнять заданное назначение в процессе неблагоприятных воздействий на весь объект или отдельные его компоненты, поддерживая в допустимых пределах свои эксплуатационные показатели.

Примем за основу следующее рабочее определение. *«Живучесть» – свойство автоматизированной системы, заключающееся в ее способности восстанавливать свой функционал и поддерживать значения основных эксплуатационных показателей в допустимых диапазонах при непредусмотренных регламентом нормальной работы неблагоприятных воздействиях внешней среды посредством использования специальных механизмов адаптации и рационального перераспределения имеющихся ресурсов.*

В понятии «оценка живучести» выделим два существенных аспекта:

- оценка качества функционирования системы в условиях целенаправленных внешних дестабилизирующих воздействий;
- оценка способности системы сохранять и восстанавливать свою работоспособность за счет целенаправленной перестройки своей структуры, изменения режима (алгоритма) и параметров функционирования и (или) перераспределения располагаемых ресурсов.

В настоящее время известно несколько подходов к задачам анализа и обеспечения «живучести» АИС [1; 4, 9-8]. Различие целей функционирования и, соответственно, характеристик автоматизированных систем определяет многообразие критериев «живучести» и способов их оценивания. В нашем случае представляют интерес показатели функциональной «живучести», в которых учитывается в явном виде качество выполнения основных функций АИС.

Для сравнения «живучести» различных вариантов восстанавливаемых АИС с переменной структурой и статическим перераспределением задач и ресурсов в условиях вредных воздействий может быть предложен интегральный показатель, представляющий собой отношение значения показателя качества функционирования системы в условиях вредных воздействий к значению этого же показателя в идеальных условиях:

$$W = \frac{\Psi[Q_1(\lambda), \dots, Q_n(\lambda); \lambda_1, \dots, \lambda_n; w_1, \dots, w_n]}{\Psi[Q_1^0, \dots, Q_n^0]; \lambda_1, \dots, \lambda_n; w_1, \dots, w_n]}, \quad (1)$$

где $Q_i(\lambda)$ – значение показателя качества выполнения i -й задачи в условиях вредных воздействий интенсивностью λ ;

Q_i^0 – значение показателя качества выполнения i -й задачи в идеальных условиях;

w_i – коэффициент относительной важности i -й задачи;

λ_i – интенсивность поступления задач i -го типа в систему.

Показатель (1) основан на явном задании основной цели системы и может рассматриваться как общий показатель функциональной «живучести». Этой целью для АИС является обеспечение выполнения с требуемым качеством фиксированного набора прикладных информационно-вычислительных задач различной важности. По данному показателю можно оценить относительное ухудшение качества функционирования АСУ ОУ в условиях дестабилизирующих воздействий по сравнению с идеальными условиями. Ввиду общности и наглядности данного показателя на его основе можно определить и частные показатели «живучести» применительно к конкретным режимам работы многофункциональных АСУ ОУ.

Рассмотрим сущность и особенности реализации механизма обеспечения «живучести» для АСУ ОУ.

Пусть проектируемая автоматизированная система состоит из структурных элементов следующих видов: технических, программных (компоновочные модули операционной системы, программы ведения баз данных, прикладные и сервисные программы и др.), информационных (файлы, индексные таблицы и др.), организационных (абоненты, операторы, системы транзакций абонентов и операторов и др.). Отказам подвержены все виды структурных элементов. Отказ одного или нескольких структурных элементов может привести к невозможности выполнения какой-либо одной или нескольких задач. Будем называть такой отказ функциональным. При выявлении функционального отказа в системе должны инициализироваться некоторые общесистемные средства, функционирование которых направлено на обеспечение «живучести» системы. Назовем эти средства *механизмом обеспечения «живучести»* (МОЖ), который должен обеспечивать идентификацию отказавшего элемента (или подсистемы) и, при необходимости, его изоляцию, затем произвести реконфигурацию структуры системы или изменение алгоритма ее функционирования, а также восстановление нормального функционирования системы.

Представим укрупненную модель функционирования МОЖ в виде четырех модулей (рис. 1). Модуль 1 идентифицирует отказавший элемент, при этом должна быть выявлена причина функционального отказа с точностью до заменяемого или ремонтируемого отказавшего структурного элемента. Выявление и локализация физических отказов в элементах системы являются одними из самых сложных операций при решении задач обеспечения «живучести» рассматриваемого класса систем. Не всегда удается оперативно в заданное время обнаружить причину функционального отказа, поэтому предусмотрен переход к модулю 4.

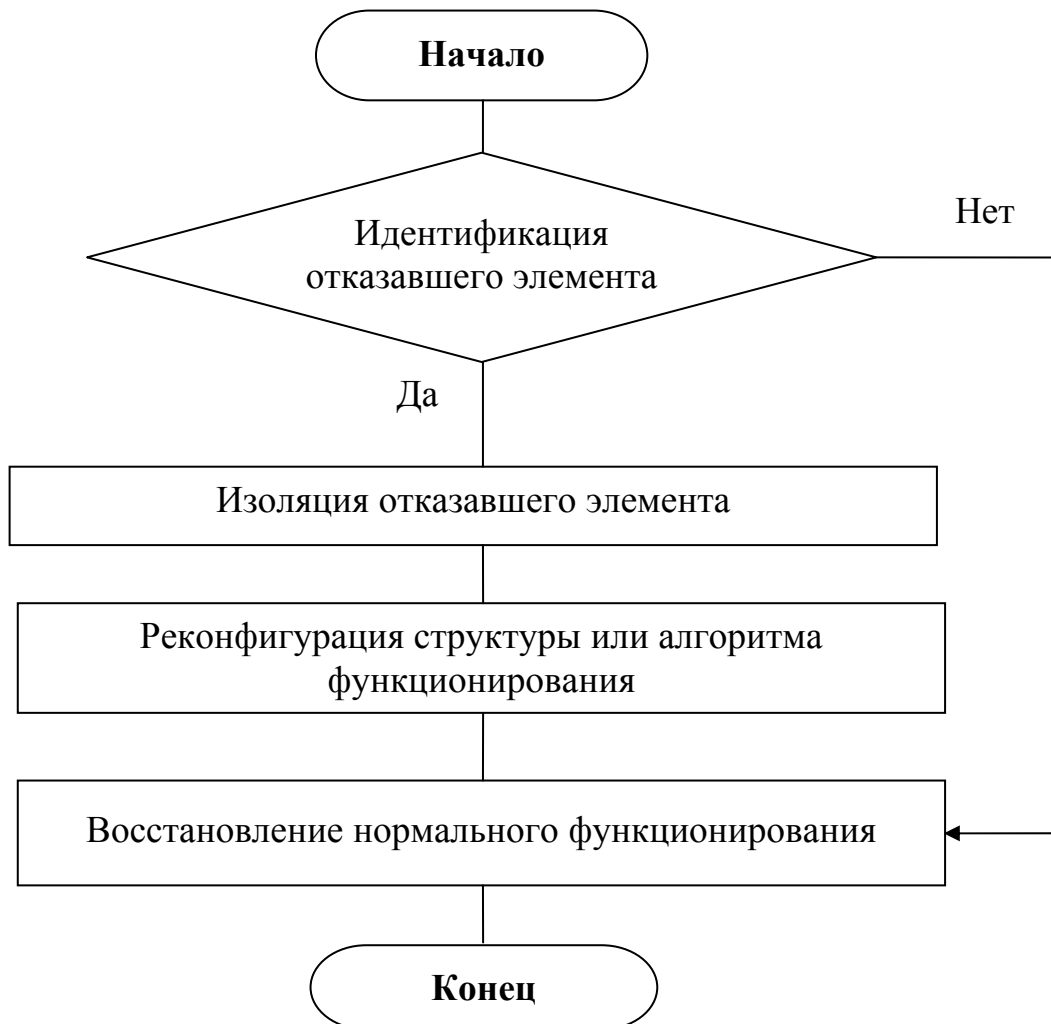


Рис. 1. Укрупненная блок-схема механизма обеспечения «живучести»

В случае определения отказавшего элемента МОЖ переходим к модулю 2, изолирующему отказавший элемент. Изоляция интерпретируется как это комплекс системных мер, направленных на исключение влияния отказавшего элемента на ИВП, при этом элемент становится на определенное время как бы «невидимым» для системы.

Изоляция отказавшего элемента необходима для предотвращения непроизводительной траты ресурсов (увеличения времени решения задач) системы, которая могла бы иметь место при обращениях к заведомо отказавшим элементам и, кроме того, для предотвращения размножения последствий отказов элементов. Здесь осуществляется перевод задачи, при выполнении которой обнаружена неисправность, в неактивное состояние или на аварийное завершение, при этом все системные ресурсы, используемые задачей, освобождаются и становятся доступными для других задач.

Модуль 3 осуществляет реконфигурацию структуры и (или) алгоритма функционирования системы. При отказе технических элементов в основном решаются задачи структурной реконфигурации на основе применения идей оптимального резервирования. При отказе программных, информационных и организационных элементов задачи реконфигурации в системе в основном сводятся к изменению алгоритма функционирования системы.

Модуль 4 восстанавливает нормальное функционирование. Под этим понимается выполнение ряда действий, направленных на настройку вычислительного процесса, под реальные технологические процессы, происходящие на объекте автоматизации.

В результате функциональных отказов в системе на некоторое время происходит нарушение синхронизации между технологическими процессами на объекте автоматизации и вычислительными процессами в АИС. Реконфигурация, осуществляемая модулем 3, создает в системе потенциальную возможность для восстановления ИВП в выбранном режиме. Необходимо, исходя из анализа текущих состояний системы, объекта автоматизации и имеющихся ресурсов определить минимальный круг

управленческих параметров, варьируя которыми, можно с минимальными затратами ликвидировать рассинхронизацию.

Рассмотрим формальную постановку задачи выбора рационального способа реализации компонентов МОЖ.

Компоненты МОЖ могут быть реализованы различными способами (системным администрированием, аппаратным, программным), при этом требуется затрата тех или иных ресурсов (материальных, информационных, вычислительных, временных).

Пусть задано множество задач A , решаемых АИС, при этом каждая задача $a_i \in A, i = \overline{1, n}$, характеризуется интенсивностью поступления λ_i , относительной важностью β_i , временем выполнения T_i . Качество функционирования системы будем оценивать показателем Q , который будем рассматривать как некоторый риск

$$Q = \sum_{i=1}^m \lambda_i \cdot \beta_i \cdot T_i, \quad (2)$$

где имеют место нормирующие условия $\sum_{i=1}^m \lambda_i = 1$ и $\sum_{i=1}^m \beta_i = 1$.

Выражение (2) соответствует общему подходу к оценке по показателю «живучести» (1). Так как рассматриваются АИС, работающие в масштабе времени, близком к реальному, в показатель качества должны быть введены затраты времени на решение конкретных задач. Оценка «живучести» должна производиться как в идеальных условиях, так и в заданном экстремальном состоянии (или на заданном множестве экстремальных состояний).

Отказы структурных элементов приводят к функциональным отказам, т. е. к отказам в выполнении задач, и система переходит в одно из экстремальных состояний. Из всего множества состояний элементов системы будем рассматривать только те состояния $S = (S_1, \dots, S_r)$, которые приводят к функциональным отказам. В каждом таком состоянии S_k выделим два непересекающихся подмножества задач A_k^{\exists} и A_k^H .

Примем условие, что задача $a_i \in A_k^{\exists}$, если в состоянии S_k задача a_i не может быть выполнена. В противном случае – $a_i \in A_k^H$. Разбиение всего множества задач на подмножества A_k^{\exists} и A_k^H определяется структурой и алгоритмами функционирования конкретной АИС.

Показатель качества функционирования АИС зависит от времени решения задач, которое при экстремальных состояниях системы для задач $a_i \in A_k^{\exists}$ увеличивается на время работы механизма обеспечения «живучести» T^*

$$T_i^{\exists} = T_i + T^* . \quad (3)$$

Механизм обеспечения «живучести» в рассматриваемом классе АСУ ОУ может быть реализован путем рационального распределения своих функций между системным администратором (СА) и аппаратно-программным комплексом (АПК). Представим МОЖ как некоторое множество вычислительных и логических компонент: $d_j, j = 1, \dots, m$, полагая, что каждая j -я компонента может быть реализована через СА или АПК.

В первом случае время ее выполнения обозначим через t_j , а во втором случае как \tilde{t}_j . При реализации компонент на АПК необходимо учитывать другие затрагиваемые вычислительные ресурсы, в частности длину программы p_j , необходимой для реализации j -й компоненты.

Поставим в соответствие каждой j -й компоненте МОЖ некоторую величину $h_j \in \{0, 1\}$, которая указывает конкретный способ выполнения:

$$h_j = \begin{cases} 1, & \text{если } j\text{-я компонента выполняется АПК;} \\ 0, & \text{если } j\text{-я компонента выполняется СА.} \end{cases}$$

Вектор $H = (h_1, \dots, h_m)$ описывает реализацию МОЖ в целом.

Очевидно, что от выбора способа реализации каждой компоненты зависят полное время функционирования МОЖ и, соответственно, затраты

вычислительных ресурсов. Рассматривая различные компоненты МОЖ, следует отметить, что одни из них могут быть более эффективно выполнены СА, а другие – АПК. Выбор способа реализации компонент осложняется тем, что ограничения на различные виды ресурсов зависят от конфигурации и режима работы АИС, а мощность множества и вероятности появления экстремальных состояний могут изменяться за время эксплуатации. Поэтому перед разработчиками АИС возникает задача выбора комплекса способов реализации МОЖ, т.е. вектора $H = (h_1, \dots, h_m)$ при заданном наборе задач, априорно заданных вероятностях возможных экстремальных состояний, ограничениях на затрачиваемые ресурсы, необходимых для реализации МОЖ. Такой выбор должен быть сделан по критерию качества функционирования системы в целом. В соответствии с выбранным ранее показателем качества (2) следует рассмотреть влияние времени работы МОЖ T^* на качество работы системы и изучить зависимость T^* от выбора комплекса способов реализации МОЖ.

Предположив, что все компоненты МОЖ могут выполняться только последовательно, время работы МОЖ определим в виде: $T^* = T_1 + T_2$, где T_1 – суммарное время работы АПК при реализации тех компонент d_j , для которых $h_j = 1$; T_2 – суммарное время реализации СА компонент МОЖ, для которых $h_j = 0$.

Конкретная реализация МОЖ определяется типом отказа (экстремального состояния). Наборы компонент при различных экстремальных состояниях могут отличаться друг от друга. Для построения модели допустим, что существует некоторый МОЖ, содержащий все компоненты, однако время реализации каждой компоненты пропорционально вероятностям наступления тех состояний, в которых данная компонента реализована. Аналогичные предположения сделаны и для других характеристик, связанных с реализацией компонент МОЖ.

Время работы АПК определим через соотношения:

$$T_{\text{АПК}} = \sum_{j=1}^m h_j \cdot t_j + \Delta t; \quad \Delta t = t_0 \cdot \sum_{j=1}^m h_j \cdot g_j, \quad (4)$$

где t_j – время выполнения АПК j -й компоненты механизма обеспечения «живучести»; Δt – суммарное время активизации программ МОЖ перед выполнением, t_0 – время загрузки одного модуля программы; g_j – число модулей программы, необходимой для реализации компоненты МОЖ на АПК.

Время работы СА определим через соотношения:

$$T_{\text{СА}} = \sum_{j=1}^m (1 - h_j) \cdot t_j. \quad (5)$$

где t_j – время выполнения СА j -й компоненты МОЖ.

На основе представленных выше выражений можно записать:

$$T^* = \sum_{j=1}^m h_j \cdot t_j + t_0 \cdot \sum_{j=1}^m h_j \cdot g_j + \sum_{j=1}^m (1 - h_j) \cdot t_j. \quad (6)$$

Время выполнения задачи a_i в экстремальном состоянии системы может быть представлено как сумма затрат времени выполнения данной задачи в нормальном состоянии T_i и времени работы МОЖ, переводящего систему из экстремального состояния в нормальное:

$$T_i^{\ominus} = T_i + T^*.$$

Следует отметить, что использование механизмом обеспечения «живучести» части ресурсов АПК в течение времени T_1 приводит к увеличению времени решения остальных задач, что может быть отражено введением поправочного коэффициента μ :

$$T_i^{\ominus} = T_i + \mu \cdot \sum_{j=1}^m h_j \cdot t_j + t_0 \cdot \sum_{j=1}^m h_j \cdot g_j. \quad (7)$$

Функциональное соответствие структурных элементов системы b_k задачам a_i представим в виде прямоугольной матрицы смежности «элемент – задача»:

$$F = \| f_{k,i} \|, \quad f_{k,i} = \{0,1\}. \quad + \quad (8)$$

Матрица (8) закрепляет за каждой задачей a_i перечень элементов b_k , используемых при ее выполнении:

$$f_{k,i} = \begin{cases} 1, & \text{если элемент } c_k \text{ используется при выполнении задачи } a_i; \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

При этом устанавливается соответствие между экстремальным состоянием элементов системы и перечнем прикладных задач, которые не будут решены в случае отказа соответствующего элемента.

Введенные выше допущения и соотношения дают основание для представления задачи выбора рационального способа реализации МОЖ АСУ ОУ в терминах теории дискретного программирования.

Таким образом, предложенная интерпретация понятия «живучесть» и формальное описание задачи выбора способа реализации МОЖ применительно к условиям работы АСУ ОУ позволяют сделать следующие выводы.

1. Расширение комплекса традиционных показателей эффективности АСУ ОУ за счет включения в его состав показателя «живучести» сетевой инфраструктуры отвечает концепции создания устойчиво функционирующей интегрированной системы управления деятельностью образовательного учреждения.

2. Оценка «живучести» сетевой инфраструктуры АСУ ОУ может быть осуществлена аналитически или в результате вычислительного эксперимента. В последнем случае перспективным можно считать метод операционного моделирования ИВП с использованием полумарковских моделей, отражающих эволюцию функциональных состояний автоматизированной системы с учетом эффекта восстановления работоспособности на основе реализации МОЖ.

Литература

1. Волик Б.Г. Термины работоспособности объектов техники // Автоматика и телемеханика. 2002. №12. С. 174-180.

2. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Термины и определения.

3. ГОСТ 34.003-90. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения.

4. Мясников В.А., Мельников Ю.Н., Абросимов Л.И. Методы автоматизированного проектирования систем телеобработки данных: учеб. пособие. М.: Энергоатомиздат, 1992. 288 с.

5. Надеждин Е.Н. Автоматизация управления вузом как фактор развития системы профессионального образования // Материалы Международной научно-практической конференции «Инновации в науке, экономике, образовании». Тула: АНО ВПО «Институт экономики и управления», 2011. С. 161-168.

6. Надеждин Е.Н., Пракопович Л.И. Анализ живучести автоматизированной системы управления с распределенной обработкой данных // Сборник тезисов докладов 6-й научно-технической конференции. Пенза: Пензенский АИИ, 2008. С. 67-68.

7. Надеждин Е.Н., Смирнова Е.Е. Система показателей эффективности автоматизированного управления / Надеждин Е.Н., Смирнова Е.Е.; Институт информатизации образования РАО. М., 2011. 18 с.; Библиогр.: 15 назв. Русс. Деп. ВИНТИ 07.07.2011 г. № 329-В2011.

8. Надежность технических систем: справочник. / Ю.К. Беляев, В.А. Богатырев, В.В. Болотин и др.; под ред. И. А. Ушакова. М.: Радио и связь, 1985. 608 с.

9. Стекольников Ю.И. Живучесть систем. СПб.: Политехника, 2002. 155 с.