

УДК 614.849: 004.42

Н.Г. Топольский, А.В. Крючков, Д.С. Грачёв, К.А. Михайлов, Нгуен Ле Зуи
(Россия, Вьетнам)

(Академия ГПС МЧС России; e-mail: mihkir.94@mail.ru)

СИНТЕЗ ТИПОВЫХ ПРОГРАММНЫХ МОДУЛЕЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ

Описывается технология синтеза типовой единичной программной системы (ЕПС) в автоматизированной системе пожаровзрывобезопасности (АСПВБ), являющейся составной частью автоматизированной системы управления технологическим процессом нефтеперерабатывающих производств, при помощи методов объектно-ориентированного проектирования и создания программного обеспечения, основанных на технологии реинжиниринга систем. В качестве моделируемой ЕПС выбрана ЕПС, связанная с обработкой документов в делопроизводстве. Показано, что все остальные ЕПС в АСПВБ могут быть синтезированы аналогичным образом. Описаны способы получения метрик моделей интерфейсной части ЕПС.

Ключевые слова: синтез специального программного обеспечения, методы разработки приложений, реинжиниринг систем, метрики программного обеспечения, автоматизированная система пожаровзрывобезопасности, нефтеперерабатывающие производства.

Работа *нефтеперерабатывающих производств (НПП)* в условиях развития научно-технического прогресса требует широкой автоматизации. Для этого на НПП используются *автоматизированные системы управления предприятиями (АСУП)* и *автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП)*, составной частью которых в настоящее время являются *автоматизированные системы пожаровзрывобезопасности (АСПВБ)* [1]. Основные функции для автоматизации процессов в АСПВБ реализуются в *специальном программном обеспечении (СПО)*.

Разработанное и применяемое в современных условиях СПО в АСПВБ на НПП работает устойчиво. Оно состоит из *единичных программных систем (ЕПС)*, работающих на *автоматизированных рабочих местах (АРМ)* различных операторов АСПВБ на НПП. Однако, в связи с частыми изменениями в платформах программирования в *новых информационных технологиях (ИТ)* необходимо проводить периодический его пересмотр для поддержания автоматизируемых в производстве процессов на соответствующем новым ИТ уровне.

Изменение технологической платформы ИТ при переходе от одной ИТ к другой является переломным моментом в эксплуатации АСПВБ в связи с отсутствием гарантии того, что вновь созданное СПО будет гарантированно устойчивым и не откажет в критической ситуации. Прежде всего потому, что для его тестирования в подобных условиях необходимо такую ситуацию на НПП создать. Поэтому крайне важным в подобных условиях является наличие инструмента поддержки в синтезе СПО, который обеспечивал бы корректную передачу функций СПО АСПВБ при переходе от одной ИТ к другой.

Одной из составляющих такого метода является разработка устойчивого интерфейса для типовых ЕПС в АСПВБ (или приложений СПО). Изучение методов синтеза интерфейсной части ЕПС проводилось многими исследователями [4, 5]. Однако общие выводы относительно его стабильности сделаны не были. Проведём краткий анализ возможности получения данного сложного объекта с помощью методологии реинжиниринга на примере *одного автоматизированного рабочего места (АРМ)* – АРМ делопроизводителя.

Для проведения исследования воспользуемся методикой, предложенной в [2]. Для прояснения ситуации потребуется краткое описание сущности выбранного метода синтеза интерфейса СПО АСПВБ. Будем понимать под "инжинирингом бизнеса" "СПО АСПВБ в целом".

Определим основные термины, при помощи которых будет происходить описание построения модели устойчивого СПО. Для этого понадобится ещё одно определение архитектуры. По определению АСПВБ – сложная система, так же как и ЕПС делопроизводства.

Архитектура сложной системы – это её структура. Элементами этой структуры в нашем случае являются конкретные документы, а также элементы их структуры (главы, статьи, абзацы), процессы, необходимые оператору АСПВБ для доступа к конкретным фактам, и функции, приводящие ЕПС в нужное оператору состояние. Архитектура сложной системы может быть разделена на внутреннюю и внешнюю. Внешняя часть предусматривает описание порядка взаимодействия оператора с системой. Внутренняя – служит для описания её состава. Обычно на практике действия оператора настолько тесно переплетены со структурой СПО, что для их описания зачастую могут потребоваться одинаковые определения. Внутренняя и внешняя части архитектуры моделируются при помощи внутренней и внешней моделей сложной системы.

Внешняя модель служит для определения списка действий СПО при взаимодействии с различными субъектами. Субъект – это роль, которую играют различные пользователи по отношению к АСПВБ. Классификация пользователей (субъектов), обязательно проводимая в классическом варианте построения внешних моделей, в нашем случае не важна, так как с формальной точки зрения любые группы пользователей при взаимодействии с ней ведут себя одинаково, и их действия зависят исключительно от внутренней структуры СПО и его реакций на их запросы. Поэтому при построении внешней модели СПО АСПВБ будет учитываться единственный класс субъектов – оператор. Данную модель необходимо строить, прогнозируя его действия в процессе работы с ЕПС, выявляя прецеденты. Общий набор прецедентов и составит внешнюю модель.

Прецедент в нашем случае – устойчивая последовательность действий, выполняемая пользователем с определённой целью. Целью служит некая группа фактов (или факт), к которым оператор желает получить доступ, а последовательность действий составляют формирование и исполнение запросов, а также последующее прочтение информации. Данную модель принято называть *П-моделью* [2]. Для придания ей наибольшей глубины необходимо соста-

вить детальное описание возможных прецедентов. Следует заметить, что при выполнении построений интерфейсной части ЕПС данным способом понятие "субъект" коррелирует с понятием "внешняя сущность", а понятие "прецедент" – с понятием "процесс" в Use case. Внешняя модель не может и не должна описать всех деталей построения ЕПС, так как она описывает только то, как ЕПС взаимодействует с окружающим миром. Набор её прецедентов, в конечном итоге, должен составить основу семантических полей интерфейсной части ЕПС, дополняют которую данные из внутренних моделей.

Для описания внутренних структур служат внутренние модели. Обычно при использовании методологии реинжиниринга таких моделей может быть несколько. Одна из них, основанная на описании объектов, называется **О-моделью** [2]. Объект в смысле О-модели – это группа операций или сущностей, которые в условиях данной модели могут служить единым функциональным элементом, наделённым определёнными свойствами и действиями. Для построения внутренней модели внутри ЕПС выявляются сущности или их группы, которые могут стать объектами. Далее исследуются их свойства и способы взаимодействия с ними пользователя, формируется список отношений взаимодействия между объектами внутри ЕПС АСПВБ, формируются списки атрибутов и состояний объектов.

Отношение – это способ взаимодействия объектов ЕПС между собой. Как объекты, так и отношения могут быть классифицированы (разделены на группы сходных сущностей или действий), что позволит в дальнейшем использовать в О-модели не конкретные объекты, а их классы. Полностью О-модель будет считаться построенной при полном описании всех объектов, входящих в её состав, и отношений между ними.

По окончании построения П-модели и О-модели необходимо определить, какие объекты будут участвовать в определённых прецедентах. Данный список дополнит описание ЕПС важными подробностями, позволит уточнить описание поведения объектов и точнее классифицировать как прецеденты, так и объекты, уточняя модель поведения системы в целом. Отношения между прецедентами могут быть обобщены для сокращения их описания и исключения повторного описания одних и тех же событий.

В процессе проектирования моделей необходимо также учитывать декомпозицию сложной системы. Ряд подсистем будет иметь различные объекты во внутренних моделях и одинаковые прецеденты во внешних. К ним применима возможность масштабирования. При этом, с одной стороны, на различных уровнях доступа к элементам внутренних моделей ЕПС могут использоваться различные П-модели. С другой стороны, внутри каждой из этих П-моделей существуют как специфические для данного ЕПС, так общие для многих ЕПС компоненты, которые можно использовать для построения разных ЕПС.

Таким образом, для построения интерфейсной части типовой ЕПС АСПВБ на основе методологии реинжиниринга необходимо построить внешнюю П-модель, уточнив её состав на основании состава и взаимодействия внутренних О-моделей. Это достаточно объёмная задача даже для выбранного частного случая. Поэтому выберем и покажем только отдельные части процесса построения интерфейсной части ЕПС, необходимые для обобщающих выводов.

По составу прецедентов П-модели можно определить семантическое наполнение функциональной нагрузки интерфейса ЕПС в данном конкретном примере. В случае если состав прецедентов П-модели совпадёт с перечнем функций, отображаемых на функциональную нагрузку интерфейса пользователя, можно будет сделать вывод о том, что взятый за основу семантического наполнения интерфейса оператора АСПВБ перечень выбран правильно. Логика подсказывает, что он не может быть другим, так как предметная область не меняется. Его дальнейшая доработка позволит получить функционально полный семантический состав интерфейса пользователя.

Построение этой модели начинается с выявления субъектов. В нашем случае субъект, как говорилось выше, всего один. Это оператор АСПВБ. Затем необходимо определить состав прецедентов, которые этот пользователь может создать при работе с АСПВБ. Прежде всего, это вход и выход из ЕПС. Перечислим остальные возможные прецеденты выстраиваемой П-модели в виде списка:

- поиск документа;
- открыть документ;
- закрыть документ;
- найти раздел документа;
- найти подраздел документа;
- найти слово (словосочетание) в документе;
- перейти к другому разделу;
- перейти к другому подразделу;
- перейти к другой статье;
- перейти к очередному вхождению слова (словосочетания) в документе;
- создать документ;
- добавить документ;
- уничтожить документ;
- изменить документ;
- добавить раздел документа;
- удалить раздел документа;
- изменить раздел документа;
- добавить подраздел документа;
- удалить подраздел документа;
- изменить подраздел документа;
- добавить статью документа;
- удалить статью документа;
- изменить статью документа.

В приведённой П-модели документ, раздел, подраздел, статья представляют собой объекты, над которыми субъект совершает определённые действия. Можно было бы усложнить модель, разделив субъекты по ролям: например, на пользователя, допущенного только для чтения, и пользователя, допущенного для чтения и записи данных. Однако, это не внесёт существенных изменений в предлагаемую модель, так как первый пользователь составляет подмножество второго и, наоборот, второй пользователь служит расширением первого. В прикладной инженерии в подобных случаях роли пользователей принято называть абстракциями и детализациями, особенно, если речь идёт о некоей главной роли, паттерн которой используется в качестве основы для прочих построений.

Нетрудно видеть, что можно объединить такие объекты П-модели как документ, раздел, подраздел, статья в едином объекте "информационный ресурс". Тогда вместо двенадцати последних прецедентов можно получить всего три:

- добавить информационный ресурс;
- удалить информационный ресурс;
- изменить информационный ресурс.

Это позволяет значительно упростить П-модель. При этом реализация интерфейсной части ЕПС может быть масштабирована в зависимости от состава и уровней вложенности объекта П-модели "ресурс". Это же ведёт к потере прецедентами своей сущности при рассмотрении П-модели в целом, что при определённых условиях может ухудшить удобство работы оператора. Будем далее говорить об объектном классе "ресурс" П-модели. Его наличие позволяет абстрагироваться от предметной области. Часть этих построений применена в широко известных СУД (например, "Консультант+" или "Гарант"), но в конкретных случаях реализации СПО семантика интерфейса пользователя различна.

Завершающим этапом создания П-модели является определение метрик и производство измерений по ним. Этот этап носит эмпирический характер или ставит в соответствие каждому прецеденту набор статистически полученных измерений. Прецеденты типа "добавить", "изменить", "удалить" не требуют построения метрик и определения набора их числовых значений для случая определения среднего и максимального времени выполнения запроса пользователя. С этой точки зрения наиболее интересны прецеденты типа "найти". Для них можно получить сравнительные статистические характеристики, определяющие "ценность" данной части рассматриваемой типовой ЕПС АСПВБ. Однако, для таких оценок обязательно понадобится построение О-модели.

Если П-модель типовой ЕПС (в нашем случае учёта документов) может быть относительно простой и не зависящей от конкретной предметной области, то О-модель значительно сильнее привязана к конкретным документам, входящим в состав такой ЕПС. Более того, она непосредственно с ними связана. Поэтому, если добавить (удалить или изменить) в ЕПС новый объект класса "ресурс", то это потребует изменения всей О-модели. О-модель ЕПС учёта до-

кументов имеет различное число уровней изложения фактов в документах. Возможно построение отдельных О-моделей для каждого из них. Причём каждая такая модель будет иметь различное число уровней (вложенных в неё моделей).

Рассмотрим обобщённую О-модель ЕПС учёта документов. Допустим, что в её состав входит N документов, каждый из которых состоит из N_i подразделов, S_i статей и F_i фактов, где i – номер документа. При этом факт – это словосочетание, выражающее законченную мысль, которую нельзя детализировать (аналог функциональных характеристик). Тогда ЕПС будет представлять собой набор кортежей или матрицу размером 3 на N , в которой каждая строка будет выглядеть как (1):

$$STR_i = \{N_i, S_i, F_i\}. \quad (1)$$

Соответственно, вся ЕПС будет выглядеть как набор N матриц:

$$EPS = \{STR_1, STR_2, \dots, STR_N\}. \quad (2)$$

Как правило, ЕПС содержат большое число документов, которые функционально слабо связаны между собой, хотя есть и исключения. В случаях, когда такими исключениями можно пренебречь, строить матрицы связей объектов в О-моделях не стоит. В случаях же, когда такими исключениями пренебречь нельзя, необходимо построить совокупность двоичных матриц связей (M_{ij}) с размерностью, определяемой размерностями в каждой паре документов. В них каждый элемент (B_{ijkl}) будет равен 0, если связь между двумя различными фактами в данной паре документов отсутствует, и 1 – если присутствует. Число таких двоичных матриц равно числу пар документов, входящих в ЕПС.

Обобщённый пример такой матрицы имеет вид (3). Аналогии матрицы (3) могут отражать связи между ресурсами, которые группируют документы по темам, темы по разделам и т.д.

$$M_{ij} = \begin{pmatrix} B^{11}_{ij} & B^{12}_{ij} & \dots & B^{1N}_{ij} \\ B^{21}_{ij} & B^{22}_{ij} & \dots & B^{2N}_{ij} \\ B^{N1}_{ij} & B^{N2}_{ij} & \dots & B^{NN}_{ij} \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Логично на основе матрицы (3) составить простую метрику для её оценки. Это будет свёртка матрицы (сумма всех её элементов). Смысл такой метрики состоит в полной "массе" связей, по которой можно сравнивать два элемента СПО. Другой метрикой на основе (3) будет двоичная функция, определённая на её основе. Она будет иметь значение "истина", если между фактами есть связь (то есть между ними есть "мостик из 1", "соприкасаются друг с другом"). В противном случае она примет значение "ложь". Ещё одной метрикой может быть "расстояние" в целых числах между двумя связанными фактами в различных документах. Для её получения необходимо, во-первых, удостовериться, что между фактами есть связь, а во-вторых, сосчитать число "1" в мосте.

Аналогом матрицы (3) могут быть матрицы, где вместо значений "1" будут помещены значения времени контекстного поиска элемента, объём трудозатрат на его последовательное создание, количества влияния человека или меры устойчивости работы функций ЕПС к определённым типам данных. В последнем случае одной из метрик О-модели (в конкретном случае ЕПС учёта документов) может служить общая сумма "количества устойчивости" на элемент (например, для функции одного из пунктов меню интерфейсной части ЕПС). Такая метрика будет вычисляться аналогично метрике "расстояние" и будет иметь ограничение в виде возможности реализации данного элемента ЕПС посредством некоторой цепочки базовых элементов программ.

Такие построения интересны как с точки зрения определения устойчивости отдельно взятой типовой ЕПС, так и с точки зрения сравнительного анализа устойчивости работы различных ЕПС в АСПВБ. Но в каждом конкретном случае О-модель сильно зависит от состава документов, регламентирующих процессы в предметной области. Поэтому даже при незначительной корректировке небольшого подраздела или статьи только в одном документе вся О-модель (в особенности матрицы связей и т.п.) подвергнутся значительным изменениям. Видимо, понимая это, авторы [2] не рекомендуют слишком сильно детализировать О-модель, так как это может сделать её слишком громоздкой.

Введём ещё одну метрику, связанную со стабильностью предметной области для которой разрабатывается ЕПС. Будем называть предметную область стабильной в том случае, если набор руководящих документов для неё не сильно изменяется во времени или не происходит сильных изменений в условиях эксплуатации ЕПС. Исходя из приведённых формул, можно уточнить это определение. Для этого необходимо ввести меру стабильности. Если СПО АСПВБ в целом будет охватывать N_i подразделов, S_i статей и F_i фактов, где i – номер документа (2), то она будет стабильной на протяжении заданного промежутка времени, если общее число изменившихся за это время экземпляров объектного класса "ресурс" не превысит заданную величину δ :

$$Y_{\text{ЕПС}} = \sum_{i=1}^V N_i + \sum_{j=1}^N S_j + \sum_{k=1}^M F_k; \quad Y_{\text{ЕПС}} \leq \delta(t). \quad (4)$$

Величина δ – это мера стабильности предметной области в заданном промежутке времени. Она может быть как целочисленной, так и дробной. В первом случае она будет отражать максимально возможное количество влияющих на интерфейсную часть ЕПС фактов, которое может быть изменено в промежуток времени, в течение которого ЕПС АСПВБ должно быть стабильно (восстановление устойчивости не потребуют значительных усилий). Во втором случае $\delta(t)$ будет отражать относительное значение, равное отношению максимально возможного для стабильности ЕПС АСПВБ количества изменяемых элементов О-модели (фактов или функциональных характеристик) к общему значению количества значимых фактов. При этом ЕПС АСПВБ можно будет называть стабильной в смысле данного критерия. В этом случае, чем больше δ , тем данная ЕПС в АСПВБ менее стабильна при работе оператора. При снижении δ она станет негибкой.

Приведённые в статье для оценки О-модели ЕПС учёта документов математические построения говорят о том, что изменения в П-модели на основании данных из О-модели могут быть как значительными, так и незначительными. В реальных системах метрики устойчивости сильно зависят от того, какая конкретно часть ЕПС будет отвечать за конкретный прецедент. В случае рассмотрения процесса, который определяет порядок и спецификации при создании ЕПС учёта документов, величина приводимых метрик не имеет большого значения для интерфейсной части и разработчиков ЕПС. Резонно предположить, что для ЕПС других предметных областей ситуация будет аналогична. Значит, реинжиниринг, предоставляя нам достаточно развитый механизм для построения интерфейсной части ЕПС в АСПВБ, на практике фактически не позволяет реализовывать единые спецификации СПО даже для одной (относящейся к достаточно стабильной предметной области) ЕПС. Это видно на основании оценки изменения О-модели, влияющей на П-модель. Если при этом ввести в модель синтеза СПО АСПВБ параметры, определяющие действия и взгляды конкретных разработчиков (персоналий и организаций), то О-модель выбранной для построения частной ЕПС, а также описываемые в П-модели спецификации интерфейсной её части будут ещё менее стабильными и неустойчивыми.

Таким образом, в данной статье проанализированы возможности построения обобщённых моделей интерфейсной части типовой ЕПС АСПВБ на примере АРМ учёта документов с помощью методологии реинжиниринга. Благодаря применению такого подхода возможна оценка меры устойчивости как всей ЕПС в целом, так и отдельных её частей при помощи определённых критериев. Построение критериев и расчёт их значений сильно зависят от состава документов (или от номенклатуры передаваемых значений сигналов от аппаратуры регистрации событий пожарной сигнализации) на конкретном АРМ в АСПВБ. Поэтому применение данного подхода следует ограничить только использованием П-моделей.

Литература

1. Абросимов А.А., Топольский Н.Г., Фёдоров А.В. Автоматизированные системы пожаровзрывобезопасности нефтеперерабатывающих производств. М.: МИПБ МВД России, 1999. 239 с.
2. Ойхман Е.Г., Попов Э.В. Реинжиниринг бизнеса: реинжиниринг организаций и информационные технологии. М.: Финансы и статистика, 1997. 334 с.
3. Reinventing Enterprise System. <http://www.bolder.com/res01dotsres05.htm>.
4. Вендров А.М. Проектирование программного обеспечения экономических информационных систем. М.: Финансы и статистика, 2005. 544 с.
5. Избачков Ю.С., Петров В.Н. Информационные системы: учеб. для вузов. СПб.: Питер, 2005. 656 с.
6. Басс Л., Клементс П., Кацман Р. Архитектура программного обеспечения на практике / пер. с англ. СПб.: Питер, 2006. 574 с.
7. Леффингуэлл Д., Уидриг Д. Принципы работы с требованиями к программному обеспечению. Унифицированный подход / пер. с англ. М.: Вильямс, 2002. 448 с.

Статья поступила в редакцию интернет-журнала 11 ноября 2017 г.

**N.G. Topolsky, A.V. Kruchkov, D.S. Grachev, K.A. Mikhaylov, Nguyen Le Zuy
(Russia, Vietnam)**

SYNTHESIS OF TYPICAL SOFTWARE MODULES FOR COMPUTER-AIDED FIRE-EXPLOSION SAFETY SYSTEM

It describes the technology of synthesis of a typical single software system in a computer-aided fire-explosion safety system, which is an integral part of an automated control system for technological processes in petroleum refineries. The methods of obtaining metrics for models of the interface part of a single software system are described.

The study uses methods of object-oriented design and software development based on the technology of system reengineering.

The mathematical constructions presented in the article for estimating the O-model of a single software document accounting system show that changes in the P-model based on data from the O-model can be both significant and insignificant. In real systems, sustainability metrics are highly dependent on which specific part of the single program system will be responsible for a particular precedent.

The obtained results can be used as a support tool for the synthesis of special software of the computer-aided fire-explosion safety system.

It analyzes the possibilities of constructing generalized models of the interface part of a typical single program system of a computer-aided fire-explosion safety system using the example of an automated workplace for accounting of documents with the use of the methodology of reengineering. Due to the application of this approach, it is possible to evaluate the stability measure of the entire single program system as a whole and its individual parts with the help of certain criteria.

Key words: synthesis of special software, application development methods, reengineering of systems, software metrics, computer-aided fire-explosion safety system, petroleum refinery industries.

References

1. Abrosimov A.A., Topolskii N.G., Fedorov A.V. *Avtomatizirovannye sistemy pozharov-zryvobezopasnosti neftepererabatyvaiushchikh proizvodstv* [Automated systems of fire and explosion safety of oil refineries]. Moscow, Moscow Fire Safety Institute of Internal Affairs of Russia Publ., 1999. 239 p.
2. Oikhman E.G., Popov E.V. *Reinzhiniring biznesa: reinzhiniring organizatsii i informatsionnye tekhnologii* [Reengineering of business: reengineering of organizations and information technology]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 1997. 334 p.
3. Reinventing Enterprise System. <http://www.bolder.com/res01dotsres05.htm>.
4. Vendrov A.M. *Proektirovanie programmnoho obespecheniia ekonomicheskikh informatsionnykh sistem* [The software design of economic information systems]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 2005. 544 p.
5. Izbachkov Iu.S., Petrov V.N. *Informatsionnye sistemy: ucheb. dlia vuzov* [Information systems: proc. for universities]. Saint Petersburg, Piter Publ., 2005. 656 p.
6. Bass L., Klements P., Katsman R. *Arkhitkтура programmnoho obespecheniia na praktike* [Software architecture in practice, Russ. ed.]. Saint Petersburg, Piter Publ., 2006. 574 p.
7. Lefinguell D., Uidrig D. *Printsipy raboty s trebovaniiami k programmnomu obespecheniiu. Unifitsirovannyi podkhod* [Principles of working with software requirements. A unified approach, Russ. ed.]. Moscow, Viliams Publ., 2002. 448 p.