

УДК 004.41

DOI: 10.17587/prin.8.387-395

А.С. Хританков, канд. физ.-мат. наук, доц.,

anton.khritankov@acm.org

Московский физико-технический институт, Москва

Линейки программных продуктов: современное состояние и стандарты

В июне 2017 г. вступил в силу стандарт ГОСТ Р ИСО/МЭК 26555, описывающий процессы разработки линеек программных и программно-аппаратных продуктов. В данной статье дан краткий обзор этого стандарта и освещены текущее состояние в области разработки линеек продуктов в мире, а также основные задачи и направления исследований, приведены примеры применения методов разработки линеек продуктов.

Ключевые слова: индустриальный интернет, интернет вещей (IoT), линейки продуктов, ГОСТ Р ИСО/МЭК 26550, ЛППС

Введение

Современное состояние в области разработки программного обеспечения и программно-аппаратных комплексов определяется переходом к так называемой парадигме «Индустрии 4.0» [1, 2], которая подразумевает гибкость и массовую настраиваемость продуктов под нужды заказчиков и пользователей в соответствии с их требованиями.

Методы и программные средства разработки линеек программных продуктов и систем (ЛППС) позволяют компаниям-разработчикам эффективно создавать и развивать семейства программно-аппаратных комплексов в рамках одной предметной области, используя модельно-ориентированные методы управления повторным использованием между продуктами семейства. Некоторые методы

управления повторным использованием с помощью моделей изложены далее в этой статье.

Используемый далее в контексте статьи термин «продукт» обозначает программный или программно-аппаратный комплекс, который предоставляется на рынке потребителям, как правило, с фирменным обозначением. В данной статье термин «система» употребляется для обозначения программных или программно-аппаратных комплексов в случаях, когда это не приводит к противоречиям.

Принятый в 2016 году и вступающий в действие стандарт ГОСТ Р ИСО/МЭК 26555 [3] описывает основные понятия, процессы организационного и технического управления разработкой линеек продуктов, взаимосвязи с другими процессами жизненного цикла, в том числе – определяемыми стандартами ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207 [4], ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288 [5].

Область разработки линеек продуктов развивается в течение уже более тридцати лет [6,7,8] и ее методы применяются в IT-индустрии, об этом пойдет речь далее. Тем не менее, в отечественных научно-технических журналах практически отсутствуют публикации, посвященные этой теме. В работе [9] проведено сравнение нескольких программных средств, поддерживающих разработку линеек продуктов. В статье [10] представлен краткий обзор методологии продуктовых линеек и фабрик программного обеспечения. В работе [11] авторы рассматривают возможность применения методов моделирования изменчивости и языков представления изменчивости в исходном коде для описания сложных операционных систем, адаптируемых к разным конфигурациям аппаратного обеспечения.

В данной статье предпринята попытка сориентировать читателя в области разработки линеек программных продуктов и систем, а также дать обзор вступающего в действие стандарта ГОСТ Р ИСО/МЭК 26555.

Замечание по терминологии. В стандарте ГОСТ Р ИСО/МЭК 26555 английские термины, по мнению автора, переведены не всегда удачно. Поэтому далее в статье наряду с обозначением термина, который используется в стандарте, будут приведены и другие варианты перевода.

Моделирование изменчивости между продуктами линейки

Укажем области применения и обозначим основные понятия, используемые при разработке линеек продуктов. Рассмотрим несколько программных продуктов, разрабатываемых одной организацией и ориентированных на решение сходных задач в общей для них предметной области. Сходство решаемых задач определяется возможностью выделения общих функциональных частей между программными системами, реализующими эти продукты. Эффективная организация процессов совместной разработки этих систем предполагает повторное использование их общих частей.

Линейкой программных продуктов и систем [6] называют семейство продуктов, обладающих общим, управляемым набором функций (фич), которые удовлетворяют определенные потребности выбранного рынка или имеют собственную миссию, разрабатываются из общего набора базовых активов заранее определенным образом.

При компонентно-ориентированном или сервис-ориентированном подходе к совместной разработке систем и продуктов на их основе решения по выделению и применению повторно используемых частей принимаются в соответствии с архитектурой этих систем и технологическими ограничениями. В линейках программных продуктов решение о том, что будет повторно использовано и в каких системах, принимается в соответствии с предполагаемым применением продуктов, реализуемых этими системами, с помощью модели изменчивости (модели вариабельности – [3]).

Модель изменчивости является результатом анализа предметной области с целью выявления общих частей между продуктами, которые могли бы существовать в этой предметной области. Модель изменчивости может быть выражена в виде *модели черт (фич) продуктов* (feature model), либо в виде *модели альтернатив* (decision model). *Конфигурация продукта* (configuration/variant) явля-

ется результатом выбора из представленных в модели альтернатив или черт. *Базовые активы* (core assets) линейки включают предназначенные для повторного использования общие между продуктами программные модули, сопровождающую продукт и проектную документацию, планы и сценарии тестирования, их реализацию в тестах и другие артефакты и рабочие продукты. *Эталонная архитектура линейки* (reference architecture) определяет общие для всех продуктов линейки решения по созданию систем путем сборки из активов согласно конфигурации, по сопровождению совместно с моделью изменчивости, по использованию продуктов на протяжении их времени жизни (жизненного цикла).

Модель черт [12] обозначает повторно используемые функциональные части или модули системы, отмечает ограничения на совместное включение этих частей в конфигурацию продукта. Современные модели черт позволяют добавлять чертам атрибуты с изменяемыми при выборе отдельной черты значениями (атрибутивные модели черт), а также включать несколько экземпляров черты в конфигурацию продукта (модели черт с кратностью). Пример модели черт приведен на рис. 1.

Модель альтернатив [14] перечисляет решения по выбору одной из представленных альтернатив, которые необходимо принять для составления конфигурации продукта. Модель также включает ограничения на принимаемые решения и зависимости между альтернативами.

Применение продуктовых линеек

Прямым применением линеек программных продуктов и систем является совместная разработка семейств продуктов в рамках одной предметной области. В этом случае конфигурации продуктов существуют одновременно и реализованы в различных системах семейства или линейки. Управление изменчивостью и сходством между продуктами используется для снижения стоимости,

повышения качества и выстраивания процессов разработки новых и совершенствования существующих продуктов.

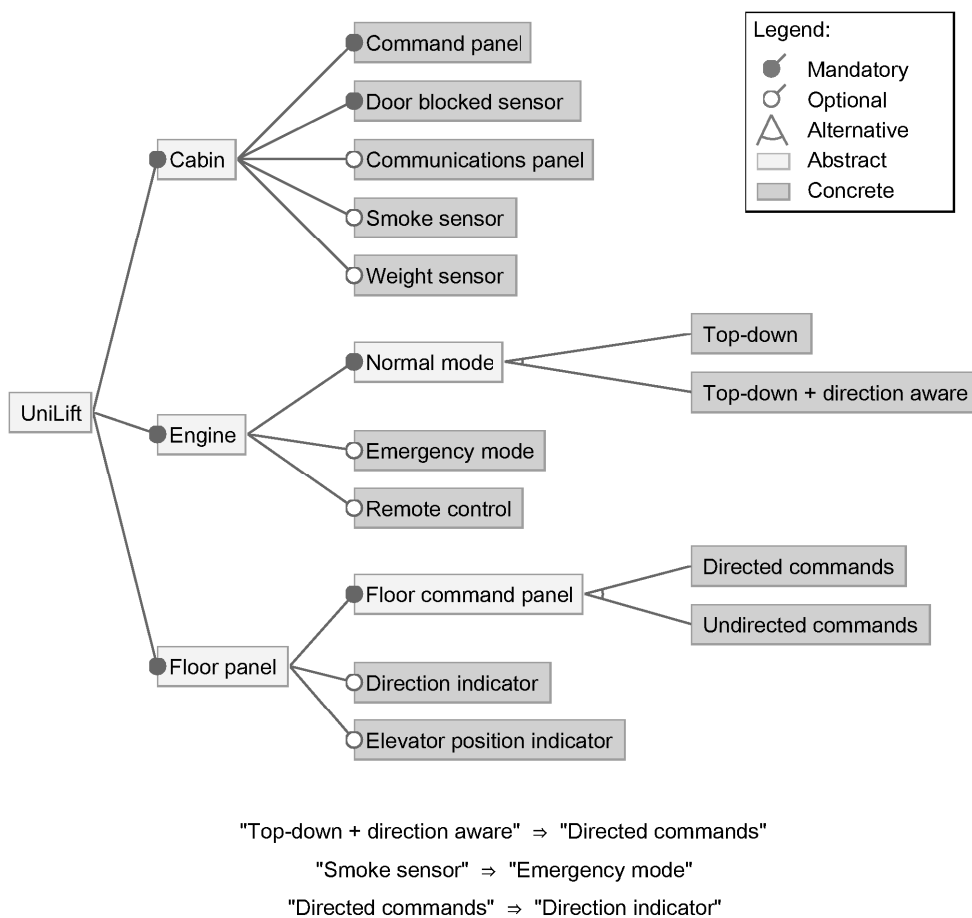


Рис. 1. Иллюстративный пример модели изменчивости для линейки лифтов. Черты обозначены прямоугольниками, логические ограничения показаны линиями с различными окончаниями (adornments). Диаграмма построена с помощью программного средства FeatureIDE [13].

Другое применение линеек программных продуктов – разработка больших программных систем с продолжительным жизненным циклом (совместно со стандартом по системной инженерии ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288). В этом случае конфигурации разделены во времени. Более ранние версии системы рассматриваются как реализации продуктов с определенными конфигурациями. Изменчивость между продуктами используется для управления развитием системы и совместимостью между версиями систем – разными продуктами в линейке.

Во многих случаях линейки программных продуктов применяются для управления конфигурациями, как разделенными во времени, так и одновремен-

но существующими. Такой подход применим для разработки семейств программных систем с продолжительным жизненным циклом [6].

Обзор стандарта продуктовых линеек

Международные стандарты. Следует отметить, что во время написания настоящей статьи разработка серии международных стандартов ISO/IEC 26550-26599 в области линеек программных и программно-аппаратных систем продолжается. На рис. 2 представлена диаграмма взаимосвязей между принятыми и запланированными стандартами в редакции от 2015 года. На настоящее время серия включает следующие опубликованные стандарты:

- ISO/IEC 26550:2015 - определяет эталонную модель для реализации линеек продуктов, устанавливает рамки остальных стандартов серии;
- ISO/IEC 26551:2016 - описывает методы и инструменты разработки и управления требованиями в линейке продуктов;
- ISO/IEC 26555:2015 - определяет методы и инструментальные средства технического управления линейкой продуктов, такие как управление изменчивостью, управление базовыми активами и процессами разработки и управления линейки;
- ISO/IEC 26557:2016 - определяет механизмы реализации изменчивости в линейках продуктов.

На стадии утверждения находятся стандарты по процессам и возможностям методов и программных средств по моделированию изменчивости (ISO/IEC 26558), по поддержанию соответствия в линейках продуктов (ISO/IEC 26559) между моделью изменчивости и базовыми активами.

В процессе разработки стандарты: по архитектурному проектированию для линеек продуктов (ISO/IEC 26552); по реализации базовых активов (приложений) (ISO/IEC 26553); по верификации и проверке применимости (ISO/IEC 26554); по организационному управлению (ISO/IEC 26556); по управлению

продуктами в контексте бизнес-процессов организации-исполнителя (ISO/IEC 26560).



Рис. 2. Эталонная модель линеек программных продуктов и систем согласно ISO/IEC 26550:2015 [15]

Планируется выпуск стандартов по определению готовности организации: к реализации линейки продуктов (ISO/IEC 26561); к процессу перехода к ЛППС (ISO/IEC 26562); к процессу конфигурационного управления активами (ISO/IEC 26563).

Обзор стандарта ГОСТ Р ИСО/МЭК 26555:2016. Стандарт основан на предыдущей версии стандарта ISO/IEC 26555:2013, которая уже заменена более новой версией от 2015 г. Стандарт описывает методы и инструментальные средства технического управления линейками продуктов. Целью разработки этого стандарта является содействие формированию единого понимания процессов, инструментальных средств и методов технического управления в создании и сопровождении линеек продуктов, принятию решений о возможностях этих средств и методов, а также представлению обладающих спецификой для

линейки продуктов процессов и возможностях инструментария и методов технического управления (менеджмента) [3].

Технический менеджмент линейки продуктов (ИСО/МЭК 26555)



Рис. 3. Определяемые стандартом ГОСТ Р ИСО/МЭК 26555:2016 процессы [3]

На рис. 3 приведена схема процессов, определяемых стандартом. Процесс управления изменчивостью (менеджмента variability – [3]) определяет возможные общие и различающиеся черты в продуктах линейки и управляет моделью изменчивости. Этот процесс: обеспечивает создание и внесение изменений в модель изменчивости линейки продуктов с сохранением их совместности с существующими продуктами; определяет способ и время связывания

черт в модели изменчивости с базовыми активами при создании продуктов; управляет документированием модели изменчивости и условий связывания, установлением и поддержанием соответствий (трассировкой – [3]) между чертами и решениями модели изменчивости и базовыми активами для поддержания свойств непротиворечивости. В перечень задач общего для всех процессов линейки процесса принятия решений (менеджмент решения для ЛППС – [3]) входят, в том числе, задачи управления изменениями в модели изменчивости линейки.

Учитывая важность поддержки ретроспективного анализа принимаемых решений по управлению изменчивостью предпочтительным является явное включение обоснований (*rationale*) в процесс управления изменчивостью, как это сделано в стандарте документирования архитектуры ГОСТ Р ИСО/МЭК 42010 [16].

Процесс управления базовыми активами («менеджмент активов» согласно [3]) создает и поддерживает повторно-используемые базовые активы (*core assets*) линейки. Этот процесс включает: идентификацию повторно используемых активов среди артефактов, создаваемых при разработке продуктов; структурирование и адаптацию выделяемых активов для повторного использования, создание базы активов для эффективного поиска отдельных активов; верификацию возможности повторного использования актива; развитие и внесение изменений в базовые активы.

Разделяют два основных подхода к идентификации и формированию базы активов. При *проактивном* (*proactive*) подходе идентификация базового актива производится до его создания, и необходимость его существования вытекает из модели изменчивости. При *ретроактивном* (*reactive*) подходе идентификация активов производится в разработанных продуктах, после чего устанавливаются связи между моделью изменчивости и выделенными базовыми активами.

Процесс управления процессами («менеджмент процессов» согласно терминологии стандарта [3]) определяет специализированные процессы технического управления линейками продуктов. К их числу относят процессы: разработки предметной области («разработки домена» – [3]); разработки продуктов («разработки приложений» – [3]); мониторинга, контроля и совершенствования самих процессов; обеспечения готовности к их реализации. Процессы управления аналогичного характера определены в стандартах ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207 и ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288.

Процессы поддержки управления (менеджмента) обеспечивают выполнения остальных процессов линейки продуктов. Управление качеством процессов линеек продуктов обеспечивает выполнение и контроль выполнения процессов линейки согласно определениям процессов. Процесс управления конфигурацией решает задачи прослеживания изменений базовых активов, процессов и продуктов в линейке. Управление конфигурацией происходит как во времени, когда одна версия актива сменяет предыдущую, так и в пространстве, когда одновременно существуют несколько версий актива в разных продуктах. Процесс управления программными средствами («менеджмент инструментов» – [3]) направлен на повышения производительности линейки продуктов за счет автоматизации процессов управления и разработки. Процесс управления рисками («технического менеджмента рисков» согласно терминологии стандарта [3]) направлен на решение вопросов, связанных с техническими рисками в достижении поставленных перед линейкой продуктов целей. Управление решениями («менеджмент решений» – [3]) определяет порядок подготовки и принятия решений, их выполнения, программной реализации и изменения процессов, сопровождающих создание линейки продуктов.

Стандарт ГОСТ Р ИСО/МЭК 26555:2016 использует предписывающую модель процессов, которые разделены на подпроцессы, а подпроцессы, в свою очередь – на задачи. Применение стандарта требует значительной процессной дисциплины и опыта реализации процессов разработки программных систем.

Такой подход вполне согласуется с тем, что основное применение линейки продуктов в настоящее время находят в отраслях промышленности с повышенными требованиями к нефункциональным показателям качества программного обеспечения.

Анализируя опыт разработки и применения других стандартов в области процессов в программной инженерии (таких как ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207, ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288, CMMI-DEV [17]), развитие стандарта ГОСТ Р ИСО/МЭК 26555:2016 должно предусматривать проведение оценки соответствия организации-разработчика продуктов или ее подразделения требованиям стандарта, например, согласно ISO/IEC 15504 (и замещающему его ISO/IEC 33001 [18]). Предусматривают несколько уровней возможностей (capability) организации, исходя из объема реализованных процессов или моделей стандарта. Данный подход позволяет внедрять стандарт постепенно, оценивать уровень соответствия продукта стандартам и управлять процессом внедрения стандартов на уровне организации. В применении к линейкам продуктов более подробный материал об этом представлен в работе [6].

В настоящей версии стандарта ГОСТ Р ИСО/МЭК 26555:2016 не отражен процесс перехода от разработки продуктов по отдельности к их разработке в рамках линейки. Отсутствие описания этого процесса ограничивает возможность применения стандарта случаями только создаваемых линеек продуктов, в то время как большинство организаций-разработчиков, в которых линейки могли бы найти применение, уже разрабатывают семейства продуктов. Возможно, запланированный стандарт ISO/IEC 26562 будет посвящен процессу перехода к линейкам продуктов.

Кроме того, представляется существенным включение в серию рассматриваемого стандарта, описывающего совместную разработку семейства продуктов согласно модели копирования, частей продуктов (clone-and-own) без объединения в линейку. Совместная разработка таких продуктов без их объедине-

ния может служить промежуточным этапом перед полноценным внедрением линеек продуктов.

Текущее состояние и основные направления

По данным Scopus/SciVal¹ наиболее активная по числу публикаций исследовательская деятельность в области линеек продуктов ведется в Европейском союзе (University Litz, TU Darmstadt, University Magdeburg, University Passau и др.), Бразилии (University Pernambuco, University Namur, University Bahia и др.), США и Канаде (University Waterloo, University Toronto, SEI/CMU), Китае и Южной Корее.

В Европейском союзе было выполнено несколько крупных проектов в области создания линеек продуктов. Результаты проектов PRAISE (1998-2001), ESAPS (1999-2001) и CAFE (2001-2003), FAMILIES (2003-2005), MoSiS (2007-2010), VARIES (2012-2015) были использованы для формулировки основных положений разработки и управления линейками продуктов, для выработки серии стандартов ISO/IEC 26520 (незавершен) и последующих стандартов ISO/IEC 26550:2013 и ISO/IEC 26550:2015 [19].

В то же время работа [20] указывает ряд причин все еще ограниченного распространения линеек продуктов. К их числу относятся отсутствие: четко сформулированных условий применения линеек продуктов в индустрии (бизнес-кейсов); поддержки на уровне высшего руководства компаний и подходящих решений по организационным структурам и процессам.

Результатами проекта REVAMP2 (2016-2019) должны стать интегрированные программные средства и процесс поддержки генерации и обратной разработки (round-trip engineering) линеек программных продуктов и систем с при-

¹ <http://www.scopus.com>, <http://www.scival.com>, получено в июне 2017.

менением моделей (MBSE). При этом именно MBSE становится основным подходом к реализации продуктовых линеек.

Можно выделить следующие современные направления исследований в области линеек продуктов, приведем также характерные публикации по этим направлениям:

- моделирование предметной области и изменчивости продуктов линеек с применением SysML/UML (например, [21, 22]), стандартизированных языков моделирования изменчивости CVL [23] или OVM [24], дельта-моделирование (delta-modeling) [25];
- верификация моделей и продуктов в линейках, тестирование, в том числе с применением формальных методов [26];
- управление изменениями, развитие и совместное развитие моделей изменчивости и продуктов (co-evolution) в линейках [27];
- восстановление (extraction) моделей изменчивости из моделей или исходного кода, и анализ предметных областей [28];
- реализация семейств похожих продуктов без объединения их в линейку [29].

Применение в индустрии и программные средства

Основные области применения продуктовых линеек в производственной сфере – разработка программно-аппаратных комплексов с длительным жизненным циклом, таких как встраиваемые системы и системы с особыми требованиями по безопасности и надежности для аэрокосмической, автомобильной, оборонной, машиностроения и других отраслей.

По данным Scopus из найденных 115 публикаций коммерческих компаний совместно с академическими институтами за 2012-2017 гг. примерно треть приходится на Siemens [30], IBM Research (Haifa Research Center) [29] и ABB Group [31]. Далее следуют ASEL SAN Inc., General Motors, Hitachi, Daimler AG, Aero-

space Corporation, SAP Research, Tata Consultancy Services, Volkswagen AG, Cisco Systems и Lockheed Martin, на которых приходится еще треть публикаций. При этом результаты Cisco по автоматическому тестированию линеек продуктов цитируются существенно выше, чем в среднем по области.

Около двух десятков хорошо документированных случаев успешного применения продуктовых линеек собрано в зале славы продуктовых линеек². Отметим первое использование линеек для разработки систем управления для боевых кораблей от CelsiusTech (в настоящее время часть SAAB), внедрение продуктовых линеек в General Motors для двигателей и приводов, систем управления двигателем Robert Bosch Inc., линейку телекоммуникационных коммутаторов Ericsson AXE, а также реализацию продуктовых линеек медицинского оборудования в Philips.

Среди программных средств, поддерживающих разработку линеек продуктов и распространяемых на коммерческой основе, следует отметить BigLever Gears [32] и pure-systems pure:variants [33]. Оба средства используют модельно-ориентированный подход к управлению изменчивостью, предлагают автоматические средства компоновки готовых продуктов из базовых активов линейки по их конфигурациям, предусматривают средства технического управления линейкой и совместного развития моделей изменчивости и базовых активов.

Свои услуги и решения в области внедрения управления линейками продуктов также предлагают PTC Inc. (CAD, PLM)³, TCS (Software Factories)⁴. Многие компании используют средства собственной разработки или сочетают

² <http://www.splc.net/fame.html>, получено в июне 2017.

³ <http://www.ptc.com>, Integrity Modeler, получено в июне 2017.

⁴ <http://www.tcs.com>, Tata Consultancy Services (TCS) Software Engineering Services, получено в июне 2017.

их с свободно распространяемыми академическими программными средствами, например с FeatureIDE, FeatureHouse и др. [34].

Заключение

Методы и программные средства разработки линеек программных продуктов и систем развиваются уже более тридцати лет. В последнее десятилетие линейки продуктов нашли применения в автомобильной, электротехнической, авиационной и других отраслях промышленности. Индустриальный Интернет, как часть Интернета вещей (IoT), и концепция четвертой индустриализации с индивидуализацией массовых продуктов требуют от организаций ведения разработки одновременно большого числа программных продуктов и систем на протяжении длительного времени.

В данной статье представлено краткое изложение современного состояния области разработки линеек продуктов, которое может быть решением обозначенных задач. Основное направление исследований в этой области смещается от базовых принципов к прикладным аспектам, применению и масштабированию методов. Исследовательские центры сосредоточены в США, Европейском союзе, Бразилии, Китае. Множество крупных компаний проводят апробацию или уже применяют линейки продуктов в производстве.

Вследствие высокой сложности процессов и методов реализации линеек продуктов, наличия нескольких центров развития и необходимости совмещения усилий, возникает необходимость стандартизации в области. Работа над серией стандартов активно ведется в последние несколько лет, по результатам которой, будет создан, вероятно, наиболее объемлющий набор стандартов в области разработки программных продуктов и систем.

Вступивший в действие стандарт ГОСТ Р ИСО/МЭК 26555:2016 описывает процессы технического управления линейками программных продуктов и систем. Ключевыми дополнениями к стандарту, необходимыми для его применения, должны стать аналоги стандарта ISO/IEC 26550:2015 с описанием эталонной модели процессов линеек продуктов и стандартов по управлению тре-

бованиями ISO/IEC 26551:2016 и механизмам реализации изменчивости ISO/IEC 26557:2016.

Список литературы

1. Dhungana D., Falkner F., Haselböck A., Schreiner H. Smart factory product lines: a configuration perspective on smart production ecosystems // In Proceedings of the 19th International Conference on Software Product Line (SPLC '15). – ACM, New York, NY, USA. – 2015. – pp. 201-210.
2. Lasi, H., Fettke, P., Kemper, HG. et al. Industry 4.0 // Business Information Systems Engineering. – 2014, vol. 6. no. 239.
3. ГОСТ Р ИСО/МЭК 26555 – 2016. Инструменты и методы технического менеджмента линейки продуктов. ISO/IEC 26555:2013 Systems and software engineering – Tools and methods for product line technical management.
4. ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010. Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств.
5. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288-2005. Информационная технология. Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем.
6. Linden F. J. van der, Schmid K., Rommes E. Software Product Lines in Action: The Best Industrial Practice in Product Line Engineering. – Springer Science & Business Media. – 2007. – 333 p.
7. Clements P., Northrop L. Software Product Lines: Practices and Patterns. – Addison-Wesley Longman Publishing Co. Inc., Boston, MA, USA. – 2001. – 563 p.
8. Royer J.C., Arboleda H. Model-Driven and Software Product Line Engineering. – Wiley-ISTE. – 2012. – 278 p.
9. Кознов Д. В., Новицкий И. А., Смирнов М. Н. Инструменты для управления вариативностью – готовность к промышленному применению // Труды СПИИРАН. – 2013, выпуск 26. – с. 297–331.

10. Гусс С.В. Разработка семейства программных систем в специфической предметной области.– Математические структуры и моделирование. – 2011, вып. 22. – с. 55-68.
11. Кулямин В.В., Лаврищева Е.М., Мутилин В.С., Петренко А.К. Верификация и анализ вариабельных операционных систем. // Труды ИСП РАН. – 2016, том 28, вып. 3. – с. 189-208.
12. Куо С. К., Sholom G. С., James A. Н., William E. N., Peterson A.S. Feature-Oriented Domain Analysis (FODA) Feasibility Study. CMU Technical Report. – 1990.
13. Pereira J.A., Krieter S., Meinicke J., Schröter R., Saake G., and Leich T. FeatureIDE: Scalable Product Configuration of Variable Systems // In Proceedings of the International Conference on Software Reuse (ICSR). – 2016. – pp 397-400.
14. Czarnecki K., Grünbacher P., Rabiser R., Schmid K., Wąsowski A. Cool features and tough decisions: a comparison of variability modeling approaches // In Proceedings of the Sixth International Workshop on Variability Modeling of Software-Intensive Systems (VaMoS '12). – 2012. – pp. 173-182.
15. Chimalakonda S., Dan H. L. On the Evolution of Software and Systems Product Line Standards // SIGSOFT Softw. Eng. Notes. – 2016. vol. 41, no. 3. – pp. 27-30.
16. ГОСТ Р 57100-2016/ISO/IEC/IEEE 42010:2011 Системная и программная инженерия. Описание архитектуры.
17. CMMI-DEV (Version 1.3, November 2010) // Carnegie Mellon University Software Engineering Institute. 2010.
18. ISO/IEC 33001:2015 Information technology – Process assessment – Concepts and terminology.
19. ISO/IEC 26550:2015. Software and systems engineering – Reference model for product line engineering and management.
20. Metzger A., Pohl K. Software product line engineering and variability management: achievements and challenges // In Proceedings of the on Future of Software Engineering (2014). – 2014. – pp. 70-84.

- 21.Oliveira Junior E. A., Gimenes I. M. S., Maldonado J. C. Systematic Management of Variability in UML-based Software Product Lines // Journal of Universal Computer Science. – 2010. vol. 16(17) – pp. 2374 – 2393.
- 22.Gomaa, H. Designing Software Product Lines with UML: From Use Cases to Pattern-Based Software Architectures. – Addison-Wesley. – 2004. – 701 p.
- 23.Haugen, O., Wąsowski, A., Czarnecki, K. Cvl: Common variability language // Proceedings of the 17th International Software Product Line Conference. – 2013. – pp. 277-277.
- 24.Pohl, K., Böckle, G., van der Linden, F. Software Product Line Engineering: Foundations, Principles, and Techniques. Springer. – 2005. – 467 p.
- 25.Haber, A., Rendel, H., Rumpe, B., Schaefer, I. Delta modeling for software architectures. // Tagungsband - Dagstuhl-Workshop MBEES: Modellbasierte Entwicklung eingebetteter Systeme VII (MBEES 2011). – 2011. – pp. 1-10.
- 26.Benduhn F., Thüm T., Lochau M., Leich T., Saake G. A Survey on Modeling Techniques for Formal Behavioral Verification of Software Product Lines // In Proceedings of the Ninth International Workshop on Variability Modelling of Software-intensive Systems (VaMoS '15). – 2015. – pp. 80-87.
- 27.Laguna M. A., Crespo Y. A systematic mapping study on software product line evolution: From legacy system reengineering to product line refactoring // Sci. Comput. Program. – 2013, vol. 78, no. 8. – pp. 1010-1034.
- 28.Nadi S., Berger T., Kästner C., Czarnecki K. Mining configuration constraints: static analyses and empirical results // In Proceedings of the 36th International Conference on Software Engineering (ICSE 2014). – 2014. – pp. 140-151.
- 29.Dubinsky Y., Rubin J., Berger T., Duszynski S., Becker M., Czarnecki K. An Exploratory Study of Cloning in Industrial Software Product Lines // In Proceedings of the 17th European Conference on Software Maintenance and Reengineering. – 2013. – pp. 25–34.
- 30.Fang, M., Leyh, G., Doerr, J. et al. Multi-variability modeling and realization for software derivation in industrial automation management. // In Proceedings – 19th

ACM/IEEE International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems (MODELS 2016). – 2016. – pp. 2-12.

31. Koziolok, H., Goldschmidt, T., De Gooijer, T. et al. Experiences from identifying software reuse opportunities by domain analysis // ACM International Conference Proceeding Series. – 2013. – pp. 208-217.
32. Krueger C., Clements P. Systems and Software Product Line Engineering with Gears from BigLever Software // In Proceedings of the 18th International Software Product Line Conference: Companion Volume for Workshops, Demonstrations and Tools – 2014, vol. 2. – pp. 121-124.
33. Beuche D. Using Pure: Variants Across the Product Line Lifecycle // In Proceedings of the 20th International Systems and Software Product Line Conference. – 2016. – pp. 333-336.
34. Bashroush R., Garba M., Rabiser R., Groher I., Botterweck G. CASE Tool Support for Variability Management in Software Product Lines // ACM Comput. Surv. – 2017, vol. 50, no. 1, article 14. – 45 p.

Product Line Engineering: standards and state-of-practice

A.S. Khritankov, anton.khritankov@acm.org, Moscow institute of physics and technology, Moscow, Russian Federation.

Email: anton.khritankov@acm.org

Extended abstract

A recent version of the ISO/IEC 26555 standard comes into force as a national standard in Russia in June 2017. The standard describes technical management processes for systems and software product lines. In this paper, we review the standard and the current state of research and industrial practice in the field.

Mass product customization in Industry 4.0, Industrial Internet (IoT), ubiquitous computing are major pillars in the Horizon 2020 programme of the EC. And this means there is need for a lot of customizable software systems. Software product lines may be the key.

While a popular topic worldwide, SPLE has missed attention in Russian Federation with only a few papers on the topic. Thus we briefly introduce main concepts of the SPLE such as product line, variability model, strategic reuse, reference architecture, feature and decision models, product configuration. Then we provide an example feature model built with FeatureIDE.

Applications of PLE include shared development of a family of products each targeting a specific market segment, development of a large evolving cyber-physical system with several versions delivered over time and a combination of both.

International standardization process started with a failed attempt of ISO/IEC 26520 series and continued with a more successful ISO/IEC 26550-26564 standards, some of which is still under development. Russian national standardization committee adopted the SPL technical management ISO/IEC 26555:2013 as national standard in 2016, omitting other published standards in the series.

Extensions and additions to the standard should consider tracking rationale for the changes being introduced to the SPL configuration and variability model in particular. Another shortcoming is absence of a model for gradual introduction of the standard (e.g. capability or level-based). Process capability assessment may be governed by ISO/IEC 33001, but this option is not mentioned in the standard.

Current research centers in SPLE are Univ. Litz, TU Darmstadt, Univ. Magdeburg, Univ. Passau and other in EU; Univ. Pernambuco, Univ. Namur, Univ. Bahia and other in Brazil; Univ. Waterloo, Univ. Toronto, SEI/CMU in US and Canada, several universities in China and South Korea. EU also runs a series of projects uniting re-

search universities and commercial companies to help spread fresh developments in PLE, such as FAMILIES, VARIES and current REVAMP2 (2016-2019).

Major research directions are variability modeling and languages (with and without UML/SysML), verification and traceability, variability model extraction, concurrent evolution of variability models and assets, transition to clone-and-own and PLE, and, notably, model-based software engineering (MBSE) for SPLE.

Notable industrial users of SPLE are Siemens, Philips, General Motors, ABB Group with others following, including Thales and SAAB (through Celsius Tech).

Although PLE may be the next (old) big thing in software development to support mass customization through strategic reuse, it requires a considerable upfront investment and strong process discipline. Currently developed standards and available tools may help practitioners and tool vendors lower this investment to a level, manageable by small and mid companies.

Keywords: *Internet of Things (IoT), PLE, product lines, ISO/IEC 26550, strategic reuse*

For citation:

Khritankov A.S. Product Line Engineering: standards and state-of-practice, *Programnaya Ingeneria*, 2017, no, 9, pp. 387–395

DOI: 10.17587/prin.8.387-395

References

1. **Dhungana D., Falkner F., Haselböck A., Schreiner H.** Smart factory product lines: a configuration perspective on smart production ecosystems, in *Proceedings of the 19th International Conference on Software Product Line (SPLC '15)*. – ACM, New York, NY, USA. – 2015. – pp. 201-210.
2. **Lasi, H., Fettke, P., Kemper, HG. et al.** Industry 4.0, *Business Information Systems Engineering*. – 2014, vol. 6. no. 239.
3. GOST R ISO/MJeK 26555 – 2016. Instrumenty i metody tehnicheskogo menedzhmenta linejki produktov. ISO/IEC 26555:2013 Systems and software engineering – Tools and methods for product line technical management.

4. GOST R ISO/MJeK 12207-2010. Informacionnaja tehnologija. Sistemnaja i programnaja inzhenerija. Processy zhiznennogo cikla programmnyh sredstv. ISO/IEC 12207 Systems and software engineering – Software life cycle processes. https://en.wikipedia.org/wiki/ISO/IEC_12207_-_cite_note-1
5. GOST R ISO/MJeK 15288-2005. Informacionnaja tehnologija. Sistemnaja inzhenerija. Processy zhiznennogo cikla sistem. ISO/IEC/IEEE 15288:2015 – Systems and software engineering – System life cycle processes.
6. **Linden F. J. van der, Schmid K., Rommes E.** Software Product Lines in Action: The Best Industrial Practice in Product Line Engineering. – Springer Science & Business Media. – 2007. – 333 p.
7. **Clements P., Northrop L.** Software Product Lines: Practices and Patterns. – Addison-Wesley Longman Publishing Co. Inc., Boston, MA, USA. – 2001. – 563 p.
8. **Royer J.C., Arboleda H.** Model-Driven and Software Product Line Engineering. – Wiley-ISTE. – 2012. – 278 p.
9. **Koznov D. V., Novickij I. A., Smirnov M. N.** Instrumenty dlja upravlenija variativnost'ju – gotovnost' k promyshlennomu primeneniju (Tools for managing variability – readiness for industrial applications), *Trudy SPIIRAN*. – 2013, no. 26. – pp. 297–331. (In Russian)
10. **Guss S.V.** Razrabotka semejstva programmnyh sistem v specificheskoj predmetnoj oblasti (Development of software system families in specific problem domain), *Matematicheskie struktury i modelirovanie*. – 2011, no. 22. – pp. 55-68. (In Russian)
11. **Kuljamin V.V., Lavrishheva E.M., Mutilin V.S., Petrenko A.K.** Verifikacija i analiz variabel'nyh operacionnyh sistem (Verification and analysis of variability of operating systems), *Trudy ISP RAN*. – 2016, vol. 28, no. 3. – pp. 189-208.
12. **Kyo C. K., Sholom G. C., James A. H., William E. N., Peterson A.S.** Feature-Oriented Domain Analysis (FODA) Feasibility Study. *CMU Technical Report*. – 1990.

13. **Pereira J.A., Krieter S., Meinicke J., Schröter R., Saake G., and Leich T.** FeatureIDE: Scalable Product Configuration of Variable Systems, in *Proceedings of the International Conference on Software Reuse (ICSR)*, 2016. – pp 397-400.
14. **Czarnecki K., Grünbacher P., Rabiser R., Schmid K., Wąsowski A.** Cool features and tough decisions: a comparison of variability modeling approaches, in *Proceedings of the Sixth International Workshop on Variability Modeling of Software-Intensive Systems (VaMoS '12)*. – 2012. – pp. 173-182.
15. **Chimalakonda S., Dan H. L.** On the Evolution of Software and Systems Product Line Standards, *SIGSOFT Softw. Eng. Notes*. – 2016. vol. 41, no. 3. – pp. 27-30.
16. GOST R 57100-2016/ISO/IEC/IEEE 42010:2011 Systemnaja i programnaja inzhenerija. Opisanie arhitektury. ISO/IEC/IEEE 42010 Systems and software engineering — Architecture description.
17. CMMI-DEV (Version 1.3, November 2010), Carnegie Mellon University Software Engineering Institute. 2010.
18. ISO/IEC 33001:2015 Information technology – Process assessment – Concepts and terminology.
19. ISO/IEC 26550:2015. Software and systems engineering – Reference model for product line engineering and management.
20. **Metzger A., Pohl K.** Software product line engineering and variability management: achievements and challenges, in *Proceedings of the on Future of Software Engineering (2014)*. – 2014. – pp. 70-84.
21. **Oliveira Junior E. A., Gimenes I. M. S., Maldonado J. C.** Systematic Management of Variability in UML-based Software Product Lines, *Journal of Universal Computer Science*. – 2010. vol. 16(17) – pp. 2374 – 2393.
22. **Gomaa, H.** Designing Software Product Lines with UML: From Use Cases to Pattern-Based Software Architectures. – Addison-Wesley. – 2004. – 701 p.
23. **Haugen, O., Wąsowski, A., Czarnecki, K.** Cvl: Common variability language, in *Proceedings of the 17th International Software Product Line Conference*. – 2013. – pp. 277-277

24. **Pohl, K., Böckle, G., van der Linden, F.** Software Product Line Engineering: Foundations, Principles, and Techniques. – Springer. – 2005. – 467 p.
25. **Haber, A., Rendel, H., Rumpe, B., Schaefer, I.** Delta modeling for software architectures., *Tagungsband - Dagstuhl-Workshop MBEES: Modellbasierte Entwicklung eingebetteter Systeme VII (MBEES 2011)*. – 2011. – pp. 1-10.
26. **Benduhn F., Thüm T., Lochau M., Leich T., Saake G.** A Survey on Modeling Techniques for Formal Behavioral Verification of Software Product Lines, in *Proceedings of the Ninth International Workshop on Variability Modeling of Software-intensive Systems (VaMoS '15)*. – 2015. – pp. 80-87.
27. **Laguna M. A., Crespo Y.** A systematic mapping study on software product line evolution: From legacy system reengineering to product line refactoring, *Sci. Comput. Program.* – 2013, vol. 78, no. 8. – pp. 1010-1034.
28. **Nadi S., Berger T., Kästner C., Czarnecki K.** Mining configuration constraints: static analyses and empirical results, in *Proceedings of the 36th International Conference on Software Engineering (ICSE 2014)*. – 2014. – pp. 140-151.
29. **Dubinsky Y., Rubin J., Berger T., Duszynski S., Becker M., Czarnecki K.,** An Exploratory Study of Cloning in Industrial Software Product Lines, in *Proceedings of the 17th European Conference on Software Maintenance and Reengineering*. – 2013. – pp. 25–34.
30. **Fang, M., Leyh, G., Doerr, J. et al.** Multi-variability modeling and realization for software derivation in industrial automation management, in *Proceedings - 19th ACM/IEEE International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems (MODELS 2016)*. – 2016. – pp. 2-12
31. **Koziolek, H., Goldschmidt, T., De Gooijer, T. et al.** Experiences from identifying software reuse opportunities by domain analysis, *ACM International Conference Proceeding Series*. – 2013. – pp. 208-217.
32. **Krueger C., Clements P.** Systems and Software Product Line Engineering with Gears from BigLever Software, In *Proceedings of the 18th International Software Product Line Conference: Companion Volume for Workshops, Demonstrations and Tools*. – 2014, vol. 2. – pp. 121-124.

33. **Beuche D.** Using Pure: Variants Across the Product Line Lifecycle, In *Proceedings of the 20th International Systems and Software Product Line Conference.* – 2016. – pp. 333-336.
34. **Bashroush R., Garba M., Rabiser R., Groher I., Botterweck G.** CASE Tool Support for Variability Management in Software Product Lines, *ACM Comput. Surv.* – 2017, vol. 50, no. 1, article 14. – 45 p.