

# МОДЕЛЬ СИСТЕМНОЙ ДИНАМИКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ERP-СИСТЕМ

**О.И. Дранко**

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН*  
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65  
E-mail: olegdranko@gmail.com

**А.Ф. Резчиков**

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН*  
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65  
E-mail: rvcy@mail.ru

**В.А. Кушников**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Федеральный исследовательский центр «Саратовский научный центр  
Российской академии наук»*  
Россия, 410028, Саратов, Рабочая ул., 24  
E-mail: kushnikoff@yandex.ru

**А.С. Богомолов**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Федеральный исследовательский центр «Саратовский научный центр  
Российской академии наук»*  
Россия, 410028, Саратов, Рабочая ул., 24  
E-mail: alexbogomolov@yandex.ru

**А.Д. Селютин**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Федеральный исследовательский центр «Саратовский научный центр  
Российской академии наук»*  
Россия, 410028, Саратов, Рабочая ул., 24  
E-mail: aseliutin@ya99.ru

**Ключевые слова:** ERP-системы, системная динамика, ISO 25010, AnyLogic, качество программного обеспечения, нечеткая логика.

**Аннотация:** В данной статье представлен комплексный анализ качества ERP-систем с использованием системно-динамического подхода. Была разработана модель, основанная на параметрах качества, определенных в стандарте ISO 25010. Модель включает в себя как количественные, так и качественные параметры. Для сбора статистики и построения модели использовался аппарат нечеткой логики. В рамках исследования был проведен вычислительный эксперимент на open-source ERP-системе Odoo. В рамках эксперимента возникла критическая ситуация по необеспечению надежности в рамках разработки. После переконфигурации вектора начальных значений критических комбинаций на всем интервале времени не возникло. Результаты эксперимента подтвердили эффективность предложенного подхода и позволили выявить особенности качества данной системы. В заключение, предложенный подход способствует повышению эффективности ERP-систем и улучшению управления бизнес-процессами, что является важным для компаний, стремящихся оптимизировать свои операции, увеличить прибыльность и достичь большей конкурентоспособности.

# 1. Введение

В современном обществе, где динамичные бизнес-процессы и сложные структуры предприятий стали неотъемлемой частью средних и крупных компаний, эффективное управление ресурсами и информацией становится принципиальным фактором успешного функционирования корпораций. В этом контексте, системы планирования ресурсов предприятия (ERP) предоставляют комплексный инструмент для учета, анализа и управления функциональными областями предприятия [1-5].

Однако, несмотря на широкое распространение ERP-систем, необходимо подчеркнуть, что качество их функционирования становится фактором, имеющим критическое значение для организаций. Недостаточное внимание к обеспечению высокого уровня качества ERP-систем может привести к финансовым потерям. В условиях, где точность, надежность и актуальность информации играют важную роль в принятии стратегических решений, недостатки в функционировании ERP-систем могут повлечь за собой не только операционные сбои, но и серьезные убытки. В данной статье проводится анализ качества ERP-систем с использованием системно-динамического подхода, основанный на структуре этих систем, а также выявляются ключевые аспекты качества, подлежащие оценке и управлению со стороны лиц, принимающих решения.

## 2. Методы и материалы

### 2.1. Сравнительный анализ

Проведен сравнительный анализ исследований, касающихся анализа качества ERP-систем:

Исследование [6] использует нейросетевую модель для анализа качества ERP-систем, фокусируясь на предсказании производительности и стабильности. Однако, недостатком этого исследования является ограниченная учетная запись факторов, влияющих на качество, что затрудняет репродуцируемость результатов.

Работа [7] основана на статистическом анализе данных, оценивая влияние различных переменных на уровень удовлетворенности пользователя ERP-системой. Недостатком является ограниченная генерализуемость результатов из-за использования ограниченной выборки предприятий.

Таким образом, для полноценного анализа качества ERP-систем необходимо учесть множество аспектов, включая технические, организационные и человеческие факторы. Критической важностью является всесторонний подход к моделированию, включая учет взаимодействия между бизнес-процессами и технологическими аспектами. В данной работе применяется системно-динамический подход для анализа качества ERP-систем, поскольку он обеспечивает рассмотрение взаимосвязи разных факторов.

### 2.2. Постановка задачи

Сформулируем задачу управления качеством ERP-систем. Для эффективной эксплуатации ERP-системы необходимо разработать модели, которые на временном интервале  $t \in [t_0; t_n]$  определяют управляющие воздействия  $p(t) \in P$ , минимизирующие функцию:

$$(1) \quad Z(t, p(t), q(t)) = \int_{t_0}^{t_n} \sum_{i=1}^m (L_i^* - L_i(t, p(t), q(t)))^2 \eta_i dt,$$

при ограничениях

$$(2) \quad \frac{dL_i(t, p(t), q(t))}{dt} = f(t, q(t), L_1(t, p(t)), \dots, L_m(t, p(t))), i = \overline{1, m},$$

$$t > 0, L_i(t, p(t)) > 0,$$

где  $L_i^*$  – рекомендуемые (начальные) значения характеристик качества ПО,  $L_i(t, p(t), q(t))$ ,  $i = \overline{1, m}$  – метрики качества ПО,  $\eta_i$  – весовой коэффициент  $i$ -ой характеристики,  $q(t)$  – вектор показателей внешней среды. Управляющие воздействия  $p(t)$  определяются в виде планов мероприятий, направленных на устранение последствий.

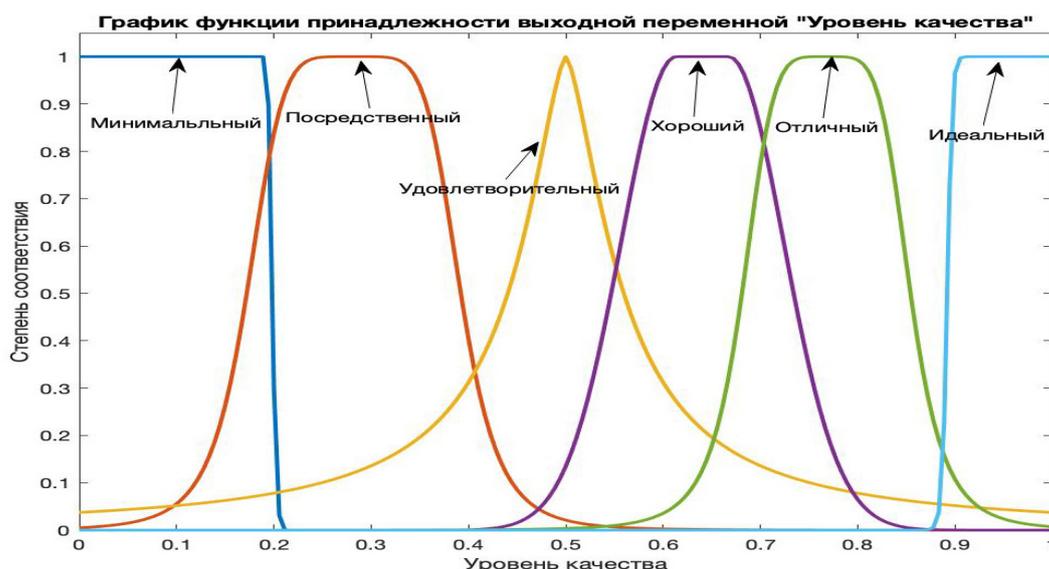
Задача (2) относится к задачам вариационного исчисления, связанным с условным экстремумом. Решение данной задачи с использованием традиционных методов вариационного исчисления имеет свои трудности. Целесообразно использовать аппарат системной динамики для описания процессов изменения качества ERP-систем. В соответствии с методологией, моделируемый объект описывается посредством системы нелинейных дифференциальных уравнений.

$$(3) \quad \frac{dL_i(t, p(t), q(t))}{dt} = f_i^+(F_1, F_2, \dots, F_m) - f_i^-(F_1, F_2, \dots, F_m), i = \overline{1, m},$$

где  $f_i^+, f_i^-, i = \overline{1, m}$  – темпы изменения, определяющие положительное и отрицательное изменение значения системной переменной  $L_i(t, p(t), q(t))$ ,  $i = \overline{1, m}$ .  $f_i^+, f_i^-, i = \overline{1, m}$  – функции от факторов  $F_j$ .

### 3. Математическая модель

При разработке математической модели для оценки качества ERP-систем было выбрано сечение из 21 параметра качества программного обеспечения из стандарта ISO 25010. Также было выбрано 5 возмущений, влияющих на функционирование ERP-системы. Данные переменные и возмущения описаны в [8]. Для сбора данных о качестве ERP-систем была разработана и использована модель нечеткой логики, график функции принадлежности выходной переменной которой представлен на рис. 1.



**Рис. 1.** График функции принадлежности выходной переменной «Уровень качества» модели нечеткой логики.

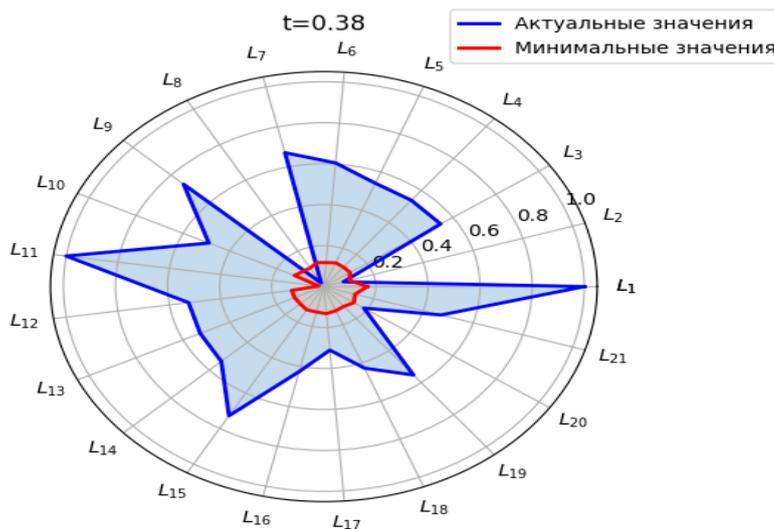
Далее был разработан граф причинно-следственных связей [9]. На основе графа и собранной статистики были построены уравнения регрессии между ребрами графа [10]. После этого составлена система дифференциальных уравнений в нормальной форме Коши в частном виде:

$$(4) \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{dL_1}{dt} = \frac{1}{L_1^*} (((5,0441(L_2(t))^2 - 5,4411(L_2(t)) + 1,7574) \\ \quad * (6,4124(L_3(t))^2 - 5,9811(L_3(t)) + 1,3994) \\ \quad * (-543,06(L_{13}(t))^3 + 1523(L_{13}(t))^2 - 1418(L_{13}(t)) + 439,07) \\ \quad * (-7,8366(L_{14}(t))^3 + 15,855(L_{14}(t))^2 - 9,1663(L_{14}(t)) + 2,0469) \\ \quad * (7,9951(L_{15}(t))^4 - 9,3355(L_{15}(t))^3 - 0,162(L_{15}(t))^2 + 2,1404(L_{15}(t)) + 0,52) \\ \quad * (-0,8791(L_{21}(t))^2 + 1,0984(L_{21}(t)) + 0,5591)) - (1,3015(t) - 1,82)) \\ \quad \vdots \\ \frac{dL_{21}}{dt} = \frac{1}{L_{21}^*} ((L_{15}(t) * L_{16}(t) * L_{17}(t) * L_{18}(t) * L_{19}(t) * L_{20}(t) * (0,25(t)^2)) + (1,15(t) \\ \quad - 1,8)) - (L_4(t) * L_6(t) * L_{10}(t) * L_{11}(t) * L_{12}(t) * L_{13}(t) * L_{14}(t) * (2,35(t) + 4,3) \\ \quad + (0,152 * \exp(2,32 * (t)))))) \end{array} \right.$$

На основе разработанной математической модели была реализована системно-динамическая модель в программной среде AnyLogic.

### 3.1. Вычислительный эксперимент

Был проведен вычислительный эксперимент для разрабатываемого модуля учета сотрудника open-source ERP-системы Odoo. При начальном векторе значений  $L_0 = [0,5; 0,3; 0,8; 0,4; 0,6; 0,7; 0,9; 0,9; 0,5; 0,3; 0,4; 0,5; 0,3; 0,4; 0,7; 0,8; 0,9; 0,3; 0,4; 0,5; 0,5]$  было обнаружено, что в момент времени  $t = 0,38$  не обеспечивается надлежащий уровень качества программного обеспечения для параметра  $L_8$  (надежность) из-за высоких изначальных требований к правильности ( $L_3$ ) и стабильности ( $L_7$ ) кода.



**Рис. 2.** Критическая ситуация необеспечения надлежащего уровня качества ERP-системы в момент времени.

На основе данной критической ситуации были сформированы правила продукции для исправления ситуации и ее переконфигурации (был переопределен вектор начальных значений). С учетом изменений в следующем эксперименте не возникло критических ситуаций.

## 4. Заключение

Была разработана системно-динамическая модель, основанная на аппарате системной динамики, для оценки и управления рисками, связанными с функционированием ERP-систем. Использование модели, реализованной в программном комплексе AnyLogic, позволяет проводить симуляции и эксперименты, что способствует более точному анализу качества ERP-систем.

Разработанная системно-динамическая модель может быть полезна для широкого круга лиц, включая разработчиков ERP-систем, менеджеров проектов, аналитиков, специалистов по управлению рисками и других заинтересованных сторон. Она позволяет проводить симуляции и эксперименты для более точного анализа качества ERP-систем, оценки и управления рисками, а также принятия обоснованных решений. Результаты моделирования могут помочь в определении оптимальных стратегий разработки, внедрения и эксплуатации ERP-систем, а также в улучшении их функционирования и производительности.

## Список литературы

1. Резчиков А.Ф., Кушников В.А., Богомолов А.С., и др. Математические модели и методы анализа выполнимости планов управления сложными системами в условиях критических комбинаций событий. Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, 2023. 128 с.
2. Селютин А.Д. Анализ качества ERP-систем с открытым исходным кодом с использованием модели нечеткого вывода // Материалы XIX Международной научно-практической конференции. Саратов, 13-14 апреля 2023 года. Саратов: ИЦ «Наука», 2023. С. 654-664.
3. Rezhnikov A.F., Selyutin A.D., Bogomolov A.S., Kushnikov O.E. Development of a Predictive Multilayer Perceptron for Quality Analysis of an ERP Systems // 16th International Conference Management of large-scale system development (MLSD). Moscow. Russian Federation. 2023.
4. Хамутова М.В., Кушников В.А. Математическая модель прогнозирования последствий наводнений // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2016. № 3. С. 109-114.
5. Серов Е.И. Проблема обновления ERP-систем на примере SAP ERP // Труды Семнадцатой международной научной конференции. Москва. 22–23 апреля 2016 года. М.: Российский новый университет, 2016. С. 329-332.
6. Артамонова Т.Е., Овсянникова А.В., Воробьева А.В., Попович А.Э. ERP-системы. Эффективность и проблематика внедрения ERP-систем // Естественные и технические науки. 2016. № 4 (94). С. 173-174.
7. Бельмас С.М. Разработка и внедрение ERP-систем // Шумпетеровские чтения. 2018. Т. 1. С. 48-60.
8. Одинцова М.А. Возможности систем класса ERP для стратегического управления предприятием // Политика, экономика и инновации. 2020. № 4(33). С. 7.
9. Петров В.Ю. Рынок ERP-систем на примере управления цепями поставок // Европейский журнал социальных наук. 2018. № 3. С. 29-37.
10. Уразаков Д.А., Беляева А.С. ERP системы в бизнесе // Российский электронный научный журнал. 2023. № 2 (48). С. 493-501.