

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**



ИНФОРМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА

4 (38)

Донецк – 2024

УДК 004.3+004.9+004.2+51.7+519.6+519.7

**ИНФОРМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА, № 4 (38), 2024,
Донецк, ДонНТУ.**

Выпуск подготовлен по материалам V Международной научно-практической конференции «Программная инженерия: методы и технологии разработки информационно-вычислительных систем» (ПИИВС - 2024), проведенной 28–29 ноября 2024 г., а также результатам текущей научно-технической деятельности аспирантов, соискателей и научных работников молодежной лаборатории искусственного интеллекта ДонНТУ.

Материалы предназначены для специалистов народного хозяйства, ученых, преподавателей, аспирантов и студентов высших учебных заведений.

Редакционная коллегия

Главный редактор: Павлыш В. Н., д.т.н., проф.

Зам. глав. ред.: Мальчева Р. В., к.т.н., доц.

Ответственный секретарь: Лёвкина А. И.

Члены редакционной коллегии: Аверин Г. В., д.т.н., проф.; Аноприенко А. Я., к.т.н., проф.; Звягинцева А. В., д.т.н., доц.; Зори С. А., д.т.н., доц.; Карабчевский В. В., к.т.н., доц.; Криводубский О. А., д.т.н., доц.; Привалов М. В., к.т.н., доц.; Скобцов Ю. А., д.т.н., проф.; Сторожев С. В., д.т.н., доц.; Улитин Г. М., д.ф-м.н., проф.; Федяев О. И., к.т.н., доц.; Шевцов Д. В., д.т.н., доц.; Шелепов В. Ю., д.ф-м.н., проф.

Рекомендовано к печати ученым советом ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет» Министерства науки и высшего образования РФ. Протокол № 9 от 20 декабря 2024 г.

Свидетельство о регистрации СМИ: серия ААА № 000145 от 20.06.2017.

Приказ МОН ДНР № 135 от 01.02.2019 о включении в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК ДНР.

Контактный адрес редакции

РФ, ДНР, 283001, г. Донецк, ул. Артема, 58, ФГБОУ ВО «ДонНТУ»,
4-й учебный корпус, к. 36., ул. Кобозева, 17.

Тел.: +7 (856) 301-07-35, +7 (949) 334-89-11

Эл. почта: infcyb.donntu@yandex.ru

Интернет: <http://infcyb.donntu.ru>

СОДЕРЖАНИЕ

Информатика и вычислительная техника

Оптимизация производительности рендеринга в игровых движках с помощью технологии OpenCL <i>Хомичук Н. В., Зори С. А.</i>	5
Технологии и программное обеспечение извлечения и анализа данных из открытых источников для сейсмического мониторинга территории <i>Федоров С. О., Великий В. А., Пимонов А. Г.</i>	12
Анализ процесса цифровизации предприятий <i>Боднар А. В., Пешикова Н. Э.</i>	20
О формировании идеальных законов движения рабочих органов вибрационных транспортирующих машин путём реализации супергармонических резонансов <i>Беловодский В.Н., Букин С.Л.</i>	27
Метод представления структур через НЕ-факторы как инструмент задания конечных элементов <i>Чернышов Д. Н., Григорьев А. В.</i>	32
Виды потоков в организации <i>Криводубский О. А., Боровиков А. И.</i>	39
Интеграция технологии блокчейна для повышения прозрачности и безопасности данных в CRM-системах <i>Алымов Д. А., Боднар А. В, Нестеренко А. Р.</i>	46
Автоматизированное тестирование знаний в области HDL- и FPGA-технологий проектирования компьютерных систем <i>Зинченко Ю. Е., Зинченко Т. А.</i>	55
<u>Об авторах</u>	65
<u>Требования к статьям, направляемым в редакцию научного журнала «Информатика и кибернетика»</u>	67

Информатика и вычислительная техника

УДК 004.415+794.8

Оптимизация производительности рендеринга в игровых движках с помощью технологии OpenCL

Н. В. Хомичук^{*1}, С. А. Зори^{*2}

^{*1} магистрант, Донецкий национальный технический университет,
kristoll1995@gmail.com

^{*2} зав. каф. ПИ, д.т.н., доцент, Донецкий национальный технический университет,
ik.ivt.rec@mail.ru, OrcID: 0000-0003-4018-234X, SPIN-код: 3565-6330

Аннотация:

В статье анализируются возможности OpenCL для оптимизации рендеринга в видеоиграх. Особое внимание уделяется демонстрации собственного разработанного алгоритма на базе Cascaded Shadow Maps, реализованному с помощью OpenCL. Проведенный анализ показывает возможность значительного повышения производительности и качества изображения при рендеринге теней, что открывает новые перспективы для создания более реалистичных и производительных игр. В дальнейших исследованиях планируется продолжить разработку прототипа и дальнейшее усовершенствование алгоритмов рендеринга с использованием OpenCL.

Введение

В контексте современных видеоигр, где реалистичная графика и плавный геймплей являются ключевыми факторами успеха, оптимизация процесса рендеринга приобретает первостепенное значение. Рендеринг, преобразующий виртуальный мир в визуальное представление для игрока, традиционно выполняется на графических процессорах (GPU) благодаря их высокой параллельной вычислительной мощности [1]. Однако, для достижения максимальной производительности и качества изображения, необходимы эффективные методы оптимизации, учитывающие специфику архитектуры GPU.

Технология OpenCL (Open Computing Language) [2] предоставляет разработчикам инструменты для непосредственного управления вычислительными ресурсами GPU, что позволяет создавать алгоритмы рендеринга, адаптированные к конкретным аппаратным характеристикам и способные максимально использовать потенциал GPU. Актуальность исследования обусловлена постоянным ростом требований к производительности и визуальному качеству современных видеоигр.

Целью работы является разработка и комплексная оценка методик оптимизации рендеринга с использованием OpenCL, направленных на повышение производительности игровых движков, таких как Unity и Unreal Engine 5.

Задачи работы:

- провести изучение теоретических основ и практических аспектов применения OpenCL в контексте рендеринга;

- выявить ключевые проблемы и ограничения, связанные с оптимизацией рендеринга с помощью OpenCL;

- провести анализ методик оптимизации, направленных на повышение производительности рендеринга, учитывая особенности OpenCL;

- проанализировать существующие подходы к оптимизации рендеринга, с целью выявления перспективных направлений для дальнейших исследований;

- определить наиболее эффективные методы оптимизации алгоритмов рендеринга, с целью выбора оптимального алгоритма для разработки модернизированного прототипа;

- провести прогнозирование внедрения разработанного прототипа с алгоритмом рендеринга, с использованием OpenCL, с целью оценки его влияния на производительность игровых движков.

Архитектура и ключевые возможности OpenCL

Архитектура OpenCL или модель программирования OpenCL основана на взаимодействии хост-устройства, поддерживаемого API приложения, и нескольких устройств, подключенных через шину. Они программируются с помощью языка OpenCL C. Хост-API делится на платформы и среды выполнения. OpenCL C — это C-подобный язык с расширениями для параллельного программирования, такими как операции ограждения памяти и барьеры. Модель проиллюстрирована очередями команд, чтением/записью данных и выполнением ядер для определенных устройств [3] (см. рис. 1).

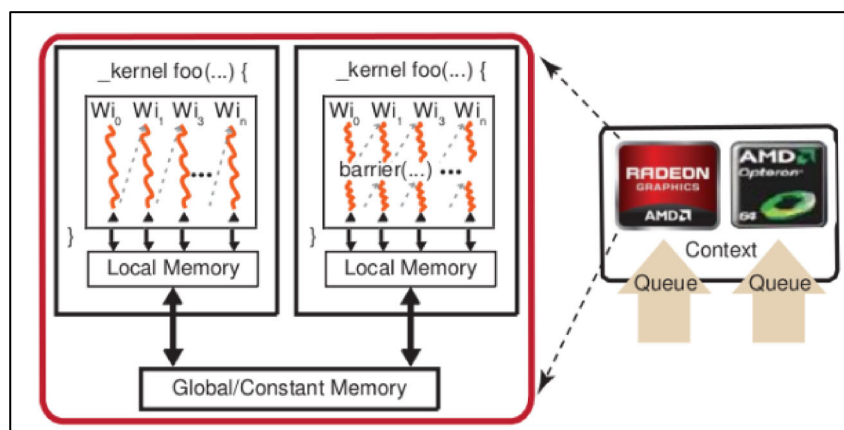


Рисунок 1 - Архитектура OpenCL

Ключевыми возможностями OpenCL, важными для рендеринга, являются эффективное использование высокой параллельной вычислительной мощности GPU, гибкость в управлении памятью GPU, оптимизирующая передачу данных, и поддержка широкого спектра платформ и устройств, что делает OpenCL универсальным инструментом. В видеоиграх используется широкий спектр алгоритмов рендеринга для создания реалистичной графики. Одним из наиболее распространенных является растровая графика, основанная на рисовании пикселей на экране. Для создания реалистичных теней от объектов применяется теневое отображение, которое широко используется в современных играх.

Анализ проблем и ограничений OpenCL в контексте рендеринга

Несмотря на значительный потенциал OpenCL в оптимизации рендеринга, существуют определенные проблемы и ограничения, которые необходимо учитывать при разработке и внедрении решений [3]. Разработка кода может быть более сложной, чем традиционное программирование GPU. Это связано с необходимостью глубокого понимания архитектуры OpenCL, управления памятью GPU, а также специфики параллельных вычислений. Разработчику необходимо владеть знаниями о работе GPU, оптимизации кода для параллельной обработки и эффективном использовании ресурсов памяти. Отладка кода также представляет собой нетривиальную задачу из-за параллельного характера вычислений.

Традиционные методы отладки, применяемые для последовательного кода, часто неэффективны в контексте OpenCL. Сложно отследить поток вычислений и выявить ошибки, возникающие в параллельных потоках. Не все GPU поддерживают OpenCL, что может стать препятствием для внедрения решений в широком масштабе [4]. Разнообразие архитектур и

уровней поддержки OpenCL у разных производителей GPU может привести к проблемам совместимости и требовать дополнительных усилий по адаптации кода.

Анализ методик оптимизации рендеринга с помощью OpenCL

OpenCL позволяет оптимизировать алгоритмы рендеринга за счет параллельной обработки данных на GPU. Принято считать такие ключевые методики оптимизации:

1. Параллельное выполнение пиксельных операций.
2. Оптимизация передачи данных.
3. Специализированные ядра для конкретных алгоритмов.

Рендеринг выполняется последовательно, обрабатывая каждый пиксель по очереди [5]. Первая ключевая методика заключается в том, что OpenCL позволит распараллелить процесс, разделив изображения на блоки пикселей и обрабатывая их независимо на разных ядрах GPU, что значительно увеличит скорость рендеринга, особенно для сложных сцен с большим количеством пикселей.

Вторая ключевая методика повествует о достижении увеличения производительности за счет использования специальных методов управления памятью и передачи данных, а также за счет сведения к минимуму необходимого объема данных, передаваемых между CPU и GPU.

Третья ключевая методика охватывает метод разработки отдельного ядра для рендеринга теней, которое будет более эффективным, чем использование универсального ядра.

Общее видение подходов (методов) оптимизации рендеринга

Теневое отображение – один из наиболее распространенных алгоритмов рендеринга, который значительно влияет на реалистичность

изображения [6]. Оптимизация алгоритмов теневого отображения с помощью OpenCL представляет собой перспективное направление для увеличения производительности игровых движков.

Shadow Mapping — это фундаментальная техника в 3D-графике, которая позволяет реалистично отображать тени. Имитируя взаимодействие света с объектами в реальном мире, shadow mapping добавляет глубину, размерность и немного реализма в 3D-сцены [6, 7, 8].

Метод Shadow Mapping (см. рис. 2) основан на создании текстуры глубины сцены с точки зрения источника света (Shadow Map). Затем пиксели в сцене сравниваются с данными Shadow Map, чтобы определить, находятся ли они в тени или нет.

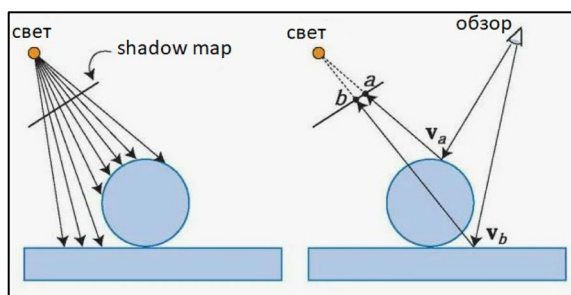


Рисунок 2 - Метод Shadow Mapping

Метод Cascaded Shadow Maps (см. рис. 3) делит сцену на несколько каскадов по глубине и создает отдельную Shadow Map для каждого каскада [9]. Это позволяет уменьшить размер Shadow Map и сократить количество артефактов, возникающих при традиционном Shadow Mapping.

Разделение усеченной пирамиды — это процесс создания подусеченной пирамиды. Один из методов разделения усеченной пирамиды заключается в вычислении интервалов от нуля до ста процентов в направлении Z. Затем каждый интервал представляет собой ближнюю и дальнюю плоскости в процентах от оси Z [10].

Метод Percentage Closer Filtering (см. рис. 4) улучшает качество теней за счет использования информации о глубине пикселей в Shadow Map. Он позволяет сгладить границы теней и сделать их более реалистичными. Чем больше увеличивается карта теней, тем меньше разница между соседними пикселями и тем плавнее переход между затененными и незатененными областями [6, 7, 8].

Эффект Bloom — это уровень отражения от поверхности, когда источник света в игре касается сущности. Включение Bloom дает более реалистичную визуализацию того, как свет работает в видеоигре [11]. Объемные эффекты создают эффект тумана, дыма или других объемных явлений (см. рис. 5).

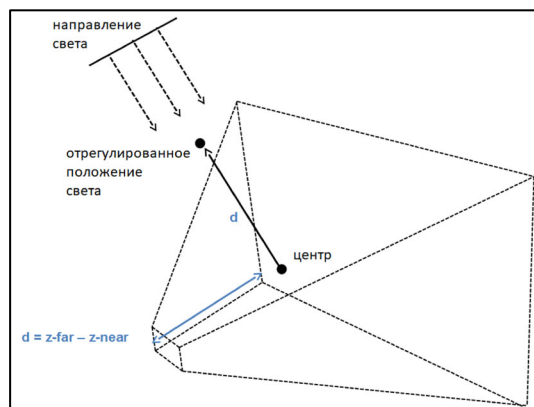


Рисунок 3 - Метод Cascaded Shadow Maps

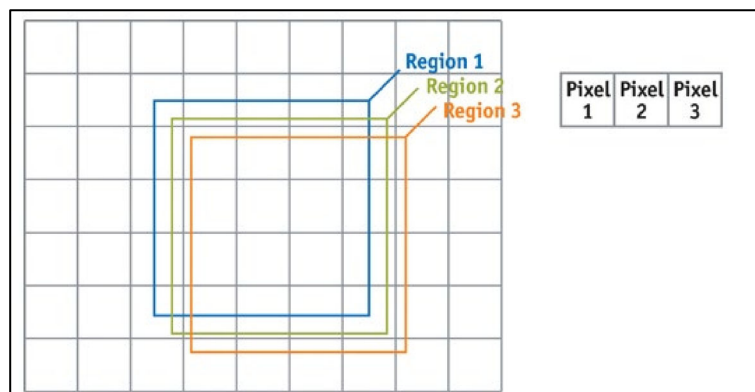


Рисунок 4 - Метод Percentage Closer Filtering

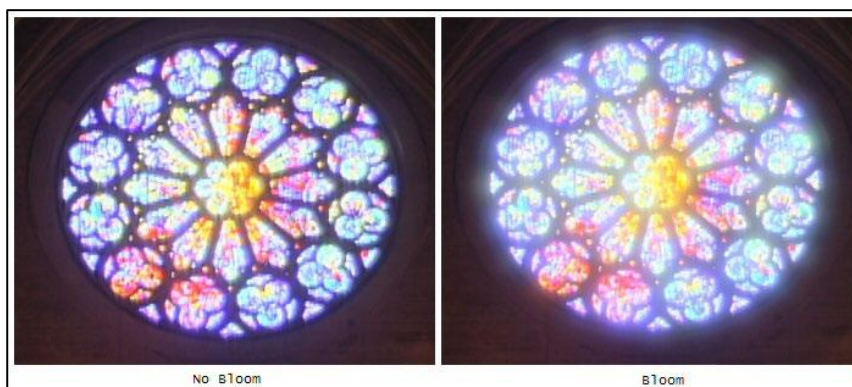


Рисунок 5 - Эффект Bloom

Выявление и формирование требований к оптимальному алгоритму

На основе проведенного анализа алгоритмов и существующих подходов к оптимизации рендеринга с помощью OpenCL, переходим к выбору оптимального алгоритма для разработки прототипа.

Выбор оптимального алгоритма для прототипа рендеринга основан на следующих требованиях:

- алгоритм должен обеспечивать значительное увеличение производительности рендеринга по сравнению с традиционными методами;
- алгоритм должен обеспечивать высокое качество изображения, сохраняя реалистичность и детализацию сцены;
- алгоритм должен быть достаточно простым в реализации с помощью OpenCL, чтобы ускорить разработку прототипа;
- алгоритм должен быть совместим с широким спектром GPU и платформ, чтобы обеспечить его широкую применимость.

Выбор алгоритма и пример его реализации

В качестве оптимального алгоритма для разработки прототипа был выбран Cascaded Shadow Maps. Этот алгоритм обеспечивает

значительное увеличение производительности рендеринга без ухудшения качества изображения. Он также относительно прост в реализации с помощью OpenCL и совместим с широким спектром GPU.

Для повышения эффективности алгоритма Cascaded Shadow Maps был разработан собственный алгоритм, который включает в себя следующие этапы:

1. Сцена делится на несколько каскадов по глубине. Каскады определяют зоны с разным уровнем детализации теней (см. рис. 6).
2. Для каждого каскада создается отдельная Shadow Map (см. рис. 7).
3. Создается функция фильтрации теней (см. рис. 8).
4. В главном рендере каждый пиксель сравнивается с соответствующей Shadow Map, чтобы определить, находится ли он в тени (см. рис. 9).

```
// Разделение сцены на каскады
const int NUM_CASCADES = 4;
float cascadeSplits[NUM_CASCADES];

// Вычисление границ каскадов
for (int i = 0; i < NUM_CASCADES; ++i) {
    cascadeSplits[i] = i * 0.2f;
}
```

Рисунок 6 - Алгоритм разделения сцены на каскады

```
// Генерация Shadow Map для каждого каскада
for (int i = 0; i < NUM_CASCADES; ++i) {
    // Настройка камеры для рендеринга Shadow Map
    camera.SetPosition(lightPosition + lightDirection * cascadeSplits[i]);
    camera.SetTarget(lightPosition + lightDirection);
    camera.SetPerspective(90.0f, 1.0f, 0.1f, 100.0f); // Пример параметров проекции
    // Рендеринг Shadow Map для текущего каскада
    renderShadowMap(camera, cascadeSplits[i], cascadeSplits[i + 1]); // Пример функции рендеринга Shadow Map
    // Сохранение Shadow Map
    saveShadowMap(shadowMapTexture[i], i); // Пример функции сохранения текстуры
}
```

Рисунок 7 - Алгоритм генерации Shadow Map для каждого каскада

```
void applyGaussianBlur(Texture& shadowMapTexture) {
    // Создать OpenGL контекст и очередь
    cl_context context = clCreateContext(NULL, 1, &device, NULL, NULL, &err);
    cl_command_queue queue = clCreateCommandQueue(context, device, 0, &err);
    // Создать буферы OpenGL для исходной и целевой текстур
    cl_mem inputBuffer = clCreateBuffer(context, CL_MEM_READ_ONLY, shadowMapTexture.GetByteSize(), NULL, &err);
    cl_mem outputBuffer = clCreateBuffer(context, CL_MEM_WRITE_ONLY, shadowMapTexture.GetByteSize(), NULL, &err);
    // Загрузить данные исходной текстуры в буфер OpenGL
    clEnqueueWriteBuffer(queue, inputBuffer, CL_TRUE, 0, shadowMapTexture.GetByteSize(), shadowMapTexture.GetData(), 0, NULL, NULL);
    // Загрузить ядро Gaussian Blur
    std::string kernelSource =
        "__kernel void gaussianBlur(__global float* input, __global float* output, int width, int height, float radius) {"
        "    int x = get_global_id(0);"
        "    int y = get_global_id(1);"
        "    if (x >= width || y >= height) return;"
        "    float sum = 0.0f;"
        "    float weightSum = 0.0f;"
        "    for (int i = -radius; i <= radius; ++i) {"
        "        for (int j = -radius; j <= radius; ++j) {"
        "            int ix = clamp(x + i, 0, width - 1);"
        "            int iy = clamp(y + j, 0, height - 1);"
        "            float weight = exp(-(i*i + j*j) / (2.0f * radius * radius));"
        "            sum += input[iy * width + ix] * weight;"
        "            weightSum += weight;"
        "        }"
        "    }"
        "    output[y * width + x] = sum / weightSum;"
        "}";
    cl_program program = clCreateProgramWithSource(context, 1, (const char**)&kernelSource.c_str(), NULL, &err);
    clBuildProgram(program, 1, &device, NULL, NULL, &err);
    cl_kernel kernel = clCreateKernel(program, "gaussianBlur", &err);
    // Задать аргументы ядра
    clSetKernelArg(kernel, 0, sizeof(cl_mem), &inputBuffer);
    clSetKernelArg(kernel, 1, sizeof(cl_mem), &outputBuffer);
    clSetKernelArg(kernel, 2, sizeof(int), &shadowMapTexture.GetWidth());
    clSetKernelArg(kernel, 3, sizeof(int), &shadowMapTexture.GetHeight());
    clSetKernelArg(kernel, 4, sizeof(float), &radius); // Радиус ядра Gaussian Blur
    // Запустить ядро
    size_t globalWorkSize[2] = {shadowMapTexture.GetWidth(), shadowMapTexture.GetHeight()};
    clEnqueueNDRangeKernel(queue, kernel, 2, NULL, globalWorkSize, NULL, 0, NULL, NULL);
    // Скопировать данные из буфера OpenGL в целевую текстуру
    clEnqueueReadBuffer(queue, outputBuffer, CL_TRUE, 0, shadowMapTexture.GetByteSize(), shadowMapTexture.GetData(), 0, NULL, NULL);
    // Освободить ресурсы OpenGL
    clReleaseKernel(kernel);
    clReleaseProgram(program);
    clReleaseMemObject(inputBuffer);
    clReleaseMemObject(outputBuffer);
    clReleaseCommandQueue(queue);
    clReleaseContext(context);
}
```

Рисунок 8 - Алгоритм фильтрации теней

```
// Применение Shadow Map в главном рендере
for (int i = 0; i < NUM_CASCADES; ++i) {
    // Определение каскада для текущего пикселя
    int cascadeIndex = getCascadeIndex(currentPixelPosition);
    // Загрузка Shadow Map для текущего каскада
    Texture shadowMap = shadowMapTexture[cascadeIndex];
    // Сравнение глубины пикселя с данными Shadow Map
    float shadowDepth = sampleShadowMap(shadowMap, currentPixelPosition);
    bool isInShadow = shadowDepth < currentPixelDepth;
    // Установка цвета пикселя в зависимости от результата
    if (isInShadow) {
        // Установить цвет пикселя в черный (или другой цвет тени)
        // ...
    } else {
        // Установить цвет пикселя обычным образом
        // ...
    }
}
```

Рисунок 9 - Алгоритм применения Shadow Map

Разработанный алгоритм отличается от стандартного Cascaded Shadow Maps включением дополнительного этапа предварительной фильтрации теней.

Этот этап позволяет уменьшить количество артефактов, возникающих при рендеринге теней, и сделать тени более плавными и реалистичными.

Выявление этапов разработки прототипа и преимуществ применения разработанного алгоритма

На первом этапе предполагается написание кода OpenCL для разработанного алгоритма рендеринга.

На втором этапе - внедрение разработанного ядра OpenCL в игровой движок (Unity и Unreal Engine 5) для использования в процессе рендеринга.

На третьем этапе начинается создание тестовых сцен и измерение скорости рендеринга, а также визуальная оценка качества получаемых изображений.

Преимущества применения разработанного алгоритма на базе Cascaded Shadow Maps:

- увеличение производительности: разделение сцены на каскады позволяет создавать Shadow Map меньшего размера, что ускоряет процесс рендеринга;
- улучшение качества теней: предварительная фильтрация позволяет более точно определить глубину тени, что приводит к более реалистичному отображению теней;
- меньший расход ресурсов GPU: предварительная фильтрация теней может осуществляться на GPU, что не требует значительных дополнительных вычислительных ресурсов.

Прогнозирование результатов внедрения прототипа

Заключительным этапом работы является прогнозирование результатов внедрения разработанного прототипа с алгоритмом рендеринга, оптимизированным с помощью OpenCL.

Ожидается, что внедрение разработанного прототипа приведет к следующим результатам:

- прототип с OpenCL обеспечит значительное увеличение скорости рендеринга по сравнению с традиционными методами;
- прототип обеспечит более высокое качество изображения благодаря использованию оптимизированных алгоритмов рендеринга;
- прототип с OpenCL позволит эффективнее использовать ресурсы GPU, что снизит нагрузку на устройство и улучшит общую производительность игровых движков.

Заключение

Проведенное исследование позволило провести анализ возможностей OpenCL в контексте оптимизации рендеринга в игровых движках. Разработанный прототип с модифицированным алгоритмом рендеринга Cascaded Shadow Maps, оптимизированным с помощью OpenCL, представляет собой

перспективное решение для увеличения производительности и улучшения качества изображения в современных видеоиграх. Прогнозируется, что внедрение данного прототипа в реальные игровые движки позволит достичь увеличения скорости рендеринга и снижения нагрузки на GPU. В целом, работа демонстрирует значительный потенциал OpenCL в контексте оптимизации рендеринга в игровых движках и открывает новые возможности для создания более производительных и визуально привлекательных игр. В дальнейших исследованиях планируется продолжить разработку прототипа и дальнейшее усовершенствование алгоритмов рендеринга с использованием OpenCL, а также провести более глубокий анализ влияния разработанных решений на разные типы GPU и игровые движки Unity и Unreal Engine 5.

Литература

1. Зори, С. А. Использование средств аппаратной поддержки для повышения производительности систем 3D-пространственной визуализации / С. А. Зори, А. Я. Аноприенко, Р. В. Мальчева, О. А. Авксентьева // Информатика и кибернетика. - Донецк: ДонНТУ, 2019. - № 1 (15). - С. 5-12.
2. What is the OpenCL platform model? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.educative.io/answers/what-is-the-opencl-platform-model>
3. OpenCL Architecture and AMD Accelerated Parallel Processing Technology [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://nov26.readthedocs.io/en/latest/Programming_Guides/Opencl-programming-guide.html#opencl-overview
4. GPU Computing with OpenCL [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://objectcomputing.com/resources/publications/sett/july-2011-gpu-computing-with-opencl>
5. OpenGL rendering pipeline [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://programmersought.com/article/3453823756/>
6. Chapter 11. Shadow Map Antialiasing [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://developer.nvidia.com/gpugems/gpugems/part-ii-lighting-and-shadows/chapter-11-shadow-map-antialiasing>
7. Shadow Mapping [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://learnopengl.com/Advanced-Lighting/Shadows/Shadow-Mapping>
8. Shadow Mapping Techniques: Implementing Shadows in 3D Scenes Using Shadow Mapping [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://dev-art.vercel.app/hayyanstudio/shadow->

mapping-techniques-implementing-shadows-in-3d-scenes-using-shadow-mapping-46hl

9. Cascaded Shadow Mapping [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://learnopengl.com/Guest-Articles/2021/CSM>

10. Cascaded Shadow Maps [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://learn.microsoft.com/en-](https://learn.microsoft.com/en-us/windows/win32/dxtecharts/cascaded-shadow-maps)

[us/windows/win32/dxtecharts/cascaded-shadow-maps](https://learn.microsoft.com/en-us/windows/win32/dxtecharts/cascaded-shadow-maps)

11. What is BLOOM in Games? Should You Turn it On or Off [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.technewstoday.com/what-is-bloom-in-games/>

Хомичук Н.В., Зори С.А. Оптимизация производительности рендеринга в игровых движках с помощью технологии OpenCL. В статье анализируются возможности OpenCL для оптимизации рендеринга в видеоиграх. Особое внимание уделяется демонстрации собственного разработанного алгоритма на базе Cascaded Shadow Maps, реализованному с помощью OpenCL. Проведенный анализ показывает возможность значительного повышения производительности и качества изображения при рендеринге теней, что открывает новые перспективы для создания более реалистичных и производительных игр. В дальнейших исследованиях планируется продолжить разработку прототипа и дальнейшее усовершенствование алгоритмов рендеринга с использованием OpenCL.

Ключевые слова: игровые движки, оптимизация, алгоритмы рендеринга, производительность, качество изображения, прототип, OpenCL

Khomichuk N.V., Zori S.A. Optimizing rendering performance in game engines using OpenCL technology. The article analyzes the possibilities of OpenCL for optimizing rendering in video games. Special attention is paid to demonstrating our own algorithm based on Cascaded Shadow Maps, implemented using OpenCL. The analysis shows a significant increase in performance and image quality when rendering shadows, which opens up new prospects for creating more realistic and productive games. Future research plans include continuing prototype development and further improvement of rendering algorithms using OpenCL.

Key words: game engines, optimization, rendering algorithms, performance, image quality prototype, OpenCL

Статья поступила в редакцию 20.10.2024
Рекомендована к публикации профессором Мальцевой Р. В.

УДК 004.9:550.34

Технологии и программное обеспечение извлечения и анализа данных из открытых источников для сейсмического мониторинга территории

С. О. Федоров^{*1}, В. А. Великий^{*2}, А. Г. Пимонов^{*3}

^{*1} аспирант, Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева,
sergej-fyodorov-1999@mail.ru,

^{*2} аспирант, Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева,
vova.velikiy.00@mail.ru,

^{*3} д.т.н., профессор, Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева,
pag_vt@kuzstu.ru,

Аннотация

В статье приведены результаты анализа возможностей использования открытых сейсмических данных для проведения исследований в сфере сейсмического мониторинга. Спроектирована и разработана программная платформа, реализующая модули сбора, обработки, и визуализации открытых сейсмических данных для решения ряда задач мониторинга. Перспективой развития продукта является расширение числа источников данных и применяемых технологий с целью улучшения точности результатов анализа и дальнейшего внедрения модулей в реальные системы мониторинга.

Введение

В настоящее время одним из ключевых феноменов, связанных с развитием информационных технологий, являются т.н. «большие данные» или Big Data. Важнейшая характеристика данного феномена – возможность автоматического сбора, обработки и анализа всевозможных данных огромных размеров [1]. Автоматизированные системы управления, основанные на такой концепции, уже проявили себя во многих областях деятельности, включая образование, медицину, банковскую сферу, промышленность и т. д. Процесс внедрения подобных систем, с одной стороны, требует установки развитой сети устройств для сбора данных (датчиков, видеокамер, измерительных приборов и т. п.) и мощных вычислительных ресурсов (дата-центры, центры обработки данных). С другой стороны, для получения полезной информации необходимо применять различные методы анализа «сырых» данных, в связи с чем для каждой области проводятся исследования по созданию эффективных программных комплексов для сбора, обработки и визуализации данных.

Сейсмический мониторинг традиционно является областью деятельности, основанной на данных. Автоматизация сейсмического мониторинга, тем более процессов в реальном времени, является не только важнейшей, но и одновременно сложнейшей задачей сейсмологической практики. Его важность определяется такими потребностями [2], как:

- оперативная корректировка карт тектонической активности региона, карт балльности и сотрясаемости;

- необходимость принятия экстренных мер и исполнения оперативных мероприятий в зависимости от текущей сейсмической обстановки на основе автоматических уведомлений, обеспечиваемых системой мониторинга;

- автоматическое формирование баз сейсмологических данных, включая их наполнение непрерывными волновыми формами наблюдаемых процессов, бюллетенями сейсмических событий и прочей сопроводительной информацией;

- обмен информацией с другими сейсмологическими центрами и сетями сбора данных;

- автоматическое использование непрерывных данных реального времени от других сейсмических сетей с целью улучшения локации сейсмических событий и оценки их параметров.

На текущий момент эффективность сейсмического мониторинга во многом зависит от плотности покрытия измерительными сейсмическими станциями интересующей территории как в случае локального уровня конкретных объектов (населённых пунктов, добывающих предприятий, объектов энергетики и т. д.), так и в случае регионального уровня в задаче сейсмического районирования. Тенденция увеличения сейсмостанций приводит к ситуации, когда необходимо в реальном времени обрабатывать множество потоков сигналов датчиков, при этом сами данные могут содержать неточности, вследствие чего задача автоматизации

процессов мониторинга особенно актуальна и сложна. Из этого можно сделать вывод о важности проведения исследований научным сообществом с целью разработки новых технологий, методов и средств анализа сейсмических и прочих данных, связанных с процессом мониторинга.

В данной работе рассматривается вопрос о возможности проведения таких исследований независимыми учеными на основе открытых данных, поставляемых различными исследовательскими организациями, в области сейсмологии. Целью работы являлось создание программного продукта для решения нескольких задач сейсмического мониторинга с использованием открытых данных. Для достижения цели поставлены и решены три задачи:

- 1) определить перечень решаемых в рамках исследовательской работы задач сейсмического мониторинга, перечень открытых источников информации и формат входных данных для их интеллектуального анализа;

- 2) сформировать архитектуру разрабатываемого программного комплекса на основе выбранных задач сейсмического мониторинга, определить набор средств и технологий разработки;

- 3) выполнить разработку программного комплекса, провести тестирование отдельных модулей автоматической обработки данных и провести анализ эффективности использования открытых сейсмических данных и технологий их обработки.

Задачи сейсмического мониторинга и методы обработки данных

Для демонстрации возможностей использования открытых баз сейсмологической информации поставлены четыре задачи сейсмического мониторинга:

- 1) анализ и классификация сейсмических сигналов;

- 2) определение координат и глубины гипоцентра сейсмического события;

- 3) расчёт сейсмичности;

- 4) расчёт сейсмического воздействия.

Под первой задачей понимается получение информации о вступлениях сейсмических волн среди записей сейсмодатчиками колебаний земной поверхности. Сложность задачи определяется, во-первых, регистрацией датчиками шумов различного характера наряду с сейсмическими сигналами, и, во-вторых, большими объёмами непрерывных записей колебаний [3]. В настоящее время активно проводятся исследования по внедрению моделей машинного обучения для решения задачи разделения сейсмических волн от волн иного происхождения. Например, в работе [4] описывается набор моделей, как линейных (линейный дискриминант Фишера, логистическая регрессия), так и нелинейных (искусственные

нейронные сети, метод опорных векторов), для идентификации микросейсмических сигналов. В рамках данного исследования использованы две модели глубокого обучения, Seismic-Performer и Spec-CNN, разработанные и обученные российскими учеными для классификации отрезков волновых форм измерений сейсмодатчиков с выделением вступлений продольной (P) и поперечной (S) волн, а также шума (N) [5]. Обе модели с обученными весами выложены в открытый доступ в качестве репозитория GitHub [6]. Для решения поставленной задачи в рамках данного исследования реализованы процессы выгрузки волновых форм из открытых источников, их предобработки и загрузки в выбранные модели нейронных сетей, а также интерпретации результатов.

Вторая задача следует после первой и является частью работ по определению параметров зарегистрированного сейсмического события. Определение местоположения очага землетрясения влияет на дальнейший расчёт магнитуды и области сотрясаемости. Вместе с этим наиболее точная локализация землетрясения возможна в случае, когда оно произошло «внутри» расстановки не менее трёх сейсмостанций [7]. В выбранном для решения задачи локализации методе сфер [8] в качестве исходных данных при известных координатах трёх сейсмодатчиков используются разности времен прихода продольной и поперечной сейсмической волны на каждый сейсмодатчик. Важно отметить, что скорости распространения продольной волны и отношение поперечной волны к продольной принимаются как константы для всей среды. Также в работе используется алгоритм перевода координат согласно ГОСТ Р 51794-2008, так как метод предполагает проведение вычислений в прямоугольной системе координат, а также выбор одной из сейсмостанций в качестве начала координат. Для наглядности влияния описанных факторов на конечный результат расчётов используются несколько итераций локализации с изменяемыми параметрами – скоростями сейсмических волн и точки с нулевыми координатами. Принимается к сведению, что реальный эпицентр землетрясения может располагаться вблизи итоговой области точек.

Третья задача (расчёт сейсмичности) предполагает определение параметров исторических землетрясений на интересующей территории, а также степени их воздействия на различные объекты. В качестве обобщенной характеристики сейсмического воздействия на здания и сооружения принимается интенсивность землетрясения, измеряемая в баллах и зависящая от глубины очага и магнитуды землетрясения, служащей мерой его энергии. В России и в

большинстве других стран интенсивность оценивается по 12-бальной шкале.

В данном исследовании интенсивность землетрясения определяется с помощью уравнения макросейсмического поля (УМП) [9], дающего эмпирическую корреляционную связь между наблюдаемой макросейсмической интенсивностью, магнитудой землетрясения, эпицентральной дистанцией и глубиной очага. Коэффициенты УМП определены для некоторых регионов России, однако в данном исследовании используются средние значения, так как расчеты не проводятся в пределах конкретного региона со специфическими оценками коэффициентов.

Четвертая задача относится к оценке сейсмического воздействия на конкретные объекты с учетом их особенностей. Прогнозирование последствий землетрясений в рамках населенного пункта позволяет получить данные: о количестве зданий и сооружений, получивших определенные степени разрушения; о качественном описании разрушений зданий и сооружений и т. д. В рамках данной исследовательской работы используется методика [10], позволяющая при известных характеристиках материала традиционных построек (без антисейсмических мероприятий) определить сейсмостойкость каждого здания.

Далее для группы однотипных зданий в зависимости от их сейсмостойкости и реальной интенсивности землетрясения может быть найдена осредненная степень разрушения, которая используется для приближенной оценки потерь населения, находящегося в этих зданиях. В данной работе для каждого из заданных населенных пунктов рассчитывается процентное соотношение степеней разрушения зданий на основе данных о материале конструкций и характеристиках исторических землетрясений. Важно отметить, что в работе для населенных пунктов допускается соответствие реальной интенсивности землетрясения и интенсивности, найденной с помощью УМП.

Источники данных и технологии их обработки

Для решения набора описанных выше задач требуется выгрузка следующих данных из внешних источников:

- волновые формы регистрируемых сейсмодатчиками колебаний для решения первой задачи;
- времена вступлений Р- и S- волн конкретного землетрясения на заданные сейсмостанции, а также метаданные сейсмостанций, включающие их координаты и высоту над уровнем моря, для решения второй задачи;

– параметры исторических землетрясений, включающие магнитуду, координаты эпицентра и глубину очага, для решения третьей задачи;

– параметры исторических землетрясений, координаты интересующих населенных пунктов и характеристики находящихся в них зданий, позволяющие определить сейсмостойкость, для решения четвертой задачи.

В качестве источников этих данных выбраны три открытых сервиса. Первый сервис – IRIS Data Management Center (далее IRIS DMC), управляемый объединением научно-исследовательских институтов по сейсмологии (сайт www.iris.edu). Сервис предоставляет данные крупнейших сейсмических сетей со всего мира посредством веб-сервисов, онлайн-средств и приложений. Ключевыми форматами описания данных являются: miniSEED для волновых форм; FDSN StationXML для идентификаторов и метаданных сейсмических сетей, станций, датчиков и каналов данных; QuakeML для описания сейсмических событий.

Вторым сервисом является сайт Дом.МинЖКХ.РУ (далее МинЖКХ), предоставляющий данные о зданиях и сооружениях для дальнейшей оценки потенциального ущерба от сейсмического события (сайт dom.mingkh.ru). В рамках данного исследования для определения класса сейсмостойкости здания используются такие поля, как «Серия, тип постройки», «Тип перекрытий» и «Материал несущих стен». Важно отметить, что на текущий момент проект не предоставляет интерфейса для автоматической выгрузки данных.

Третий сервис – MapBox – предоставляет платформу для создания пользовательских онлайн-карт на основе открытых карт OpenStreetMap и других источников (сайт www.mapbox.com). Базовый функционал предоставляется бесплатно после регистрации. Картографическая информация в данном исследовании используется для нахождения населенных пунктов, а также для формирования запросов на получение объектов землетрясений и сейсмостанций.

Таким образом, описанные публичные сервисы предоставляют почти все необходимые данные. Недостающими являются времена вступлений Р- и S- волн для решения второй задачи, в рамках данного исследования эти данные получаются из результатов решения первой задачи.

Для реализации алгоритмов сбора и обработки входных данных составлен стек технологий программного комплекса. В основе разработки лежит трёхуровневая архитектура, использование принципов объектно-ориентированного программирования и паттерна проектирования Model-View-Controller, что обеспечивает изолированность логики

программного комплекса, то есть алгоритмов сбора и обработки сейсмических данных, от выбранных способов хранения и отображения данных. Конечный продукт представляет собой веб-приложение с серверной частью на языке программирования Python, клиентской частью на языках HTML, CSS и JavaScript, а также системой управления базой данных (СУБД) PostgreSQL. Выбор этих технологий обусловлен их открытостью, относительной лёгкостью реализации проектов и, что наиболее важно, наличием библиотек для решения поставленных задач исследования. В частности, используются следующие библиотеки языка Python:

- микрофреймворк Flask позволяет автоматизировать создание каркаса веб-приложения, обеспечивающего маршрутизацию запросов клиентов и отправку результатов;
- библиотека Math содержит инструменты для проведения математических операций и используется в работе для программной реализации алгоритмов и формул;
- библиотека NumPy является популярной библиотекой для обработки числовых массивов, которыми в данной работе являются волновые формы регистрируемых сейсмодатчиками сигналов;
- библиотека pandas предназначена для работы с табличными данными и используется для обработки параметров зданий и сооружений, получаемых в виде файла от пользователя системы;
- библиотека TensorFlow является популярным решением для работы в сфере

машинного обучения, в данной работе используется для взаимодействия с моделями нейронных сетей Seismo-Performer и Spec-CNN;

- библиотека ObsPy разработана специально для взаимодействия с API IRIS DMC, формирования запросов на выгрузку данных и получения результатов в виде объектов классов языка Python, отражающих описанные выше форматы данных;

- библиотека GeoPy позволяет выполнять операции с геоданными, например, расчёт расстояния между двумя точками;

- библиотека Matplotlib используется для построения графиков волновых форм с указанием времён вступления сейсмических волн в соответствии с задачей анализа и классификации сейсмических сигналов.

Ключевой библиотекой на стороне клиента является MapBox.JS для формирования интерактивных карт и работы с различными элементами на карте – точечными и полигональными объектами, метками и др.

Результаты исследования

Разработанный авторами программный комплекс для сбора, обработки и анализа данных сейсмического мониторинга представляет собой набор модулей, взаимодействующих друг с другом в рамках веб-сервера (рис. 1). Модуль сбора данных предназначен для обращения к внешним источникам данных и выгрузки необходимой информации для дальнейшей обработки.

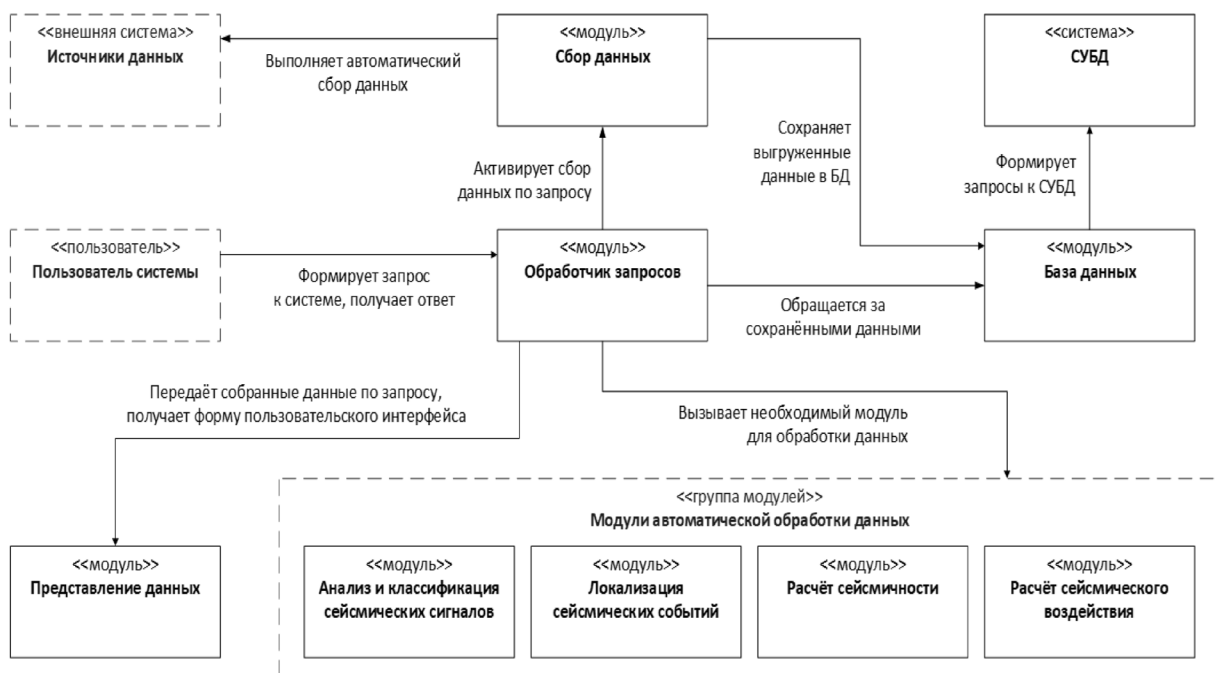


Рисунок 1 – Структура программного комплекса

Как было описано ранее, такими источниками являются публичный веб-сервис IRIS SAGE DMC сервис ДОМ.МинЖКХ.ру, при этом в первом случае выгрузка данных производится через HTTP-запросы (обёрнутые в функции библиотеки *obsru*), а во втором случае реализуются функции загрузки и обработки табличных файлов с информацией о материалах зданий, сформированных пользователем вручную. Данный модуль также отвечает за обработку информации, введённой пользователем через интерфейс.

Модуль базы данных является прослойкой между всеми модулями системы и используемой системой управления базой данных (СУБД). Модуль определяет интерфейс для получения, сохранения, изменения и удаления данных, благодаря чему возможно скрыть нежелательные операции с данными в БД и отклонить ошибочные. СУБД также является неотъемлемым компонентом системы ввиду необходимости сохранения в местном хранилище выгруженных извне данных различных сущностей: метаданные сейсмических станций; данные о землетрясениях; данные о населённых пунктах и зданиях.

Группа модулей автоматической обработки данных реализует набор описанных выше четырех задач сейсмического мониторинга. Модуль анализа и классификации сейсмических сигналов предназначен для предобработки выгруженных из IRIS волновых форм, загрузки их в модель нейронной сети и формирования результатов. Модуль локализации сейсмических событий предназначен для расчёта координат очага землетрясения с использованием метода сфер. Модуль расчёта сейсмичности предназначен для расчёта изосейст в виде набора окружностей, а

также для расчёта интенсивности выбранного землетрясения в любой точке вокруг него. Модуль расчёта сейсмического воздействия предназначен для расчёта процентного соотношения степеней разрушения зданий от сейсмического события заданной интенсивности в имеющихся населённых пунктах.

Модуль обработчика запросов фактически представляет собой набор функций для обработки HTTP-запросов. Модуль предназначен для вызова команд остальных модулей с целью обработки и получения результирующих данных, которые требует пользователь системы.

Модуль представления данных составляет набор шаблонов и команд для формирования элементов пользовательского интерфейса в зависимости от входных данных. Функции для составления конкретной формы вызываются модулем обработчика запросов.

Таким образом, описанная структура программного комплекса с одной стороны обеспечивает возможность независимой работы над отдельными модулями, а с другой связывает модули в единую систему. Во многом это достигается за счёт размещения управляющих элементов пользовательского интерфейса на одной веб-странице, включающей интерактивную карту (рис. 2) для управления пространственными объектами (населёнными пунктами, сейсмостанциями, сейсмическими событиями), панели управления данными (просмотра, создания, изменения и удаления записей, а также формирование запроса на выгрузку из внешних источников) и панелей обработки данных для решения четырёх задач сейсмического мониторинга.

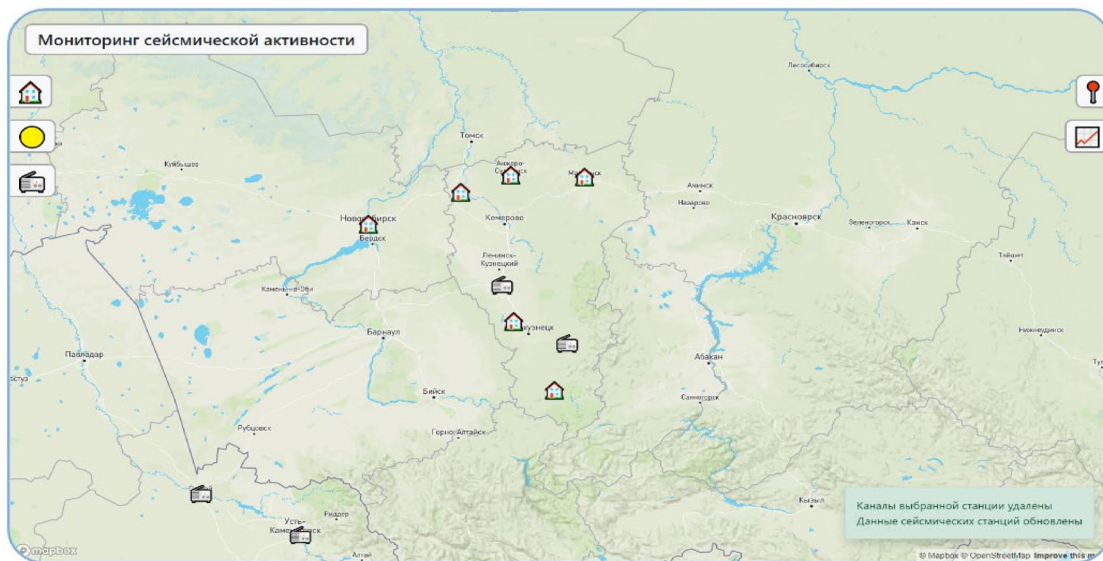


Рисунок 2 – Внешний вид пользовательского интерфейса с интерактивной картой и кнопками открытия панелей управления

Панель классификации сейсмических сигналов и локализации землетрясения (рис. 3) позволяет пользователю сформировать запрос на выгрузку и классификацию волновых форм с помощью модели нейронной сети. Для волновых форм строятся графики с отметками вступлений сейсмических волн. Для локализации составляется набор точек с координатами эпицентра в зависимости от скоростей сейсмических волн согласно описанным ранее допущениям.

Предполагается что вблизи этих точек лежит реальный эпицентр.

На панели расчёта сейсмичности и сейсмического воздействия (рис. 4) пользователь может отправить запрос на построение областей интенсивности выбранного землетрясения. Кроме того, для каждого населённого пункта рассчитываются интенсивность и процентное соотношение степеней повреждения зданий.

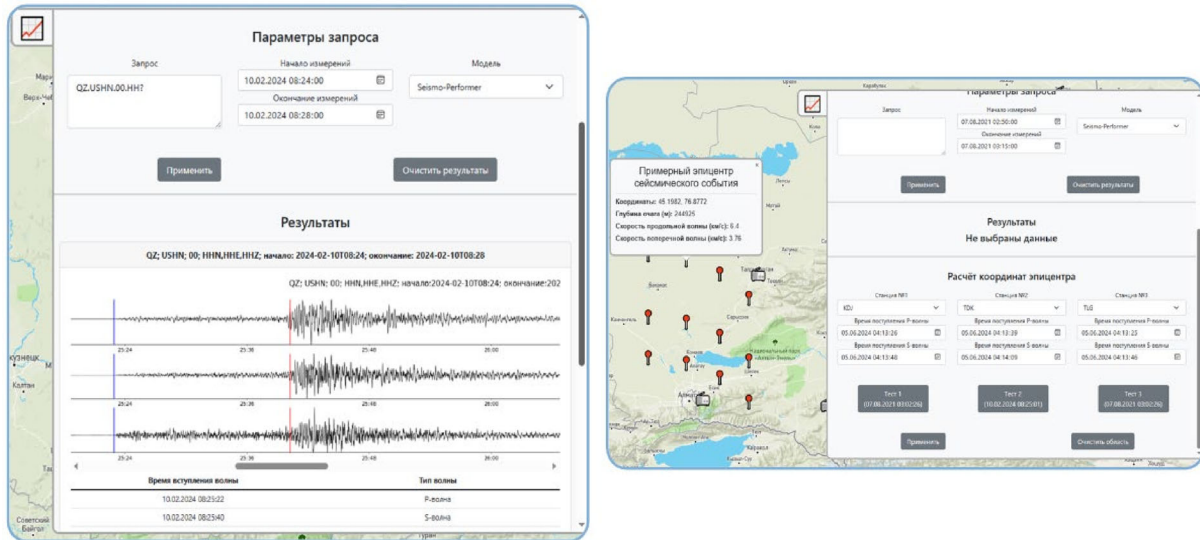


Рисунок 3 – Результаты классификации и локализации

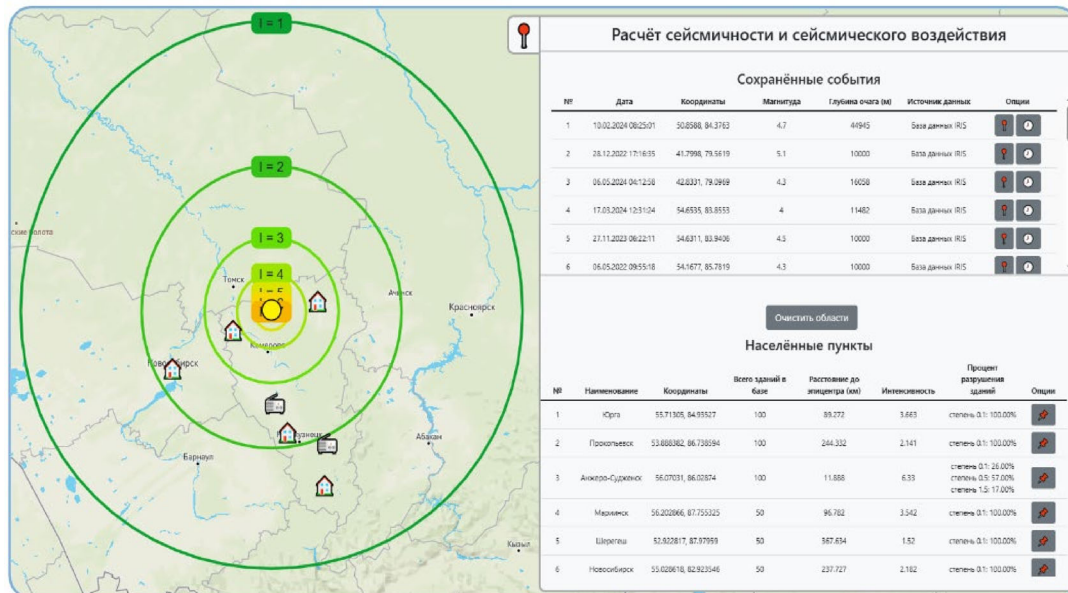


Рисунок 4 – Результаты расчёта сейсмичности и сейсмического воздействия

Для тестирования корректности обработки сейсмических данных в рамках модулей автоматической обработки произведено сравнение результатов работы модулей с существующими сервисами и ориентировочными расчётными показателями. Для модуля анализа и классификации сейсмических сигналов выполнено

визуальное сравнение отмеченных времён вступлений и усилению колебаний волновых форм для крупных землетрясений (рис. 3). Дополнительно примерные времена вступления волн на сейсмостанции рассчитаны на основе координат эпицентра и времени возникновения нескольких исторических сейсмических событий.

В конечном итоге сделан вывод о том, что данные, выгружаемые из IRIS, обрабатываются и подаются на вход модели в той форме, в которой предполагалось разработчиком, а результаты работы моделей правильно интерпретируются в виде графиков волновых форм.

Для модуля локализации землетрясения выполнено сравнение результатов локализации с координатами эпицентра из IRIS для четырех сейсмических событий. По результатам анализа отмечается, что реальный эпицентр располагается внутри образуемой маркерами «фигуры» (пример на рис. 3) в случае невысокого расстояния от сейсмостанций, в остальных случаях выходя за его пределы на небольшое расстояние.

Для модуля расчёта сейсмичности выполнено сравнение результирующих изосейст с изосейстами, рассчитанными сервисом EQA!ert (сайт eqalert.ru). В трёх из четырёх случаев изосейсты совпадали, тогда как в одном случае предположительно использовались специфичные значения коэффициентов УМП.

Для модуля расчёта сейсмического воздействия выполнено сравнение результатов с расчётными путём моделирования нескольких сейсмических событий вокруг имеющихся в базе данных населённых пунктов, для каждого из которых вручную выгружен набор зданий из сайта МинЖКХ. Результаты расчётов степеней разрушения соответствовали ожидаемым.

Заключение

В результате проведенного исследования разработан программный комплекс сейсмического мониторинга, включающий модули сбора, обработки и представления сейсмических данных на основе открытых источников. Конечный продукт ввиду удобства модификации отдельных компонентов может быть использован для тестирования и отладки алгоритмов извлечения и анализа сейсмических данных с целью их внедрения в существующие системы сейсмического мониторинга. К вопросу об особенностях использования открытых данных для проектирования программных комплексов сейсмического мониторинга сделан вывод о том, что на настоящий момент многообразие данных, предоставляемых публичными сервисами, позволяет проводить исследования в большом числе задач мониторинга: от регистрации сейсмических событий до расчёта сейсмического воздействия. Тем не менее, для реализации высокоточных методов в ряде задач дополнительно требуется использование информации о специфичных характеристиках интересующей территории, что может отсутствовать в открытом доступе.

Дальнейшие исследования открытых сейсмологических данных могут быть направлены в сторону поиска новых источников данных и

модификации алгоритмов их обработки и анализа, а также реализации с их помощью задач сейсмического мониторинга, не рассмотренных в данной работе. Разработанный программный комплекс также может быть усовершенствован в следующих направлениях: поддержка большего числа источников данных, в том числе форматов их описания; реализация хранения истории расчётов модулей для более тщательного анализа работы алгоритмов; возможность редактирования глобальных параметров из пользовательского интерфейса, в том числе параметров моделей нейронных сетей (порог, частота, веса и др.), скоростей сейсмических волн, коэффициентов уравнения макросейсмического поля и др.

Литература

1. Пестунов, А.И. Big data как феномен: причины и следствия появления больших данных / А.И. Пестунов, А.С. Гинтофт, О.В. Криветченко // ЭКО. – 2023. – № 9(591). – С. 137-154.
2. Зараменских, Е.П. Интернет вещей. Исследования и область применения : монография / Е.П. Зараменских, И.Е. Артемьев. // Москва : ИНФРА-М, 2023. – 188 с.
3. Машинное обучение в сейсмологии [Электронный ресурс] // Хабр. – 2021. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/articles/587690/> (дата обращения: 15.10.2024).
4. Machine Learning Approaches for Long-term Rock Burst Prediction [Электронный ресурс] / Y. Pu. // 2019. – Режим доступа: <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=360b5c50-2068-3c5e-96ed-a837c244f119> (дата обращения: 16.09.2024).
5. Stepnov A. The Seismo-Performer: A Novel Machine Learning Approach for General and Efficient Seismic Phase Recognition from Local Earthquakes in Real Time / A. Stepnov, V. Chernykh, A. Kononov // Sensors. – 2021. – № 21. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/18/6290> (дата обращения: 16.10.2024).
6. Seismo-Performer // GitHub : [сайт]. – URL: <https://github.com/jamm1985/seismo-performer> (дата обращения: 21.05.2023).
7. Кузнецов, В.В. Физика Земли. – 2011. – 842 с. – Режим доступа: <https://www.geokniga.org/sites/geokniga/files/inbox/5226/9.pdf> (дата обращения: 13.02.2024).
8. Асланов, Г.К. Об одном методе определения очага землетрясения с одновременным определением скоростей сейсмических волн / Г.К. Асланов, М.Г. Даниялов, Т.Г. Асланов, Х.Д. Магомедов // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2010. – № 56. – С. 54-59.
9. Чудинова, О.Н. Прогнозирование последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера / О.Н. Чудинова, Т.В.

Чередова, А.А. Бутакова, Ю.С. Воронина. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2022. – 88 с.

10. Сборник методик по прогнозированию возможных аварий, катастроф, стихийных бедствий в РСЧС / Министерство российской

федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. – 1 изд. – Москва : 1994. – 34 с.

Федоров С.О., Великий В.А., Пимонов А.Г. Технологии и программное обеспечение извлечения и анализа данных из открытых источников для сейсмического мониторинга территории. В статье приведены результаты анализа возможностей использования открытых сейсмических данных для проведения исследований в сфере сейсмического мониторинга. Спроектирована и разработана программная платформа, реализующая модули сбора, обработки, и визуализации открытых сейсмических данных для решения ряда задач мониторинга. Перспективой развития продукта является расширение числа источников данных и применяемых технологий с целью улучшения точности результатов анализа и дальнейшего внедрения модулей в реальные системы мониторинга.

Ключевые слова: сейсмический мониторинг, открытые данные, IRIS DMC, программные комплексы, Python.

Fedorov Sergey, Vladimir Velikiy, Pimonov Alexander. Technologies and software for open sources data extraction and analysis in territorial seismic monitoring task. The article provides the analysis results of open seismic data usage possibilities in the field of seismic monitoring research. In order to solve several seismic monitoring tasks, a software platform implementing open seismic data collection, processing, and visualization has been developed. The prospects for this research include expanding data sources as well as the technologies used in order to improve analysis results accuracy and future modules implementation into real monitoring systems.

Key words: seismic monitoring, open data, IRIS DMC, software complexes, Python.

Статья поступила в редакцию 25.10.2024
Рекомендована к публикации профессором Зори С. А.

УДК 338.2

Анализ процесса цифровизации предприятий

А. В. Боднар^{*1}, Н. Э. Пешкова^{*2}

^{*1} к.э.н, доцент, Донецкий национальный технический университет,
Linabykova13@ya.ru

^{*2} аспирант, Донецкий национальный технический университет,
n.e.peshkova@e.adidonntu.ru

Аннотация

В статье рассмотрена сущность и особенность цифровизации предприятия и экосистемы. Предложена обобщенная классификация экосистем для цифровизации предприятия. Приведен анализ опыта внедрения экосистем на российских и зарубежных предприятиях, который показал, что при их внедрении повышается производительность предприятия, сокращается время пусконаладочных работ при модернизации и вводе в эксплуатацию данных технологий, сокращается количество внеплановых простоев и снижаются затраты на техобслуживание и ремонт оборудования.

Введение

Стремительное развитие ИТ-технологий и внедрение их на предприятие способствуют возникновению новых видов компаний, сервисов, продуктов и услуг, которые удовлетворяют потребности не только самого предприятия, но и конечных получателей. Данное развитие повлияло на изменение парадигмы деятельности уже существующих предприятий и возникновению новых моделей формирования и ведения бизнеса. Одной из таких моделей развития является цифровая трансформация предприятия в виде внедрения экосистемы.

Целью исследования является обобщение таких понятий как «цифровая трансформация» и «экосистема» в области экономики, а также разработка единой классификации экосистем.

Анализ литературных источников

Вопросам цифровизации предприятия посвящены работы российских авторов – А. Анохина, А. Бийчук, Г. Головенчик, К. Еремейчук, М. Ермакова, В. Плотников, Е. Сысоева, В. Калугин, А. Сухревски, а также зарубежных исследователей – П. Друкер, М. Потер, Д. Мошелла, П. Вайл, С. Ворнер.

Вопросы изучения формирования и развития экосистем в разных областях рассматривались большим количеством ученых, среди которых – А. Текелей, А. Виллис, Е. Одум, Дж. Моор, М.Г. Якобидес и др.

Среди российских ученых следует выделить работы Ю.М. Анаткина, С.В. Дорошенко, И.В. Денисова, Г.Б. Клейнера, И.Д. Котлярова, Е.С. Петренко, Е.В. Попова, Т.О. Толстых, Н.М. Фоменко и др.

К зарубежным ученым, исследующим формирование и развитие экосистем в экономике на современном этапе, можно отнести М. Дж. Якобидес, К. Кеннамо, А. Гавер, Р. Аднера, Р. Капур, Г. Паркер, М. Ван-Алстин, Р. Альт, Р. Бэк, М. Смит и др.

В российской научной доктрине изучению экосистем уделено достаточно небольшое место, однако стоит отметить таких ученых как Г. Б. Клейнер, В. А. Карпинская, М. А. Рыбачук, О.Ю. Свиридов, Г.С. Панова, К.В. Трушина, Т. О. Толстых, В. Д. Маркова, С. А. Кузнецова, О. С. Рудакова и др.

Вопросы, связанные с изучением цифровых платформ изучены такими зарубежными и российскими учеными как Л. Чен, Дж. Июи, Т. Тонг, Л. В. Пригода, М. В. Аликаева, З. Чекеревац, П. А. Самиев, М. В. Рыжкова, И. З. Гелисханов, Т. Н. Юдина, А. В. Бабкин и др.

Постановка задачи исследования

На данный момент нет единого определения понятий «цифровая трансформация» и «экосистема» в области экономики, а также обобщенной классификации экосистем.

Основное содержание и результаты работы

Рассмотрим определение «цифровая трансформация» отраженных в работах различных авторов (табл. 1). То есть, цифровая трансформация одновременно направлена на усовершенствование существующих бизнес-процессов и на создание конкурентных преимуществ, за счет изменения и создания новых бизнес-процессов внутри предприятия.

Таблица 1 – Анализ определений авторами понятия «цифровая трансформация»

Автор(ы)	Определение
Л.А. Гамидуллаева, Е.В. Шкарупета, А.В. Тарасов, О.А. Лузгина	Цифровой трансформацией является стратегический управляемый процесс преобразования бизнес-модели организации с применением цифровых технологий, проявление качественных, революционных изменений, заключающихся не только в отдельных цифровых преобразованиях, но и в принципиальном изменении структуры экономики, в переносе центров создания добавленной стоимости в сферу выстраивания цифровых ресурсов и сквозных цифровых процессов [1, с. 203].
И.М. Зайченко	Под цифровой трансформацией понимается преобразование как отдельных бизнес-процессов предприятия или всего бизнеса в целом, так и деятельности отдельных институциональных единиц государственного уровня [2, с. 206].
Е.В. Лавренко	Цифровая трансформация является одним из приоритетных направлений развития отечественной экономики, содействующим интенсификации формирования бизнес-моделей с помощью применения сквозных цифровых технологий [3, с. 47].
Л.В. Глезман	Цифровая трансформация является закономерным этапом эволюционного развития традиционной экономики, основанным на использовании информационно-компьютерных и электронных средств и технологий [4, с. 128].
Т.В. Щёголева	Цифровая трансформация предполагает применение совершенно новой философии ведения бизнеса, создание цифрового двойника предприятия; она ориентирована на очень стремительный, непрерывный, динамичный и ресурсоемкий процесс, реализуемый посредством проектного управления, обязательно включающего контроллинг и реинжиниринг бизнес-процессов, что делает приоритетной в процессе цифровизации задачу формализации и обеспечения надежности бизнес-процессов [5, с. 70].
М.Ф. Меняев	Цифровая трансформация – это новая система управления бизнесом, то есть внедрение в процессы работы современных технологий, связанных с информацией и новой технологией, которые позволяют выйти компании на новый уровень работы. То есть, в процессе перестройки идет закупка как нового оборудования, установка программных обеспечений так и запуск полной фундаментальной перестройки всех процессов работы в компании [6, с. 26].

Основываясь на вышеуказанных определениях, можно сказать, что цифровая трансформация предприятий – это процесс внедрения цифровых технологий в производство с целью оптимизации производственных

процессов и совершенствования организационных бизнес-процессов.

Рассмотрим определение «экосистема» в области экономики отраженных в работах различных авторов (табл. 2).

Таблица 2 – Анализ определений авторами понятия «экосистема»

Автор(ы)	Определение
Дж. Ф. Мур	Фирмы должны рассматриваться не как отдельные члены одной отрасли, а как члены бизнес-экосистемы, состоящие из фирм различных отраслей, так же как биологические экосистемы, так как развиваясь во времени они оказывают друг на друга влияния с точки зрения инноваций, коопераций и конкуренции [7, с. 86].
М. Дж. Якобидес, К. Кеннамо, А. Гавер	Совокупность акторов с различной степенью многосторонней необщей взаимодополняемости, которые не в полной мере контролируются иерархией [8, с. 2265].
Р. Аднера	Экосистем можно разделить на два основных направления: экосистемы, как аффилиации (делается акцент на разрушении традиционных отраслевых границ и росте взаимосвязей и симбиотических связей между компаниями, как в рамках одной отрасли, так и на межотраслевом уровне) и экосистемы, как структура (делается акцент на изучении создания ценностного предложения и акторов, которым необходимо взаимодействовать для достижения определенного ценностного предложения [9, с. 50].
Р. Капур	Экосистема – набор субъектов-участников (акторов), каждый из которых вносит свой вклад в увеличение ценности основного предложения для потребителя [10, с. 10].
Р. Капур, А. Гавер, М. Кусумано, Г. Паркер, М. Ван-Алстин	Разделяют понятия между продуктовыми экосистемами (управляется владельцем платформы, который создает архитектуру платформы и правила для ее участников, которые являются частью этой экосистемы) [11, с. 53] и платформенными экосистемами (предполагает одностороннее рыночное взаимодействие, в частности взаимодействие между производственным предприятием (поставщиком) и покупателем (пользователем)) [12, с. 4].
Г. Б. Клейнер, В. А. Карпинская, М. А. Рыбачук	Экосистема – это пространственно локализованный комплекс неконтролируемых иерархически организаций, бизнес-процессов, инновационных проектов и инфраструктурных систем, взаимодействующих между собой в ходе создания и обращения материальных и символических благ и ценностей, способный к длительному самостоятельному функционированию за счет кругооборота указанных благ и систем [13, с. 10].

Таким образом, экосистема – динамичное и постоянно развивающееся сообщество. Они создают новые взаимосвязи, сотрудничество, конкуренцию, которая уже играет меньшую роль.

Наиболее популярные методы цифровой трансформации предприятия [14] представлены на рисунке 1.

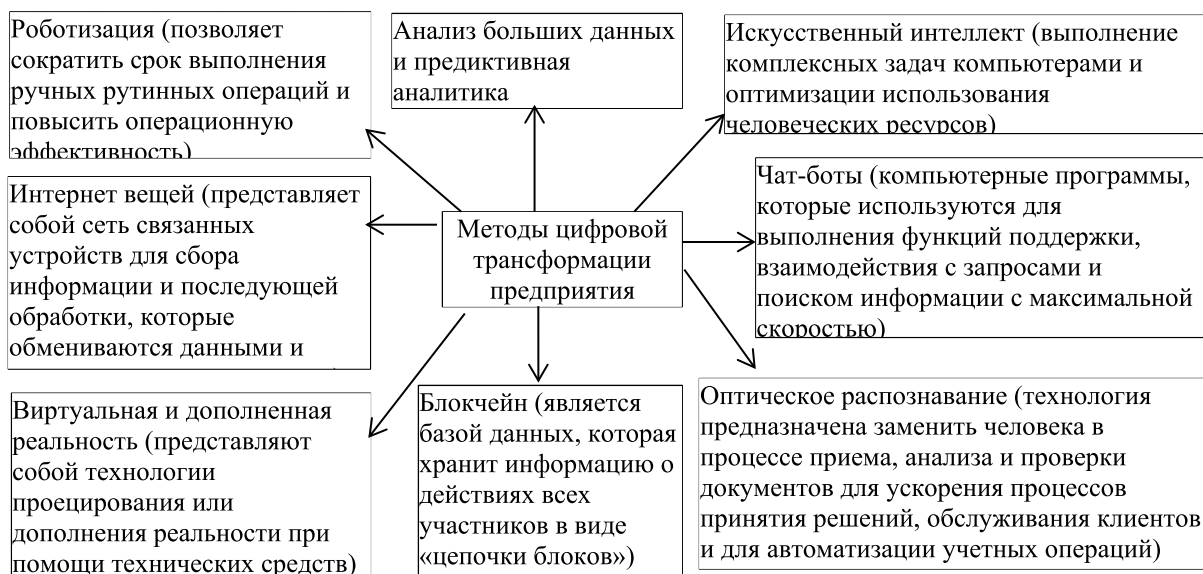


Рисунок 1 – Методы цифровой трансформации предприятия

Существуют разные классификация экосистем. Закрытая экосистема формирует ограниченный состав партнеров, не объявляет публично правила, по которым на нее допускаются участники. С расширением бизнеса в сторону экосистемы платформа становится заинтересованной в том, чтобы на ней было представлено как можно больше разных видов услуг, но не разных поставщиков одной услуги. В итоге внутренняя конкуренция поставщиков одной и той же услуги на такой платформе практически отсутствует, поскольку с точки зрения развития закрытой экосистемы важно наличие продукта или услуги в периметре экосистемы, а не полнота вариантов его представления или широта выбора внутри каждой продуктовой категории.

При открытой модели формирования экосистемы доступ к ней имеют конкурирующие поставщики товаров и услуг, их допуск осуществляется на основе публично раскрываемых экосистемой критериев. Таким образом, экосистема является равноудаленной нейтральной инфраструктурой, обеспечивающей независимый канал продаж для поставщиков.

Анализ бизнес-моделей крупнейших мировых и российских экосистем показывает, что все они функционируют по гибридной модели, сочетая открытые и закрытые сегменты. Так, например, по открытой модели работают товарные маркетплейсы в составе этих экосистем (электронная коммерция), в то время как поставщиком мобильной связи или мессенджера выступает сама экосистема [15, с. 1605].

Маркетплейсы и агрегаторы – платформы на которых продавцы и покупатели находят друг друга и взаимодействуют между собой.

Классифайдоры – платформы предназначенные для быстрого и удобного размещения объявлений о продаже или покупке товаров и услуг.

Шеринговые платформы – платформы для совместного, коллективного использования и потребления различных вещей и услуг.

Платформы рынка труда – платформы выступающие в качестве посредника между поставщиками услуг (исполнителями работ) и потребителями (клиентами).

Финтех-решения и краудфайтинг – финансовые платформы для привлечения денег, управления финансами с помощью новых технологий.

Информационно справочные платформы – платформы позволяющие ускорить и сделать доступным процесс получения информации.

Развлекательные ресурсы – платформы для предоставления пользователю доступ к большому количеству развлекательных контентов.

Социальные сети – платформы позволяющие пользователям общаться, делиться информацией и взаимодействовать друг с другом [16, с. 1-2].

Приведем обобщенную классификацию экосистем (рис. 2).

Приведем примеры реализации проектов цифрового потенциала на российских предприятиях.



Рисунок 2 – Классификация экосистем цифровизации предприятия

На данный момент важным предприятием промышленности является АО «Объединенная двигателестроительная корпорация», которая внедрила технологию интернета вещей (IIoT) на производстве. На текущий момент система IIoT объединяет 2 тысячи автоматизированных рабочих мест. Результатами внедрения IIoT является – возможность контролировать загрузку оборудования, поддерживать его исправное техническое состояние, а также анализировать причины простоя и следить за работой персонала. Компания «Северсталь». Внедрила систему на основе интернета вещей и аналитики больших данных для контроля потребления электроэнергии. Решение позволило значительно повысить качество прогноза энергопотребления (на 20-25% ежемесячно) и сэкономить за счёт сокращения штрафов, оптимизации закупки и противодействия кражам электричества.

Компания «Евраз». Использует дроны для маркшейдерской съёмки на предприятиях своей «дочки» – Распадской угольной компании. Это повысило оперативность принятия решений и позволило сократить время простоя карьерной техники.

Логистический оператор «Почта России». Запустил цифровую платформу мониторинга транспортных средств на основе big data. Она позволяет отслеживать пробег автотранспорта, планировать сроки его технического обслуживания и ремонта, накапливать информацию для точного прогнозирования расхода топлива.

Группа «Черкизово». На одном из мясоперерабатывающих заводов установила онлайн-систему учёта индивидуальной производительности — выработки и качества работы сотрудника. Благодаря ей рабочие были переведены на оплату труда по индивидуальному

результату, производительность труда выросла на 15%, снизился брак.

АО «НИПОМ» первым в России внедрило систему на базе новейшего продукта в области управления энергоресурсами – программного комплекса Energo Manager Pro. Система энергоменеджмента в соответствии с ISO 5001 обеспечила прозрачность потребления энергоресурсов и экономию энергии 29% и воды на 16%. Экономия за счет возможности анализировать и распределять затраты на потребление энергии по месту и причине их возникновения, а также осуществлять прогнозирование нагрузки и закупки энергоресурсов [17].

МТС – единая композиционная цифровая платформа для управляемой экосистемы и быстрого time to market. Команда ИТ-специалистов разрабатывают продукты и привлекают новых пользователей, что улучшают предложение, а также привлекают больше клиентов в экосистему. То есть выводят на рынок новые сервисы становится экономически целесообразным.

Данная платформа освобождает до 30% ресурсов продуктовых команд за счет сокращения непрофильной нагрузки – настройки системного ПО и баз данных, мониторинга, развертывания, помогая сфокусироваться на решении бизнес-задач. Это сокращает общее время на разработку сервисов, повышая эффективность каждого специалиста в отдельности.

В рамках бизнес-решений на базе The Platform пользователи получают открытый доступ к сервисам экосистемы МТС в виде API и инструменты для построения бесшовных платежей. Благодаря упрощенной интеграции у них появляется возможность ускоренного вывода на рынок собственных и интегрированных с МТС продуктов, снижаются технологические и бизнес-издержки при переходе в экосистему компании,

Т-банк реализует стратегию AI Banking, активно задействуя технологии искусственного интеллекта и машинного обучения. К примеру, голосовой помощник Олег обрабатывает более 40% сервисных обращений клиентов в чатах без участия сотрудников банка, а контакт-центр решает вопросы пользователей, в среднем, менее чем за минуту.

Банк ВТБ не только разрабатывает, а уже перешел к этапу тиражирования собственных ИТ-решений. Среди них сложные наукоемкие разработки, выступающие альтернативой ушедшим с рынка зарубежным решениям. Оптимизатор ВТБ, созданный специалистами ВТБ и МФТИ, стал первым полностью российским решением для оценки эффективности и оптимизации бизнес-процессов. Криптоанклав – решение для безопасного объединения больших данных в финансовом и высокотехнологичном

секторах экономики – также разработка ВТБ и МФТИ, не имеющая аналогов на российском рынке [18].

«Проектный офис» Awara IT. Share on Twitter – увеличивает производительность команд проектных организаций за счёт ускорения поиска и распределения ресурсов, необходимых для эффективной работы. Решение позволяет видеть общую картину проекта в режиме реального времени, ускорять коммуникации внутри проектной группы без потери их качества, хранить проектную документацию доступным для всех сотрудников образом и совместно работать с ней. Возможности «Проектного офиса» включают управление временем и оперативный контроль над деятельностью проектной команды, работу с планом проекта для всей команды «из одного окна», регулярно обновляемую многоплановую персонализированную отчётность по проектам, ведение совместных календарей и задач, организацию онлайн-встреч с заказчиками и оперативную передачу информации коллегам, а также доступ к системе из любого места с любого устройства по любому каналу связи [19].

VisorLabs Health & Safety. Share on Twitter – система контроля экипировки и поведения персонала на базе видеоаналитики. Система оказывает незаменимую помощь директорам по персоналу, следя за неукоснительным использованием СИЗов (средств индивидуальной защиты; рабочий на стройплощадке без каски – моментальный сигнал тревоги!) и контролируя подрядчиков. Кроме того, решение актуально повсюду, где требуется подсчитывать людей в помещении и на проходе, определять паттерны их поведения и даже контролировать соблюдение корпоративного дресс-кода [20].

«АКБ Мониторинг / STOPiT». Share on Twitter – мониторинг и диагностика погрузочной техники, тяговых аккумуляторов и стеллажного хозяйства с использованием системы indoor-позиционирования. Решение включает датчики контроля батарей, блоки ограничения доступа к технике, модули прерывания заряда, модули точного позиционирования внутри помещений, датчики контроля стеллажного оборудования, а также облачную платформу для хранения и обработки данных.

Помимо своевременного уведомления оператора погрузчика, если что-то идёт не так, модули передают данные своих измерений по беспроводному интерфейсу на центральный сервер. Развита система отчётов и дашбордов позволяет получать данные о загрузке парка техники, аккумуляторных батарей и персонала. В результате на основе объективной информации появляется возможность гораздо эффективнее распределять ресурсы между складами, планировать закупки, укреплять трудовую

дисциплину и добиваться существенной экономии. Так, своевременная фиксация данных о столкновениях погрузчиков со стеллажами позволяет прогнозировать и предотвращать обрушение складских конструкций – избегая тем самым многомиллионных убытков вследствие порчи хранившихся на стеллажах грузов [21].

Выводы

Проведенный анализ показал, что при внедрении информационных технологий, а именно экосистем, повышается производительность предприятия, сокращается время пусконаладочных работ при модернизации и вводе в эксплуатацию данных технологий, сокращается количество внеплановых простоев и снижаются затраты на техобслуживание и ремонт оборудования.

Литература

1. Гамидуллаев, Л. А. Разработка и реализация сценариев цифровой трансформации промышленных экосистем / Л. А. Гамидуллаев, Е. В. Шкарупета, А.В. Тарасов, О. А. Лузгина // Известия высших учебных заведений. Общественные науки. – 2019. – № 4 (52). – С. 202-210.
2. Зайченко, И.М. Цифровая трансформация бизнеса: подходы и определение / И. М. Зайченко, П. Д. Горшечникова, А. И. Лёвина, А. С. Дубгорн // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия Экономика и экологический менеджмент. – 2020. – № 2. – С. 202-215.
3. Лавренко, Е. В. Цифровая трансформация промышленности: российский и зарубежный опыт / Е. В. Лавренко, М. Н. Мечикова // Вестник Сибирского института бизнеса и информационных технологий. – 2022. – № 1. – С. 47-52.
4. Глезман, Л. В. Цифровая трансформация промышленности как закономерный этап эволюционного развития цифровой экономики / Л. В. Глезман, С. А. Пыткин, Г. Г. Тирон // Цифровая трансформация промышленности: тенденции, управление, стратегии. Институт экономики Уральского отделения РАН. – 2019. – С. 124-134.
5. Щёголева, Т. В. Обеспечение надежности бизнес-процессов высокотехнологичных промышленных предприятий в условиях цифровой трансформации / Т. В. Щёголева // Современная экономика: проблемы и решения. – 2022. – № 2. – С. 69-78.
6. Меняев, М. Ф. Учебник: Цифровая экономика предприятия / М. Ф. Меняев. – Москва: ИНФРА-М, 2020. – 369 с.
7. Moore, J. F. Predators and prey: a new ecology of competition. / J. F. Moore // Harvard Business Review. – 1993. – № 71(3). – PP. 75-86.
8. Jacobides, M. G. Towards a theory of ecosystems / M. G. Jacobides, C. Cennamo, A. Gawer // Strategic Management Journal. – 2018. – № 39 (8). – PP. 2255-2276.
9. Adner, R. Ecosystem as structure: An actionable construct for strategy. / R. Adner // Journal of Management. – 2017. – № 43 (1). – PP. 39-58.
10. Kapoor, R. Ecosystems: Broadening the locus of value creation, Journal of Organization Design / R. Kapoor // Springer Cham. – 2018. – № 7 (12). – PP. 1-16.
11. Cusumano, M. A. Platform leadership: how Intel, Microsoft, and Cisco drive industry innovation / M. A. Cusumano, A. Gawer // Harvard Business School Press, Boston. – 2002. – № 43 (3). – PP. 51-58.
12. Parker, G. Platform strategy. School of Management Research Paper / G. Parker, M. W. Van Alstyne // Boston. – 2014. – № 2439323. – PP. 1-7.
13. Клейнер, Г. Б. Социально-экономические экосистемы в свете системной парадигмы / Г. Б. Клейнер // V Междунар. науч. практ. конф.-биеннале. – 2018. – С. 5-14
14. Цифровые технологии в российских компаниях [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/ru/pdf/2019/01/ru-ru-digital-technologies-in-russiancompanies.pdf> (дата обращения: 08.10.2024).
15. Кулапов, М. Н. Бизнес-экосистемы: определения, типологии, практики развития / М.Н. Кулапов, Е. И. Переверзева, О. Ю. Кириллова // Вопросы инновационной экономики. – 2022. – № 12 (3). – С. 1597-1612
16. Пашкин, С. А. Развитие цифровых платформ в России / С. А. Пашкин // Международный научно-исследовательский журнал. – 2024. – №1 (139). – С. 1-5
17. Цифровизация предприятия. Какие результаты, и сколько экономят компании [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vc.ru/future/1128114-cifrovizaciya-predpriyatiya-kakie-rezultaty-i-skolko-ekonomyat-kompanii-tri-primera> (дата обращения: 08.10.2024).
18. Кто стоит за цифровой трансформацией в крупнейших российских компаниях [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.cnews.ru/articles/2024-01-18_kto_stoit_zh_tsifrovoj_transformatsiej (дата обращения: 08.10.2024).
19. «Проектный офис» Awara IT [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://news.microsoft.com/ru-ru/features/awarait/> (дата обращения: 08.10.2024).
20. VisorLabs Health & Safety [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://news.microsoft.com/ru-ru/features/vizorlabs/> (дата обращения: 08.10.2024).

21. АКБ Мониторинг / STOPiT» <https://news.microsoft.com/ru-ru/features/332lab/>
[Электронный ресурс]. – Режим доступа: (дата обращения: 08.10.2024).

Боднар А. В., Пешикова Н. Э. Анализ процесса цифровизации предприятий. В статье рассмотрена сущность и особенность цифровизации предприятия и экосистемы. Предложена обобщенная классификация экосистем для цифровизации предприятия. Приведен анализ опыта внедрения экосистем на российских и зарубежных предприятиях, который показал, что при их внедрении повышается производительность предприятия, сокращается время пусконаладочных работ при модернизации и вводе в эксплуатацию данных технологий, сокращается количество внеплановых простоев и снижаются затраты на техобслуживание и ремонт оборудования.

Ключевые слова: предприятие, цифровизации, экосистема, цифровая трансформация, ИТ-технологии.

Bodnar A. V., Peshkova N. E. Analysis of the process of digitalization of enterprises. The article considers the essence and features of digitalization of the enterprise and ecosystem. A generalized classification of ecosystems for digitalization of the enterprise is proposed. The experience of implementing ecosystems at Russian and foreign enterprises is analyzed, which has shown that their implementation increases the productivity of the enterprise, reduces the time of commissioning during the modernization and commissioning of these technologies, reduces the number of unplanned downtime and reduces the cost of maintenance and repair of equipment.

Key words: enterprise, digitalization, ecosystem, digital transformation, IT technologies.

Статья поступила в редакцию 30.10.2024
Рекомендована к публикации профессором Мальчевой Р. В.

О формировании идеальных законов движения рабочих органов вибрационных транспортирующих машин путём реализации супергармонических резонансов

В. Н. Беловодский^{*1}, С. Л. Букин^{*2}

^{*1} к.т.н, доцент, Донецкий национальный технический университет,
v.belovodskiy@gmail.com, OrcID: 0000-0001-8345-7492, SPIN-код: 6679-3364

^{*2} к.т.н, доцент, s.bukin08@gmail.com

Аннотация

Рассмотрена одномассовая вибрационная транспортирующая машина горизонтального типа с инерционным возбуждением и билинейной характеристикой основных упругих связей. Показана возможность формирования в ней в зоне супергармонического резонанса порядка 2:1 полигармонических колебаний близких к оптимальным. Предложенная конструктивная схема нелинейной упругой системы проста, а выполненный динамический анализ демонстрирует возможность формирования в вибромашинах с такой упругой системой движений близких к оптимальным.

Введение

Вибрации широко используются в процессах разделения, дробления, уплотнения, применяются они и при транспортировании различных материалов [1]. К настоящему времени выполнен большой цикл работ по математическому описанию этих процессов и в вибротранспортировании, в частности, установлены оптимальные законы перемещения рабочей поверхности при различных углах её наклона [2]. Так, при бигармонических горизонтальных колебаниях плоской поверхности, максимальная скорость вибротранспортирования частицы без подбрасывания обеспечивается при следующем законе её перемещения [3]

$$\begin{aligned} \zeta(t) &= A \cos(2\pi t) + B \cos(4\pi t + \varphi), \\ \frac{B}{A} &\approx 1, \varphi \approx \frac{2\pi}{3} \approx 2.0944, \end{aligned} \quad (1)$$

а его график представлен на рис. 1.

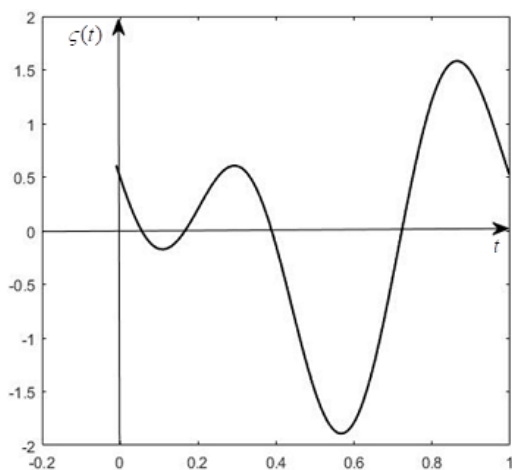


Рисунок 1 – Оптимальный закон перемещения
при $A = B = 1$

Традиционная генерация таких колебаний с использованием бигармонических вибровозбудителей технически и энергетически затратна, поэтому поиск более прогрессивных способов их формирования остается актуальным. Одним из таковых является использование свойств, присущих нелинейным системам. О них, в частности, известно, что реализация комбинационных резонансов даже при гармоническом возбуждении позволяет формировать выраженные полигармонические вибрации и данная особенность уже на протяжении десятков лет активно используется в вибрационном машиностроении [4-8].

В данной работе предпринимается попытка установить возможность реализации колебаний вида (1) в горизонтальной вибрационной транспортирующей машине с нелинейными упругими связями и гармоническим возбуждением в зоне супергармонических резонансов.

1. Динамическая схема вибрационной машины

Принципиальная схема рассматриваемой вибрационной машины представлена на рис. 2, а на рис. 3 иллюстрируется конструкция её основной упругой связи. Билинейная упругая опора (рис. 3), включает цилиндрические стальные пружины сжатия 1-3, причём две витые пружины 1 и 2 имеют одинаковую жёсткость, а одна из них 2 размещена внутри пружины с большей жёсткостью 3. Пружины расположены между центральной стойкой 7, закреплённой на опоре 8, в свою очередь установленной на неподвижном основании 9, и между стойками 4 и 5, закреплёнными на рабочем органе 6 вибромашины. В стойке 7 размещено устройство

для предварительного поджатия пружин 1 и 2 (на рисунке не показано).

Пружина 3 без предварительного поджатия одной стороной крепится к стойке 7 и свободна с другой стороны, что достигается установкой опоры требуемой высоты на стойке 5. При необходимости величину продольной жёсткости цилиндрических витых пружин 1 и 2 можно

регулировать путём предварительного поджатия и изменением числа их активных витков. Предполагается, что величина поджатия пружин 1 и 2 превышает максимальную амплитуду колебаний, как при пуске, так и при выбеге вибровозбудителя.

Силовая характеристика такой упругой системы приведена на рис. 4.

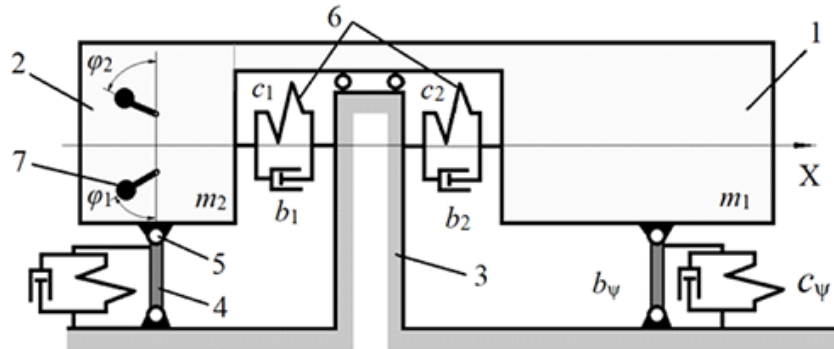


Рисунок 2 – Расчётная динамическая схема: 1 - рабочий орган; 2 - корпус вибровозбудителя; 3 - основание; 4 - опорный рычаг; 5 - резинометаллический шарнир; 6 - основная упругая связь; 7 - вибровозбудитель

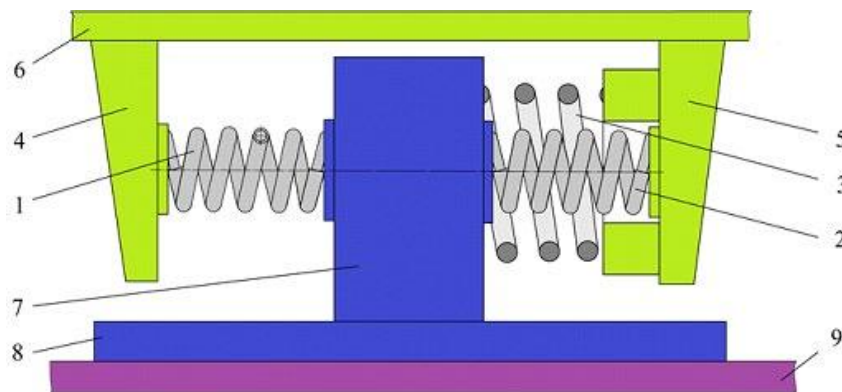


Рисунок 3 – Конструкция билинейной упругой опоры: 1, 2, 3 - стальные пружины; 4, 5 - стойки; 6 - несущий элемент рабочего органа; 7 - стойка; 8 - опора неподвижная; 9 - основание

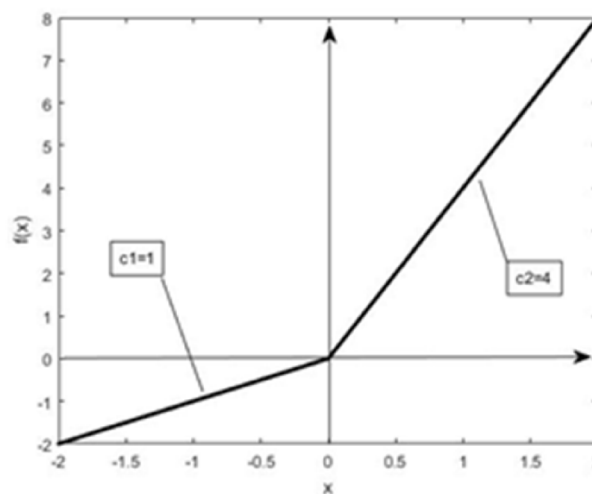


Рисунок 4 – Упругая характеристика асимметричной основной упругой связи ($\gamma=c_2/c_1=4$)

2. Математическая модель

Горизонтальные перемещения рабочего органа 1 (рис. 2) опишем, приняв традиционные допущения [9]. Обозначим через $x(t)$ - перемещение колеблющейся массы относительно положения покоя, тогда её движение описывается уравнением

$$m\ddot{x} + \mu \left(c_1 \frac{1 - \text{sign}(x)}{2} + c_2 \frac{1 + \text{sign}(x)}{2} \right) \dot{x} + \left(c_1 \frac{1 - \text{sign}(x)}{2} + c_2 \frac{1 + \text{sign}(x)}{2} \right) x = m_0 r \omega^2 \sin(\omega t),$$

где m - колеблющаяся масса, состоящая из масс рабочего органа m_1 , корпуса вибровозбудителя m_2 и его неуравновешенных частей m_0 ; r - эксцентриситет неуравновешенных частей вибровозбудителя; μ - коэффициент сопротивления упругой системы; c_1, c_2 - коэффициенты жёсткости упругой опоры в направлении $-X$ и X , соответственно; ω - угловая скорость вращения неуравновешенных частей.

После замены

$x = \xi \Delta, \tau = \omega_0 t, \omega_0 = (c_1/m)^{0.5}, \eta = \omega/\omega_0, \gamma = c_2/c_1, P_0 = m_0 r / m \Delta, \beta = b / m \omega^2 = \mu c_1 / m \omega_0^2 = \mu \omega_0$, (2)
где $\Delta = 10^{-3}$ м, получим уравнение колебаний подвижной массы в безразмерной форме

$$\xi'' + \beta \left(\frac{1 - \text{sign}(\xi)}{2} + \gamma \frac{1 + \text{sign}(\xi)}{2} \right) \xi' + \left(\frac{1 - \text{sign}(\xi)}{2} + \gamma \frac{1 + \text{sign}(\xi)}{2} \right) \xi = P_0 \eta^2 \sin(\eta \tau). \quad (3)$$

При проведении расчётов, для определенности, значение степени нелинейности упругой характеристики принимается равным $\gamma = 4$. Ориентируясь на известные вибрационные машины резонансного типа значение P_0 выбирается из условия, при котором при частоте возмущающей силы в три раза превосходящую собственную, амплитуда колебаний рабочего органа составляет 5-6 мм. Поэтому значение $P_0 = 5$. Коэффициент неупругих сопротивлений $\beta = 0.1$, что соответствует реальным машинам технологического назначения.

3. Последовательность решения задачи и его программное сопровождение

Решение поставленной задачи выполняется в следующей последовательности:

1. проводится построение амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) колебаний системы (3) в дорезонансной зоне, включающей возбуждение наиболее интенсивных супергармонических резонансов 2-го и 3-го порядка;

2. с их помощью устанавливается частота

возмущающей силы, при которой амплитуда старшей 2-й гармоники примерно равна амплитуде основной;

3. определяется стационарный режим движения, соответствующий этой частоте;

4. выполняется его спектрально-фазовый анализ, и выполняется построение его усечённого Фурье-разложения;

5. проводится сравнение оптимального закона движения (1) с полученным стационарным режимом системы;

6. формулируются выводы.

Реализация перечисленных этапов осуществляется с помощью специально разработанного программного обеспечения в виде приложений к среде моделирования *Matlab*. Построение амплитудно-частотных характеристик осуществляется путем сканирования с малым шагом указанного промежутка изменения частоты вынуждающей силы. Для каждого её значения выполняется численное решение системы дифференциальных уравнений (3) на временном отрезке, достаточном для установления колебаний. Затем, на промежутке, равном периоду стационарного режима, проводился его Фурье - анализ с использованием подпрограммы *ifft*, реализующей обратное преобразование Фурье, и полученные результаты выводятся на экран монитора.

С целью снижения общего времени интегрирования дифференциальных уравнений начальные условия, описывающие состояние системы для каждого следующего значения частоты, принимаются равными конечным значениям фазовых переменных, полученным для предыдущего её значения. Решение дифференциальных уравнений (3) выполняется посредством солвера *ode23*, реализующего методы Рунге-Кутты 2-3-го порядков в модификации Богацки и Шампина [10]. В данном случае, он оказывается более надёжным, по сравнению с решателями *ode45* (методы Рунге-Кутты 4-5-го порядка в модификации Дорманда и Принца) и *ode113* (метод Адамса, Башфорта, Моултона), хотя, и немного более медлительным.

4. Полученные результаты, анализ

АЧХ для различных диапазонов частоты вынуждающей силы представлены на рис. 5. На диаграмме слева показана и зона основного резонанса, на диаграмме справа - дорезонансная зона, включающая диапазоны возбуждения супергармонических резонансов порядков 2:1 и 3:1.

В качестве анализа результатов можно отметить, что собственная частота системы не зависит от амплитуды свободных колебаний, постоянна и равна $p_0 = 2c_1c_2/(c_1+c_2) = 4/3$ и поэтому наклон АЧХ в зоне основного резонанса, характерный для нелинейных систем, в данном

случае отсутствует. Супперрезонансы порядков 2:1 и 3:1 наблюдаются при частотах возбуждения примерно в 2 и 3 раза, соответственно, меньше собственной частоты системы. Более интенсивным является резонанс порядка 2:1 и при $\eta = 0.7$ амплитуда второй гармоники примерно равна амплитуде первой.

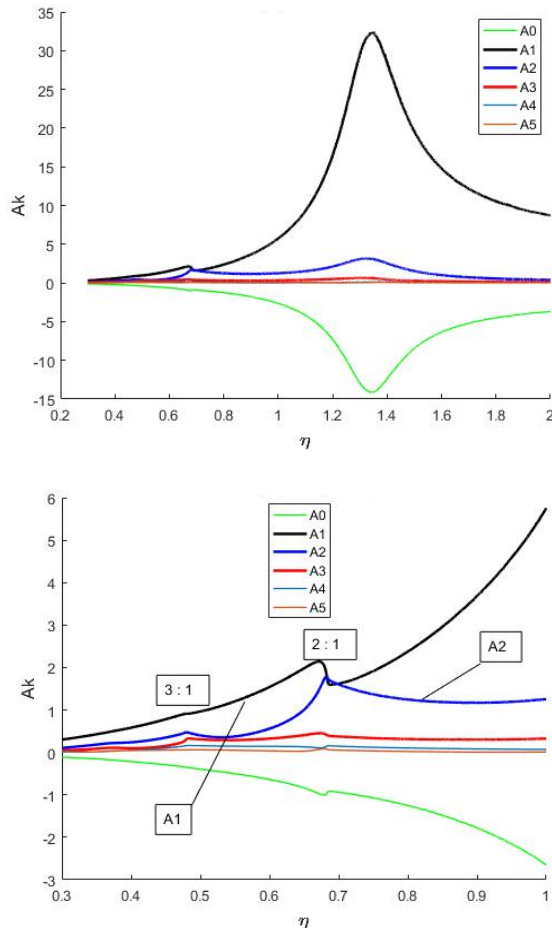


Рисунок 5 – Амплитудно-частотные характеристики системы ($P_0 = 5$)

На рис. 6 представлен стационарный закон движения системы, соответствующий этому значению частоты возбуждения.

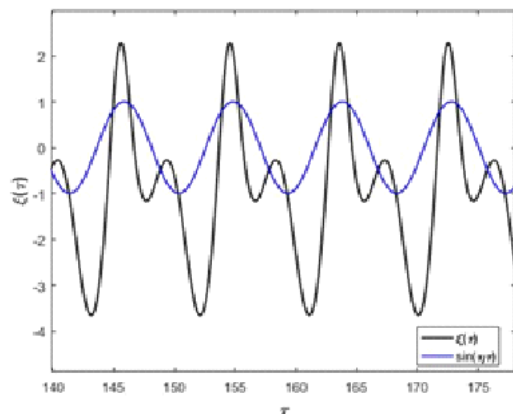


Рисунок 6 – Стационарный режим движения для значения $\eta = 0.7$

С точностью до пяти гармонических составляющих его Фурье-разложение имеет вид

$$\xi(\tau) = -0.9377 + 1.6206 \cos(0.7\tau - 2.1908) + 1.6036 \cos(1.4\tau - 2.5135) + 0.3755 \cos(2.1\tau + 2.2944) + 0.1463 \cos(2.8\tau + 0.9987) + 0.0523 \cos(3.5\tau - 0.1544).$$

Ограничимся рассмотрением его переменной части, которая и обеспечивает относительное перемещение материала вдоль поверхности

$$\xi_1(\tau) = 1.6206 \cos(0.7\tau - 2.1908) + 1.6036 \cos(1.4\tau - 2.5135) + 0.3755 \cos(2.1\tau + 2.2944) + 0.1463 \cos(2.8\tau + 0.9987) + 0.0523 \cos(3.5\tau - 0.1544), \quad (4)$$

и сравним её с оптимальным законом (1). Для того чтобы получить описание (1) через переменную τ выполним замены

$$\begin{aligned} 2\pi t &= 0.7\tau - 2.1908 \Rightarrow \\ 4\pi t &= 1.4\tau - 2 \cdot 2.1908 \Rightarrow \\ 4\pi t + 2.0944 &= 1.4\tau - 2 \cdot 2.1908 + 2.0944 \\ 4\pi t + 2.0944 &= 1.4\tau - 2.2872 \end{aligned}$$

и получим

$$\zeta(t) = A \cos(0.7\tau - 2.1908) + B \cos(1.4\tau - 2.2872)$$

Или, при $A = A_1$, $B = A_2$

$$\zeta(\tau) = 1.6206 \cos(0.7\tau - 2.1908) + 1.6036 \cos(1.4\tau - 2.2872). \quad (5)$$

Для визуального сравнения оба графика (4), (5) представлены на рис. 7 в одной системе координат.

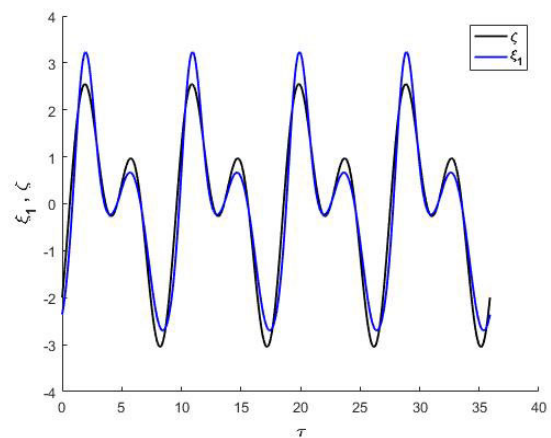


Рисунок 7 – Графики оптимального режима $\zeta(\tau)$ и супергармонического $\xi_1(\tau)$

Они иллюстрируют близость супергармонического режима к оптимальному, а количественные различия объясняются наличием третьей и других дополнительных гармонических составляющих, неизбежных в законе движения нелинейной системы.

Заклучение

Подводя итог проведенному исследованию, следует отметить, что предложенная конструктивная схема нелинейной упругой системы проста, а выполненный динамический анализ демонстрируют возможность формирования в вибромашинах с такой упругой системой движений близких к оптимальным. Данный факт оправдывает планирование и проведение экспериментальных исследований. Конкретные значения физических параметров вибромашины могут быть определены исходя из технико-экономического задания, с учётом зависимостей (2), и требований к интенсивности колебаний. Уточнение их наилучших значений, вполне возможно, потребует ещё и проведения определённых дополнительных расчётов.

Литература

1. Блехман, И. И. Вибрационная механика / И. И. Блехман. – Москва : Физматлит, 1994. – 400 с.
2. Клепиков, С. И. Качество вибрационных транспортно-технологических устройств / С. И. Клепиков. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеанск. гос. ун-та, 2017. – 106 с.
3. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти томах. Т.4. Вибрационные процессы и машины. – Москва: Машиностроение, 1981. – 509 с.
4. Быховский, И. И. Основы теории вибрационной техники / И. И. Быховский. – Москва : Машиностроение. 1968. – 362 с.
5. Гусев, Б. В. Ударно-вибрационная технология уплотнения бетонных смесей / Б. В. Гусев, А. Б. Деминов, Б. И. Крюков, Л. М. Литвин, Е. А. Логвиненко. – Москва : Стройиздат, 1982. – 149 с.
6. Хвингия, М. В. Динамика и прочность вибрационных машин с электромагнитным возбуждением / М.В. Хвингия. – Москва : Машиностроение, 1980. – 144 с.
7. Belovodskiy, V. N. 2:1 Superharmonic Resonance in Two-Masses Vibrating / V. N. Belovodskiy, S. L. Bukin, M. Y. Sukhorukov, A. A. Babakina // Journal of Vibration Engineering and Technologies. – 2015. – Vol. 3, No 2. – P. 123-135.
8. Цыфанский, С. Л. Использование нелинейных эффектов в вибрационных, электрогидравлических и кавитационных технологиях, вибродиагностике, разработке надводных и подводных биороботов. Инновационные предложения / С. Л. Цыфанский. – Санкт-Петербург : ООО «СУПЕРиздательство», 2021. – 196 с.
9. Каминский, В. С. Конструкции и расчёты фильтрующих центрифуг / В. С. Каминский [и др.] – Москва: – Недра, 1976. – 216 с.
10. Кетков, Ю. Л. MATLAB 7. Программирование, численные методы / Ю. Л. Кетков, А. Ю. Кетков, М.М. Шульц. – Санкт-Петербург : – БХВ-Петербург, 2005. – 752 с.

Беловодский В.Н., Букин С.Л. О формировании идеальных законов движения рабочих органов вибрационных транспортирующих машин путём реализации супергармонических резонансов. Рассмотрена одномассовая вибрационная транспортирующая машина горизонтального типа с инерционным возбуждением и билинейной характеристикой основных упругих связей. Показана возможность формирования в ней в зоне супергармонического резонанса порядка 2:1 полигармонических колебаний близких к оптимальным. Предложенная конструктивная схема нелинейной упругой системы проста, а выполненный динамический анализ демонстрируют возможность формирования в вибромашинах с такой упругой системой движений близких к оптимальным.

Ключевые слова: вибрационная машина, супергармонический резонанс, идеальный закон движения.

Belovodskiy V.N., Bukin S.L. On the formation of ideal laws of motion of the working organs of vibrating transporting machines by implementing superharmonic resonances. A single-mass vibrating transporting machine of a horizontal type with inertial excitation and bilinear characteristic of the main elastic ties is considered. The possibility of forming polyharmonic oscillations close to optimal in the superharmonic resonance zone of the order of 2:1 has been established. The proposed constructive scheme of a nonlinear elastic system is simple, and the dynamic analysis performed demonstrates the possibility of forming movements close to optimal in vibrating machines with such an elastic system.

Key words: vibrating machine, superharmonic resonance, ideal law of motion.

Статья поступила в редакцию 30.11.2024
Рекомендована к публикации доцентом Карабчевским В. В.

Метод представления структур через НЕ-факторы как инструмент задания конечных элементов

Д. Н. Чернышов^{*1}, А. В. Григорьев^{*2}

^{*1} аспирант, Донецкий национальный технический университет,
dima.ch2000@mail.ru, SPIN-код: 7574-9127

^{*2} к.т.н., доцент, Донецкий национальный технический университет,
grigorievalvl@gmail.com, SPIN-код: 8830-2813

Аннотация

В работе рассмотрены и проанализированы различные НЕ-факторы. Оценена возможность использования НЕ-факторов в модификации метода конечных элементов. Приведена теория объединения фактора недоопределённости с методом конечных элементов. Приведена теория объединения фактора недоопределённости с методом конечных элементов. Рассмотрена возможность использования фактора недоопределённости при моделировании различных объектов и задач, а также способ исследования недоопределённых моделей с помощью метода программирования в ограничениях и теоретическая возможность модификации метода конечных элементов для работы с недоопределёнными параметрами.

Введение

Метод конечных элементов (МКЭ) зарекомендовал себя как один из самых эффективных на данный момент численных методов решения дифференциальных уравнений для моделирования и анализа напряженно-деформированного состояния объектов в САПР.

Однако проблематикой указанного метода является факт того, что он, как и прочие численные методы, теряет свою эффективность в случаях недостатка данных моделирования, что может оказаться фатальным при проведении реального эксперимента. Принимая в учёт множасьее количество задач моделирования с недостатком входящих данных, эта проблема является достаточно актуальной на сегодняшний день. При наличии недостатка данных, называемого НЕ-факторами, будь то приближенный характер имеющейся информации или отсутствие её части, развиваются подходы, основанные на теории нечетких множеств. В указанных подходах недостаточные данные могут быть включены в классические модели управления и принятия решений в виде приближенных значений параметров, получаемых обычно экспертным путем [1], после чего на основе взаимосвязи между указанными параметрами извлекаются их более точные значения. Одним из методов, работающих по такому принципу, можно назвать метод программирования в ограничениях.

Целью данной работы является анализ НЕ-факторов и возможности использования их при моделировании различных объектов и задач в рамках метода конечных элементов с помощью метода программирования в ограничениях.

1. НЕ-факторы и их разновидности

НЕ-фактор – это некоторое понятие, которое лексически, синтаксически или семантически отрицает какое-либо свойство или аспект знания [2]. Например, недоопределённость отрицает полностью определенные свойства объекта, а противоречивость отрицает непротиворечивость знания и т.д.

Любая формальная система всегда будет характеризоваться наличием определенных НЕ-факторов.

В проблематике ИИ учет, анализ и управление НЕ-факторами имеет первостепенное значение, что обусловлено творческим характером задач создания интеллектуальных технологий, которые всегда решаются в условиях противоречивости, неполноты, неточности, неопределенности исходных данных, отношений между ними, операций их обработки (алгоритмов, процессов решения). Вместе с тем исследователями было отмечено, что достаточно часто современные методы нечеткой математики, вероятностно-статистического вывода, байесовские и нейронные сети, генетические алгоритмы и др. используются без должного анализа природы присутствующих НЕ-факторов, что может привести к неадекватным моделям и выводам [3].

Целенаправленные системные исследования НЕ-факторов начались с работ А.С. Нариньяни, в которых введено понятие указанных факторов и дана их содержательная трактовка [4].

На сегодняшний день тема формализации НЕ-факторов является далёкой от завершения. Указателем на это служит большое различие

между предложенными различными исследователями совокупностями НЕ-факторов.

В работах [3, 5, 6, 7] представлены НЕ-факторы, обоснованное существование которых определяется методами их моделирования, базирующимися на традиционных, а также новых развивающихся математических теориях. Основные типы указанных НЕ-факторов указаны как «неполнота», «неопределённость» и «неточность».

Неполнота представляет собой недостаток данных при том, что собранная информация обладает полнотой и корректностью. Исправить неполноту информации возможно при сборе недостающих данных об объекте.

Неопределённость указывает на недостаток доверия к источнику информации, и то, что собранные данные с некоторой долей вероятности могут быть как истинными, так и ложными. Также неопределённость подразумевает невозможность полностью предугадать поведение исследуемого объекта в определённых ситуациях.

Неточность предполагает, что собранная информация полностью достоверна, но недостаточно точна. Дополнительный анализ такой информации проводится с помощью нечетких методов.

Компенсацию неопределённости и неточности проводят с помощью математических теорий. Для неопределённости это теория вероятности, определяющая шансы происшествия заранее определённых событий, а для неточности – теория нечётких множеств, предназначенная для работы с нечёткими концепциями. В случае одновременного проявления неопределённости и неточности при оценке свойств объекта исследования используется теория свидетельств Демпстера–Шейфера [3].

Исследователь Г.В. Рыбина в своей работе [8] разделяет НЕ-факторы на два типа – НЕ-факторы, которые можно извлекать из эксперта в автоматизированном режиме и НЕ-факторы, не подлежащие извлечению из источников знаний первого рода (рис. 1).

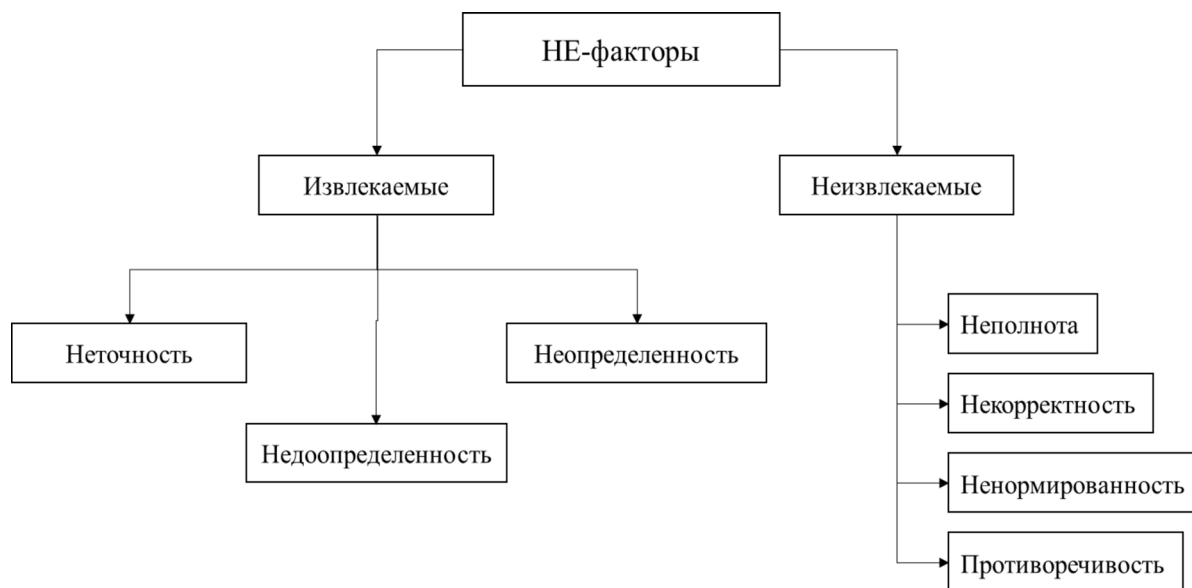


Рисунок 1 – Схема НЕ-факторов.

К НЕ-факторам первого типа исследователь относит упомянутые выше неточность и неопределённость, а также недоопределённость.

Недоопределённость – это частичное отсутствие знаний о свойстве объекта или значении какого-либо параметра. От неточности недоопределённость отличается тем, что в её случае отсутствие знаний можно восполнить доопределением параметра, в то время как неточные измерения параметров самодостаточны сами по себе [2].

К НЕ-факторам второго типа относятся неполнота, противоречивость, некорректность, ненормированность и немонотонность. В работе

[8] рекомендуется различными методами удалять НЕ-факторы второго типа из систем, основанных на знаниях.

Среди указанных НЕ-факторов наиболее подходящим для использования в рамках метода конечных элементов показывает себя фактор недоопределённости.

2. Программирование в ограничениях как метод использования недоопределённости

Программирование в ограничениях (PrOg) является наиболее востребованным способом работы с недоопределённостями в задачах САПР. Метод позволяет решать ряд задач в условиях

недоопределённости. В частности, это могут быть задачи решения дифференциальных уравнений (ДУ).

Рассмотрим детальнее суть метода ПрОг и его применения для решения задач ДУ.

2.1. Изложение существа метода ПрОг

Программирование в ограничениях как теория решения численных задач начиналась как раздел искусственного интеллекта, основанный на НЕ-факторе «недоопределённость» («вычислительные недоопределённые модели») и являлась развитием метода обобщенных вычислительных моделей [9]. На сегодняшний день это представляет собой самостоятельную технологию, претендующую на роль универсального высокоэффективного средства решения различного типа задач, таких как вычислительные, комбинаторные и теоретико-множественные задачи.

При использовании парадигмы программирования в ограничениях любая задача представляется как задача удовлетворения ограничений. Основой технологии является представление алгоритма как совокупности

объектов (переменных), имеющих множество значений (интервалов или множеств) и ограничений (функций). Суть технологии состоит во взаимной «утряске» множеств значений переменных с использованием набора функций, обеспечивающих произвольное направление расчетов. Доказывается, что этот процесс конечный во времени и предлагается конкретный алгоритм «утряски» - «поточковый алгоритм» [10]. Решением задачи удовлетворения ограничений считается полное присваивание, которое удовлетворяет всем ограничениям. Это нахождение либо всех возможных решений, либо одного или нескольких решений, в которых значения переменных оптимизировали бы заданный функционал [11].

Основные методы общего назначения для решения задач удовлетворения ограничений могут быть разбиты на три класса. Первый класс состоит из различных вариантов алгоритмов поиска в глубину с возвратами, которые строят решение путем расширения частичного присваивания шаг за шагом, используя различные эвристики и применяя разумные стратегии возврата из тупиковых вершин (рис. 2).

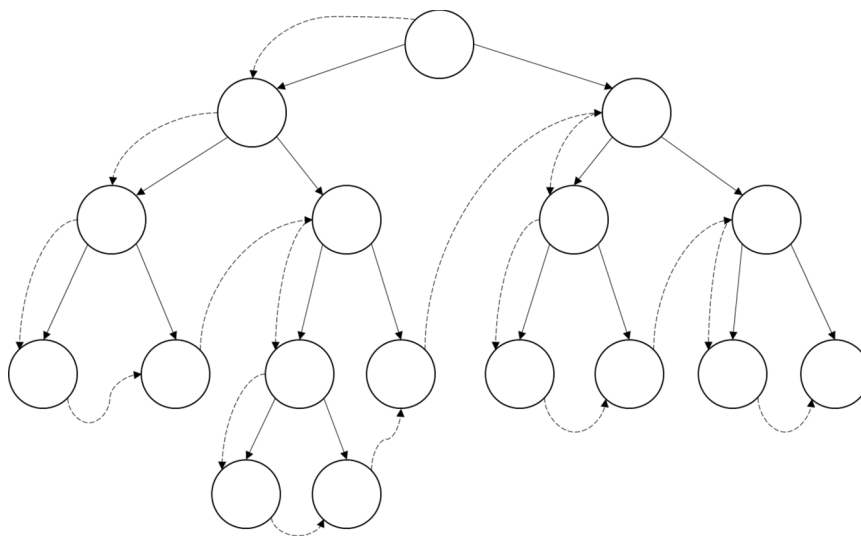


Рисунок 2 – Алгоритм поиска в глубину с возвратами на примере обхода дерева решений.
Путь алгоритма указан пунктирной линией.

Ко второму классу можно отнести алгоритмы распространения ограничений, которые исключают из пространства поиска некоторые элементы, не входящие в решение, обеспечивая снижение размерности задачи. Эти алгоритмы не строят решение сами по себе, поскольку не способны исключить все элементы,

не входящие в решение. Они применяются или для предварительной обработки задачи до использования алгоритмов другого типа, или перемежаются с шагами алгоритма другого типа для повышения производительности последнего (рис. 3).

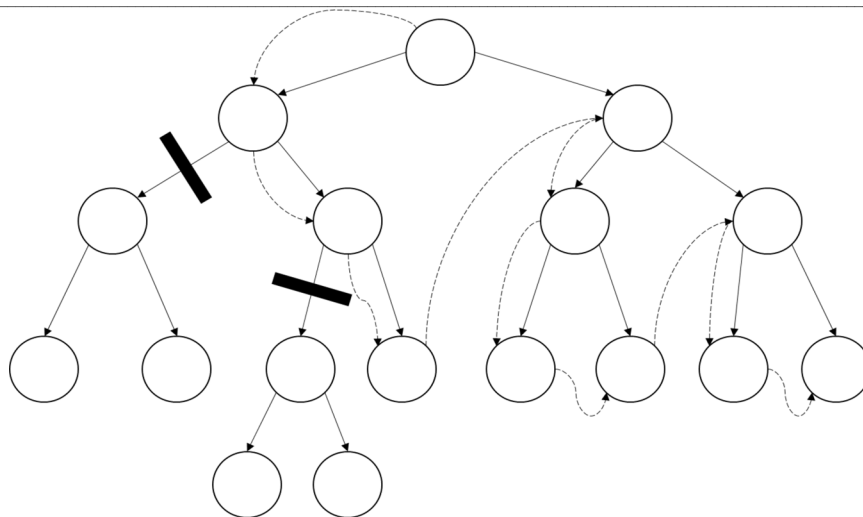


Рисунок 3 – Применение алгоритма распространения ограничений перед поиском в глубину

Методы распространения ограничений осуществляют вывод значений одних переменных на основе известных значений других переменных. Наконец, третий класс методов – структурные алгоритмы – используют информацию о структуре первичного или двойственного графа ограничений задачи. Алгоритмы этого класса производят декомпозицию исходной задачи удовлетворения ограничений на слабо связанные подзадачи [11].

Полезность программирования в ограничениях доказана там, где заканчиваются возможности обычной математики. Оно используется при решении задач планирования, проектирования, прогнозирования, в инженерных и экономических расчетах, при создании графических интерфейсов, составлении расписаний, в биоинформатике, в системах понимания естественного языка и др.

2.2. Использование ПрОг в задачах решения дифференциальных уравнений

Исследователем Григорьевым А.В. в работе [10] была предложена теория о решении с позиции ПрОг задач численного решения дифференциальных уравнений (ДУ). Такой способ решения позволил бы рассматривать задачи ДУ в новой постановке. Например:

- рассматривать не только граничные условия задачи, а также условия, задаваемые для любой подобласти области определения;
- рассматривать не только начальные условия задачи, а также и условия, задаваемые для любых промежуточных или конечных состояний;
- рассматривать задачи проверки существования решения для заданного набора значений параметров;

– решать любые обратные задачи, например задачу поиска начальных или граничных условий по виду возможного решения и т.д. [10].

Если трактовать технологию ПрОг с точки зрения физической семантики предметной области, которая является основой представления моделей в САПР, то речь идет о ряде потенциалов (т.е. объектов), связанных функциями отношениями между потенциалами, характер которых зависит от свойств среды, разделяющей потенциалы. Такие отношения, в зависимости от уровня представления моделей в САПР [12,13,14], могут иметь характер алгебраических или булевых уравнений (уровень функционально-логической модели), простых ДУ (макромодель количественного уровня) или уравнений в частных производных (микромодель количественного уровня). При этом важно отметить, что данное деление моделей в САПР не зависит от конкретной предметной области. Например, на уровне количественной макромодели в предметной области электротехника функции могут иметь вид уравнений сопротивления (алгебраическое уравнение), индуктивности, емкости (простые ДУ) и т.п.

Метод конечных элементов, как один из методов решения дифференциальных уравнений, имеет следующее преимущество при интеграции в него ПрОг – метод ориентирован на интерпретацию ДУ с точки зрения физической семантики предметной области, что позволяет использовать его как полигон для применения ПрОг.

3. Объединение МКЭ и ПрОг

При моделировании с помощью метода конечных элементов область, в которой ищется решение дифференциальных уравнений,

разбивается на конечное количество подобластей (элементов). В каждом из элементов произвольно выбирается вид аппроксимирующей функции. В простейшем случае это полином первой степени. Функция имеет смысл только в границах своего элемента, вне его она равна нулю. Значения функций на границах элементов (в узлах) являются решением задачи и заранее неизвестны.

Поиск коэффициентов аппроксимирующих функций обычно производится, исходя из условия равенства значения соседних функций на границах между элементами (в узлах). Затем эти коэффициенты выражаются через значения функций в узлах элементов. Составляется система линейных алгебраических уравнений, в которой количество уравнений равно количеству неизвестных значений в узлах, на которых ищется решение исходной системы, и прямо пропорционально количеству элементов. Так как каждый из элементов связан с ограниченным количеством соседних, система линейных алгебраических уравнений имеет разреженный вид, что существенно упрощает её решение. Каждая конструкция имеет тенденцию вибрировать на определенных частотах, называемых собственными или резонансными частотами (модами). Каждая частота собственных колебаний ассоциируется с определенной формой, называемой формой колебаний, которую модель стремится принимать при вибрировании на этой частоте. Когда конструкция должным образом возбуждена динамической нагрузкой на частоте, которая совпадает с одной из ее собственных частот, конструкция подвергается большим перемещениям и напряжениям. Настоящее явление называется резонансом. Для недемпфированных систем резонанс вызывает теоретически бесконечное движение. Демпфирование, однако, ограничивает реакцию конструкции, вызванную резонансными нагрузками.

Демпфирование – это воздействие внутри колебательной системы или на нее, которое приводит к уменьшению или предотвращению ее колебаний. В физических системах это потеря энергии колеблющейся системы в результате диссипации. Примерами демпфирования являются вязкое демпфирование в жидкости, поверхностное трение, излучение, сопротивление в электронных генераторах, а также поглощение и рассеяние света в оптических генераторах.

Однако, в случае, когда некоторые параметры не до конца определены, или же определена только часть параметров, входящие данные могут представлять собой интервалы допустимых значений. Тогда следует с помощью метода программирования в ограничениях доопределить параметры модели в соответствии с системой отношений, уменьшив интервалы

значений параметров, либо определить возможные интервальные значения остальных параметров и после этого найти более точные значения искоемых параметров [15].

Таким образом, общая вычислительная модель для такой схемы будет представлена в виде $M = (X = (X^1, X^i, X^0), R)$, где:

- X – множество параметров, значения которых могут принимать различный вид;
- X^1 – параметр представляет собой одно точное значение;
- X^i – параметр обозначен интервальным значением с четкими границами;
- X^0 – параметр представлен неопределённым значением, в таком случае границы интервала принято считать как бесконечные;
- R – множество отношений, связывающих параметры.

При указанной вычислительной модели задача решения системы дифференциальных уравнений будет смешана с задачей удовлетворения ограничений. Приведем общий алгоритм решения задачи удовлетворения ограничений на указанной модели.

Пусть $x(t)$ – вектор недоопределенных значений на шаге t , $Q(t)$ – множество активных ограничений на шаге t , $R(x(t))$ – решение функции c из множества R над вектором $x(t)$, результатом которого является ограничение, представляющее собой интервал $[a, b]$.

Шаг 0: $x(0) := X$; $Q(0) := R$;

Шаг $t + 1$: Если $Q(t) = 0$, то СТОП

Иначе: выбираем c из

$Q(t)$, $x(t + 1) := R_c(x(t))$

Если значение интервала уменьшилось, то:

$Q(t + 1) := Q(t) \setminus \{d R(x(t)) \mid x(t) + 1 \arg d, d \in c\} \setminus \{c\}$

// добавить в список активных ограничений функции, аргументом которых является текущий параметр, и убрать из списка текущую функцию

Таким образом, производится пересчет значений параметров на наборе функций до тех пор, пока он уменьшает интервалы значений [16].

После решения задачи удовлетворения ограничений производится поиск коэффициентов аппроксимирующих функций с использованием полученных (уточнённых) параметров. Следует учитывать, что некоторые из уточнённых значений параметров всё ещё могут быть представлены в виде интервалов, а потому операции должны проводиться по правилам применения интервальной математики.

Учитывая указанные выше особенности метода конечных элементов, подобная система уравнений должна быть представлена для каждого элемента, параметры которых не до конца определены.

Выводы

В работе были рассмотрены и проанализированы некоторые виды НЕ-факторов, указаны способы их устранения и смягчения.

Рассмотрена возможность использования фактора недоопределённости при моделировании различных объектов и задач, а также способ исследования недоопределённых моделей с помощью метода программирования в ограничениях. Также рассмотрена теоретическая возможность модификации метода конечных элементов для работы с недоопределёнными параметрами.

В качестве перспектив работы следует отметить, что результаты данного анализа можно использовать для построения новых полезных модификаций метода конечных элементов, повышающих его эффективность и расширяющих области практического применения.

Литература

1. Шашкин, А. И. О некоторых методах решения задач нечеткого линейного программирования / А. И. Шашкин, М. Ю. Леде-нев, М. М. Шишов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2023. – № 4. – С. 43-57. – DOI 10.17308/sait/1995-5499/2023/4/43-57. – EDN NVQMYS.

2. Dushkin, R. The review of existing approaches, methods and technologies of acquisition, representation and processing knowledge with NOT-factors / R. Dushkin. 10.13140/RG.2.2.19692.87680.

3. Коваленко, И. И. Некоторые не-факторы и методы их моделирования / И. И. Коваленко, А. В. Швед // Вестник Херсонского национального технического университета, 2013. - №1 (46). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-ne-factory-i-metody-ih-modelirovaniya> (дата обращения: 05.11.2024).

4. Нариньяни, А. С. Недоопределенные модели и операции с недоопределенными значениями / А. С. Нариньяни. – Новосибирск, 1982. – 33 с. (Препр./ АН СССР. Сиб. отделение ВЦ; № 400).

5. Вагин, В.Н. Знание в интеллектуальных системах / В. Н. Вагин // Новости искусственного интеллекта. – 2002. – №6. – С. 8 – 18.

6. Рыбина Г. В. Модели, методы и программные средства для построения интегрированных экспертных систем: автореферат диссертации на соискание ученой степени д-ра техн. наук: 05.13.11 / Г. В. Рыбина. – М., 2004. – 44 с.

7. Борисов, А. Н. Принятие решений на основе нечетких моделей / А. Н. Борисов,

О. А. Крумберг, И. П. Федоров. – Рига: «Зинатне», 1990. – 184 с.

8. Душкин, Р. В. Об одном подходе к автоматизированному извлечению, представлению и обработке знаний с НЕ-факторами / Р. В. Душкин, Г. В. Рыбина // Изв. РАН. ТиСУ. – 1999. – № 5. – С. 84 – 96.

9. Нариньяни, А. С. Недоопределенность в системах представления и обработки знаний / А. С. Нариньяни // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика, 1986. -№ 5. С. 3 – 28.

10. Григорьев, А. В. Программирование в ограничениях как метод численного решения дифференциальных уравнений в инструментальной оболочке для создания интеллектуальных САПР / А. В. Григорьев // Донбас – 2020: Наука і техніка – виробництву: Матеріали II науково-практичної конференції. м. Донецьк, 3-4 лютого 2004 р. – Донецьк: ДонНТУ, 2004. – С. 524-532.

11. Зуенко, А. А. Парадигма программирования в ограничениях при решении задач составления расписаний: аналитический обзор / А. А. Зуенко, О. В. Фридман, О. Н. Зуенко // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2022. – № 4. – С. 156-179. – DOI 10.17308/sait/1995-5499/2022/4/156-179. – EDN ISPLYB.

12. Петренко, А. И. Основы построения систем автоматизированного проектирования / А. И. Петренко, О. И. Семенов. - К.: ВШ, 1984. - 296 с.

13. Норенков, И. П. Введение в автоматизированное проектирование технических устройств и систем / И. П. Норенков. - М.: Высш. шк., 1986. - 304 с.

14. Норенков, И. П. Разработка систем автоматизации проектирования / И. П. Норенков. - М.: МГТУ им. Э.Н. Баумана, 1994. - 207 с.

15. Зуенко, А. А. Развитие логического подхода к решению задач интеллектуального планирования: аналитический обзор / А. А. Зуенко, О. В. Фридман // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2023. – № 4. – С. 104-127. – DOI 10.17308/sait/1995-5499/2023/4/104-127. – EDN GZQHPK.

16. Крилевич, С. Д. Разработка системы автоматизированного решения вычислительных задач САПР, основанной на методе программирования в ограничениях / С. Д. Крилевич, А. В. Григорьев // Наукові праці національного технічного університету. Серія «Проблеми моделювання та автоматизації проектування динамічних систем. (МАП-2011). - Донецьк: ДонНТУ, 2011. – Вип. 9 (129). – С. 43-51.

Чернышов Д.Н., Григорьев А.В. Метод представления структур через НЕ-факторы как инструмент задания конечных элементов. В работе рассмотрены и проанализированы различные НЕ-факторы. Оценена возможность использования НЕ-факторов в модификации метода конечных элементов. Приведена теория объединения фактора недоопределённости с методом конечных элементов. Рассмотрена возможность использования фактора недоопределённости при моделировании различных объектов и задач, а также способ исследования недоопределённых моделей с помощью метода программирования в ограничениях и теоретическая возможность модификации метода конечных элементов для работы с недоопределёнными параметрами.

Ключевые слова: метод конечных элементов, дифференциальные уравнения, НЕ-факторы, недоопределённость, программирование в ограничениях.

Chernishov D.N., Grigoriev A.V. A method of representing structures through NON-factors as a tool for finite element specifying. Various NON-factors are considered and analyzed in the work. The possibility of using NON-factors in the modification of the finite element method is evaluated. The theory of combining the underdetermination factor with the finite element method is presented. The possibility of using the underdetermination factor in modeling various objects and tasks is considered, as well as a method for investigating underdetermined models using the constraint programming method and the theoretical possibility of modifying the finite element method to work with underdetermined parameters.

Keywords: finite element method, differential equations, NON-factors, underdeterminacy, constraint programming.

Статья поступила в редакцию 30.11.2024
Рекомендована к публикации профессором Зори С. А.

Виды потоков в организации

А. И. Боровиков, О. А. Криводубский
aleksey.borovikov.00@mail.ru

Аннотация

В статье рассмотрено понятие логистического потока, определены и описаны вспомогательные виды логистических потоков, рассмотрены основные существующие определения каждого из потоков, раскрыта их сущность и роль в управлении, описана классификация логистических потоков. Описаны зависимости основных потоков друг от друга. Сделан вывод, что оптимизация информационных потоков может привести к значительному улучшению общих бизнес-процессов, способствуя росту и успешному развитию организации.

Введение

В научных кругах стало аксиомой, что основное отличие логистического подхода от традиционного заключается в том, что управление осуществляется сквозным материальным потоком, а не потоками, разделёнными по функциональным областям логистики, или даже по логистическим операциям. Тем не менее, в реальности логистический менеджмент должен управлять именно разделёнными по логистическим процессам потоками, причём потоками различной природы: материальными, финансовыми, информационными [1].

Успех деятельности любой компании или фирмы зависит от того, насколько эффективно осуществляется управление продовольственной и материально-технической базой. Бизнес всегда требует грамотного и взвешенного подхода и анализа ситуации. Здесь приходит на помощь логистика, позволяющая предприятию увеличить прибыль и сделать конкурентоспособными товары и услуги, оптимально используя материалопроводящие системы, ключевой целью которой является эффективное управление логистическими потоками [2].

Информация из вспомогательного инструмента превращается в один из важнейших ресурсов для эффективного функционирования деятельности человека. Таким образом, оптимизация информационных потоков позволит увеличить прибыль предприятия и упростить менеджмент.

Виды потоков

Под потоком понимают направленное движение совокупности чего-либо условно однородного (например, продукции, информации, финансов, материалов, сырья и т.п.). Потоки представляют собой одни или множество объектов, воспринимаемых как единое целое, существующие, как процесс на определённом

временном интервале и измеряемые в абсолютных единицах. Рассмотрим 5 вида потоков: материальные, информационные, финансовые, кадровые, сервисные.

Материальный поток — это находящиеся в состоянии движения материальные ресурсы, незавершённое производство и готовая продукция, к которым применяются логистические операции, связанные с их физическим перемещением в пространстве: погрузка, разгрузка, затаривание, перевозка, сортировка, консолидация, разукрупнение, и т.п. [3].

Материальные потоки играют огромную роль в современных производственных и экономических процессах. С их помощью осуществляется передача и обмен материальными ресурсами между различными объектами. Классификация материальных потоков позволяет систематизировать и описать их характеристики, а также провести анализ и оптимизацию. Общая классификация материальных потоков:

1. По направлению перемещения:

— входящие потоки — перемещение материальных ресурсов от поставщиков к организации;

— исходящие потоки — перемещение материальных ресурсов от организации к клиентам;

— внутренние потоки — перемещение материальных ресурсов внутри организации.

2. По характеру материала:

— сырьевые потоки — перемещение сырья и материалов, которые не были подвергнуты обработке;

— производственные потоки — перемещение материалов и полуфабрикатов внутри предприятия в процессе производства;

— готовые продукты — перемещение готовых товаров от производителя к потребителю.

3. По методу перемещения:

— потоки с обратным током – перемещение материальных ресурсов по обратной траектории, например, при возврате товара клиентом;

— потоки с прямым током – перемещение материальных ресурсов по прямой траектории, от поставщика к клиенту.

Это лишь общая классификация материальных потоков, которая помогает организации структурировать и анализировать процессы перемещения материальных ресурсов и эффективно управлять ими [4].

Далее рассмотрим информационные потоки. Информационный поток – это информация, находящаяся в упорядоченном движении по заданным направлениям с фиксированными начальными, промежуточными и конечными точками. Информационные потоки могут классифицироваться в зависимости от принципов построения информационной системы, которая реализует эти потоки, и определяются видом индикации, однородностью, периодичностью, степенью взаимосвязей, объемом и другими характеристиками передаваемой информации [5]. Классификация информационных потоков:

1. По отношению к логистической системе
 - a) Внутренние
 - b) Внешние
 - c) Горизонтальные
 - d) Вертикальные
2. По назначению информации
 - a) Директивные
 - b) Нормативно-справочные
 - c) Учетно-аналитические
 - d) Вспомогательные
3. По времени возникновения
 - a) Регулярные
 - b) Периодические
4. По периодичности использования
 - a) Оперативные
 - b) Моментальные
 - c) Отложенные
5. По степени открытости и уровню значимости
 - a) Открытые: коммерческие, простые
 - b) Закрытые: секретные, заказные.
6. По виду носителей информации
 - a) На бумажных носителях
 - b) На магнитных носителях
 - c) Электронные
 - d) Прочие
7. По способу передачи данных
 - a) Курьером, почтой
 - b) По телефону
 - c) По радио, телевидению
 - d) Электронной почтой
 - e) По телекоммуникационным сетям

Потоки информации на предприятии генерируются и структурируются, обрабатываются, обобщаются и хранятся. Для того чтобы выявить факторы нарастания генерируемых и структурированных объемов информации на предприятии, следует обобщить информацию. Всю передающуюся информацию необходимо проанализировать, выделить самое главное – определить её характеристику. Динамической характеристикой системы, которой является предприятие, предлагаем считать численность работающих на предприятии, поскольку именно они являются источниками восприятия и передачи информации.

Одним из представлений о времени является представление времени в виде спирали. Если рассматривать развивающуюся систему, то она также развивается по спирали. При прохождении каждого витка спирали в результате развития в системе происходит накопление информации. Эта информация накапливается в виде свободной информации. Спиралевидное развитие подразумевает, что на следующем витке развития повторяются некоторые черты, свойственные предыдущим виткам, но в целом все характеристики претерпевают качественные изменения.

Следующий основной вид потоков – финансовые. Единого определения финансовых потоков не существует, поэтому рассмотрим 2 определения. Глобальное определение финансового потока по Оксфордскому экономическому словарю -- обмен денежной стоимостью между двумя экономиками или между компонентами внутри экономики, включая торговлю, инвестиции и помощь. Определение финансового потока на предприятии сформулированное В.В. Бочаровым -- объем денежных средств, который получает или выплачивает предприятие в течение отчетного или планируемого периода [6].

Однако несмотря на существование различных подходов, все авторы едины в определении сущностных характеристик финансового потока, рассматривая его в качестве:

1. движения (мобилизации и распределения) финансовых ресурсов;
2. платежа фискальной системе государства, служащего источником формирования централизованных и децентрализованных государственных фондов;
3. инструмента управления воспроизводственными процессами, поскольку контроль и своевременная корректировка направления движения финансовых потоков оказывают определяющее влияние на обеспечение отраслей и секторов экономики финансовыми ресурсами.

Понятие «финансовый поток» применительно к организациям (предприятиям) появилось сравнительно недавно в процессе развития финансовых отношений на всех стадиях современного общественного воспроизводства. При этом следует отметить, что в рыночной экономике эффективное управление финансовыми потоками организаций приобретает особое значение.

Цель управления финансовыми потоками заключается в обеспечении финансовыми ресурсами финансово-хозяйственной деятельности организации при условии соблюдения требований сбалансированности и финансовой устойчивости на текущий и планируемый периоды. Сущностные характеристики финансовых потоков заключаются в следующем:

1. финансовые потоки обуславливают изменение объёма, состава, размещения и использования финансовых ресурсов;
2. каждый финансовый поток имеет свой источник возникновения и направление движения;
3. понятие стоимости финансовых ресурсов основывается на их специфике в качестве «товара»; стоимостью финансовых ресурсов является минимальная альтернативная доходность вложения средств, сложившаяся на финансовом рынке на определённый период времени;
4. способность финансовых потоков генерировать экономический эффект, основной формой которого выступают «чистые потоки фондов»;
5. финансовый поток не всегда приводит к реальному движению денежных средств и их эквивалентов;
6. изменение финансового состояния организации за определённый период является результатом воздействия финансовых потоков.

Таким образом, в основе финансовых потоков организации прежде всего лежит движение финансовых ресурсов. В экономической литературе и практике понятие «финансовые ресурсы» используется широко, однако его толкование неоднозначно. В энциклопедии «Политическая экономия» финансовые ресурсы рассматриваются как совокупность ресурсов на государственном уровне: «...Это составная часть экономических ресурсов, представляющая собой средства денежно-кредитной и бюджетной системы, которые используются для обеспечения бесперебойного функционирования и развития народного хозяйства...».

В экономической литературе рассматриваются около двух десятков различных признаков классификации финансовых потоков. Основными из них, характеризующими их

экономическую сущность, по нашему мнению, являются:

1. взаимосвязь финансовых потоков с бухгалтерским балансом (отчётом);
2. вид хозяйственной деятельности, генерирующий финансовые потоки;
3. направленность движения финансовых потоков;
4. достаточность и сбалансированность финансовых потоков.

Исходя из того, что показателями, характеризующими наличие финансового потока, является изменение статей и актива (имущества), и пассива (обязательств) баланса, опровергается традиционно сложившееся мнение об источниках финансовых ресурсов как о средствах, представленных по пассиву балансового отчёта. Деление финансовых потоков на «активные», «пассивные» и «активно-пассивные» рассматривается именно с точки зрения источников финансовых ресурсов и их использования: «активным» является финансовый поток, приводящий к изменению исключительно в составе имущества хозяйствующего субъекта; «пассивный» приводит к изменению в составе источников финансирования, а «активно-пассивный», соответственно, либо к увеличению имущества и источников его образования, либо к их уменьшению.

Данная классификация финансовых потоков является определяющей, поскольку от правильно организованного управления динамикой и направлением финансовых потоков зависит финансовая устойчивость организации [7].

Кадровые потоки - следующий вид потоков в логистике. В условиях динамичной среды функционирования субъектов хозяйствования и экономических систем государств и регионов возникает необходимость в быстром реагировании на изменения, в том числе и в сфере логистики. Персонал является движущей силой, источником инноваций на любом предприятии. Но только при условии оптимального формирования кадрового состава, обеспечение его мобильности, распределения в системе рабочих мест и минимизации текучести. Все эти вопросы изучает кадровая логистика, которая является самостоятельной функциональной сферой любой логистической системы.

Цель кадровой логистики – оптимизация расходов на содержание персонала при максимизации отдачи и результативности их профессиональной деятельности [8].

Кроме того, человеческим ресурсам присущ долгосрочный характер использования и, что самое главное, возможность развития в процессе использования. Развитие кадров через обучение в процессе их трудовой деятельности –

важная отличительная особенность данных ресурсов по отношению ко всем остальным.

Кадровая логистика предприятия имеет три основных логистических функции: оптимизация входящих кадровых потоков в

соответствии с потребностями фирмы, оптимизация внутренних кадровых потоков – использование кадров, развитие кадров и оптимизация выходящих кадровых потоков – высвобождение кадров (см. Таблицу 1).

Таблица 1 – Структура кадровой логистики

Структура кадровой логистики			
Оптимизация входных потоков	Оптимизация внутренних потоков		Оптимизация выходных потоков
	использование (обучение)	развитие	
Анализ обеспеченности кадрами	Организация труда	Обучение	Планирование высвобождения работников
Планирование персонала	Мотивация	Планирование служебной карьеры	Высвобождение (увольнение)
Отбор	Оплата труда	Социальное развитие	Анализ обеспеченности кадрами
Прием	Контроль	Формирование культуры и имиджа фирмы	
Адаптация	Оценка работников		

При таком подходе логистика должна обеспечить оптимальный баланс между входящими и выходящими кадровыми потоками, чтобы кадровый потенциал предприятия развивался в соответствии с развитием этого предприятия. Оптимизация и рационализация кадровых потоков являются главной целью и содержанием кадровой логистики. При этом, говоря об оптимизации, необходимо указать цель движения кадровых потоков. Только в таком случае можно судить об эффективности её достижения [9].

Сервисный поток - один из не основных потоков в логистике. Попытаемся разобраться с двойной трактовкой сервисных потоков (услуг). Одно из многочисленных определений сервисного потока приведено в работе [36]: «сервисный поток — это поток услуг (нематериальной деятельности, особого вида продукции или товара), генерируемый логистической системой в целом или ее подсистемой (звеном, элементом) с целью удовлетворения внешних или внутренних потребителей организации бизнеса». Дополнительно к этому понятию даются определения «сервиса» и «услуги». Согласно международному стандарту ISO 8402:1994, термин «услуга» означает итоги непосредственного взаимодействия поставщика и потребителя и внутренней деятельности поставщика по удовлетворению потребностей потребителя. [2]

Сервис - процесс предоставления услуги - деятельность поставщика, необходимая для обеспечения услуги. Несмотря на важность сервиса, эффективные способы оценки его качества до сих пор отсутствуют, что объясняется рядом особенностей сервиса в сравнении с характеристиками продуктов. Такими

особенностями (характеристиками сервисных потоков) являются:

1. Неосвязаемость сервиса. Заключается в сложности для поставщиков сервиса объяснить и специфицировать сервис, а также трудностями оценить его со стороны покупателя.
2. Покупатель зачастую принимает прямое участие в производстве услуг.
3. Услуги потребляются в момент их производства, т.е. услуги не складываются и не транспортируются.
4. Покупатель никогда не становится собственником услуги [10].

Информационные потоки

Информационный поток — это совокупность циркулирующих в логистической системе, между логистической системой и внешней средой сообщений, необходимых для управления, анализа и контроля документов (носителей), звука, символов и сигналов. Информационные потоки имеют следующие характеристики:

- неоднородность (информация, используемая в логистических системах, качественно разнородна, может осуществляться на разных языках);
- множественность подразделений – поставщиков информации, потребителей информации и посредников передачи информации;
- сложность и трудность практической обозримости информационных маршрутов и архитектуры каналов;
- множественность числа передач единиц документации по каждому маршруту;
- многовариантность оптимизации информационных потоков.

Выделяют следующие виды информационных потоков:

- в зависимости от вида связываемых потоком систем: горизонтальный (поток сообщений между партнёрами по хозяйственным связям одного уровня управления) и вертикальный (поток сообщений, поступающих от руководства в подведомственные ему звенья логистической системы);
- в зависимости от места прохождения: внешний (поток протекающий во внешней, по отношению к логистической системе, среде) и внутренний (поток сообщений, циркулирующих внутри одной логистической системы);
- в зависимости от направления по отношению к логистической системе: входной (поток сообщений, входящих в логистическую систему, либо в одну из подсистем) и выходной (поток сообщений, выходящих за пределы логистической системы, либо одной из подсистем);
- в зависимости от срочности: обычные, срочные и очень срочные, в режиме реального времени;
- в зависимости от степени секретности: обычные, содержащие коммерческую тайну и содержащие государственную тайну;
- в зависимости от значимости почтовых сообщений: простые, заказные, ценные;
- в зависимости от скорости передачи: традиционные (почты), быстрые (факс, электронная почта, телеграф, телетайп, телефон);
- в зависимости от области охвата: местные, иногородние, дальние, междугородные [11].

С управленческой точки зрения информационные потоки рассматриваются как потоки данных, циркулирующие между управляющей системой, внешней средой и объектами управления для обеспечения их полноценного функционирования. При этом под объектами управления понимаются сложные системы, состоящие из технологических процессов (бизнес-процессов) и из средств производства.

В этом смысле информационные потоки могут быть входными, т.е. идущими из внешней среды в управляющую систему (например, информация о рыночных тенденциях, уровне потребительского спроса, конкуренции), а также выходными, т.е. идущими от объектов управления во внешнюю среду опосредованно через управляющую систему (например, отчёты перед контролирующими органами, информация для потребителей и т.д.).

Внутри предприятия существуют информационные потоки управления, т.е. потоки информации, передающиеся от управляющей системы объектам управления и обратно и

сопровожающие все процессы хозяйственно-экономической деятельности.

Информационный поток позволяет обеспечить систему управления необходимыми данными, соответствующими уровню и иерархии управления, необходимого качества и в установленные сроки.

Отметим, что информационные потоки могут нести данные 3-х основных групп:

- данные о производимых товарах или услугах;
- данные о реализуемых процессах;
- данные о ресурсах, которые необходимы для осуществления бизнес-процессов.

Исходя из сущности информационных потоков, которые выполняют регулируемую роль в деятельности компании, очевидно, что возникает необходимость в управлении ими.

В работе Г.А. Сторожилова приводятся несколько подходов к определению понятия «управление информационными потоками».

Первый подход - управленческий. Деятельность по ограничению скорости передачи определённой информации до величины, соответствующей ей скорости приёма и закрепления, в ограничении объёма информационного потока до установленных параметров пропускной способности отдельного узла и/или участка пути следования. Управление информационными потоками есть планирование, контроль и регулирование поступающего на предприятие, обрабатываемого там и покидающего это предприятие информационного и соответствующего ему материального потока.

Вторым подходом является экономический. Управление информационными потоками рассматривается как процессы, направленные на обеспечение должного уровня исполнения производственных операций и соответствующего обслуживания клиентов.

И третий заключающий подход - комплексный. Управление информационными потоками представляется как процесс планирования, регулирования и контроля за внешними и внутренними информационными потоками предприятия, целевой функцией которого является обеспечение эффективности производственно-хозяйственной деятельности.

Несмотря на различия в рассмотренных подходах, главной целью предприятия является управление информационными потоками максимизация прибыли [12].

Связь информационных и финансовых потоков

В течение длительного периода времени информация как экономический ресурс выносилась за пределы исследований в экономической теории. Только благодаря

информатизации, увеличению значимости информационных факторов в экономике, появлению возможности использовать информацию как экономический ресурс, в последние десятилетия учёные начали уделять внимание изучению информации в рамках экономической деятельности.

Классическая экономическая теория исходила из предположения, что каждый хозяйствующий субъект обладает полной информацией о рыночной ситуации, на основе которой он принимает рациональные решения. Следовательно, информация не рассматривалась в классической теории в качестве экономического ресурса, признаком которого является ограниченность. Под информацией в данном подходе понимались различные сведения и знания о рынке.

За последние два десятилетия роль информации в экономических отношениях существенно увеличилась. Современные технологии настолько сложны, что для их организации нужны колоссальные объёмы данных. Без информационных потоков не могут существовать бизнес-процессы в организации. Вся человеческая жизнь основана на обмене знаниями и опытом с другими людьми. Все большее значение приобретает информационное богатство. Информация порождает новые рыночные ниши, расширяет совокупное предложение и спрос, резко повышает ёмкость рынка. Оценка стоимости информации как экономического блага становится важной, но одновременно и сложной задачей для многих экономических субъектов. [13]

Возвращаясь к логистическим потокам, стоит отметить, что сравнение и оценка действительного и планируемого состояния логистической системы даёт информацию, необходимую для выработки управленческих решений, ведущих к полезному результату процесса управления. В процессе управления выделяются следующие этапы: анализ ситуации, принятие решения, его реализация и контроль над исполнением. Из этого списка этапов управления наиболее ответственным является этап принятия решений. Причём, решение, как правило, приходится принимать в условиях альтернативности и частичной неопределённости. Как следствие, частичная неопределённость переносится и на результаты логистических решений. Кроме того, на них накладываются и недетерминированные воздействия внешней среды предприятия.

В концепции рассмотрения интегрального логистического потока как суммы стоимостей всех его трёх составляющих (материальной, финансовой и информационной) стоимостные вклады потоков различной природы в итоговый интегральный поток могут быть принципиально

равноценными и «передавать» свою стоимость полностью или частично. Например, заказ на поставку (информационный поток) в рамках продажи превращается в реальную поставку (материальный поток), которая, в свою очередь, после оплаты трансформируется в поток денежных средств (финансовый поток). В соответствии с этой концепцией, стоимостная оценка информационного потока равна стоимости поставки.

Выводы

Информационные потоки в менеджменте имеют ключевое значение. Особое внимание следует уделить оптимизации информационных потоков. Управление информацией становится ключевым аспектом современного бизнеса, позволяя предприятиям ускорить обработку данных, повысить надёжность и безопасность, а также улучшить качество принятия решений.

Этот подход особенно актуален в условиях глобализации и возрастающей конкуренции, побуждая предприятия к постоянному поиску инновационных методов управления потоками. Оптимизация информационных потоков может привести к значительному улучшению общих бизнес-процессов, способствуя росту и успешному развитию организации.

Литература

1. Анализ концепций взаимодействия основных логистических потоков. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-kontseptsiy-vzaimodeystviya-osnovnyh-logisticheskikh-potokov>
2. Классификация логистических потоков. - URL: <https://studref.com/711955/logistika/klassifikatsiya-logisticheskikh-potokov>
3. Материальный поток. - URL: <https://www.grandars.ru/college/logistika/materialnyy-potok.html>
4. Материальный поток в логистике. - URL: <https://wiki.fenix.help/logistika/materialnyj-potok>.
5. Особенности процесса управления информационными потоками на предприятии в современных условиях. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-protsessa-upravleniya-informatsionnymi-potokami-na-predpriyatii-v-sovremennyh-usloviyah>
6. Финансовые потоки организации: цифровое сопровождение и электронное управление. - URL: <http://journal.asu.ru/mmo/article/view/14672/12472>
7. Тютюкина, Е. Б. Финансовые потоки: сущность и признаки классификации / Е. Б. Тютюкина, К. М. Афашагов. // Финансы: теория и практика. - 2007. - № 4. URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/finansovye-potoki-suschnost-i-priznaki-klassifikatsii>

8. Коломыц, О. Н. Кадровая логистика в системе предприятия / О. Н. Коломыц, И. О. Вознюк, В. В. Нестеров // Научный вестник ЮИМ. - 2019. - № 1. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kadrovaya-logistika-v-sisteme-predpriyatiya>

9. Митин, А. Н. Логистический подход к управлению персоналом организации / А. Н. Митин, Н. Г. Кормин // Journal of new economy. - 2007. - № 1 (18). - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/logisticheskiy-podhod-k-upravleniyu-personalom-organizatsii>

10. Сервисный поток. - URL: https://vuzlit.com/213303/servisnyy_potok

11. Маркарян, Ю. К. Исследование информационных потоков в логистической системе / Ю. К. Маркарян // Символ науки. - 2016. - № 12-1. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-informatsionnyh-potokov-v-logisticheskoy-sisteme>

12. Думина, Д. В. Управление информационными потоками как способ повышения эффективности хозяйственной деятельности предприятия / Д. В. Думина, А. Л. Тарасевич // Экономика и социум. - 2019. - № 11 (66). - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-informatsionnymi-potokami-kak-sposob-povysheniya-effektivnosti-hozyaystvennoy-deyatelnosti-predpriyatiya>

13. Бойко, Е. И. Информационные потоки и их место в менеджменте / Е. И. Бойко // Пространство экономики. - 2007. - № 1-3. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/informatsionnye-potoki-i-ih-mesto-v-menedzhmente>

14. Грейз, Г. М. Анализ концепций взаимодействия основных логистических потоков / Г. М. Грейз, Ю. Г. Кузменко, И. В. Хатеев // Российское предпринимательство. - 2013. - № 5 (227). - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-kontseptsiy-vzaimodeystviya-osnovnyh-logisticheskikh-potokov>

Криводубский О. А., Боровиков А. И. Виды потоков в организации. В статье рассмотрено понятие логистического потока, определены и описаны вспомогательные виды логистических потоков, рассмотрены основные существующие определения каждого из потоков, раскрыта их сущность и роль в управлении, описана классификация логистических потоков. Описаны зависимости основных потоков друг от друга. Сделан вывод, что оптимизация информационных потоков может привести к значительному улучшению общих бизнес-процессов, способствуя росту и успешному развитию организации.

Ключевые слова: логистика, логистический поток, материальный поток, информационный поток, финансовый поток.

Krivodubsky O. A., Borovikov A. I. Types of flows in an organization. The article examines the concept of a logistics flow, identifies and describes auxiliary types of logistics flows, examines the main existing definitions of each of the flows, reveals their essence and role in management, and describes the classification of logistics flows. The dependencies of the main flows on each other are described. It is concluded that optimizing information flows can lead to significant improvements in overall business processes, contributing to the growth and successful development of an organization.

Key words: logistics, logistics flow, material flow, information flow, financial flow.

Статья поступила в редакцию 30.11.2024
Рекомендована к публикации профессором Зори С. А.

Интеграция технологии блокчейна для повышения прозрачности и безопасности данных в CRM-системах

Д. А. Алымов, А. В. Боднар, А. Р. Нестеренко

dnlalmv5@mail.ru,

linabykova13@ya.ru, OrcID: 0000-0002-1800-0178, SPIN-код: 5068-7409

Аннотация

Статья посвящена изучению возможностей блокчейн-технологии для усовершенствования систем управления взаимоотношениями с клиентами (CRM). Исследование охватывает ключевые аспекты использования блокчейна: улучшение защиты от подделок и фальсификаций данных, децентрализованное хранение, автоматизация процессов через смарт-контракты, а также создание прозрачной цепочки взаимодействий с клиентами. В статье затронуты вопросы масштабируемости и юридические аспекты, связанные с использованием блокчейна, таким как соблюдение международных стандартов защиты данных. Проведен обзор алгоритмов консенсуса, подходящих для CRM, и обсуждаются роли полных и неполных узлов в поддержке децентрализованной структуры. Работа также рассматривает модели управления доступом, что позволяет обеспечить надежную защиту персональных данных клиентов и управление их идентификацией на распределенной основе.

Введение

В условиях стремительного развития цифровых технологий и глобализации бизнеса современные компании все больше зависят от эффективных систем управления взаимоотношениями с клиентами (CRM). Эти системы обеспечивают компании данными для анализа потребностей клиентов, автоматизации бизнес-процессов, построения персонализированных стратегий взаимодействия и повышения общей эффективности работы. Однако наряду с этим растут и требования к защите данных, хранящихся в CRM. Вопрос безопасности и целостности данных становится все более актуальным, так как именно доверие клиентов к прозрачности и сохранности информации является одним из ключевых факторов конкурентоспособности компании.

Технология блокчейн в последние годы привлекает к себе внимание как перспективное решение для обеспечения безопасности данных в распределенных системах. Её уникальные возможности, такие как децентрализованное хранение, неизменяемость записей и возможность применения смарт-контрактов, делают её подходящей для задач, связанных с защитой и управлением данными в CRM-системах. Интеграция блокчейна в CRM может не только повысить уровень безопасности, но и обеспечить прозрачность взаимодействий с клиентами, автоматизацию сложных процессов и защиту от фальсификации данных. Внедрение блокчейна в CRM, таким образом, представляется перспективным направлением исследований.

Настоящее исследование направлено на изучение возможностей применения блокчейн-технологий в CRM, анализ их преимуществ, возможных технических и организационных вызовов.

Риски фальсификации и утечек данных

Современные CRM-системы сталкиваются с проблемой фальсификации и утечки данных, что может приводить к значительным репутационным и финансовым потерям для компаний. Например, сотрудники могут подделать данные о транзакциях, чтобы скрыть ошибки или получить персональную выгоду.

Фальсификация данных — одна из главных угроз для бизнеса, так как подрывает доверие клиентов и снижает качество обслуживания. Применение блокчейна может помочь решить эту проблему, поскольку блокчейн фиксирует все изменения данных в неизменяемых блоках, что предотвращает несанкционированные изменения.

В CRM-системах хранятся обширные данные о клиентах. Эти данные могут быть целью для злоумышленников, которые могут использовать уязвимости в CRM для кражи и дальнейшего использования информации. Для решения проблем фальсификации и утечек данных блокчейн может стать мощным инструментом, поскольку он обеспечивает прозрачное, неизменяемое хранение данных.

Любое изменение информации требует изменения всех последующих блоков, что практически невозможно осуществить без

обнаружения, благодаря распределенной архитектуре сети. Каждая транзакция в блокчейне проходит через алгоритм хэширования, который создает хэш. Этот хэш включается в следующий блок, что формирует цепочку данных. Если злоумышленник попытается изменить даже один блок, хэши не совпадут с данными других узлов сети, и попытка фальсификации будет обнаружена [1].

Ограничения централизованных систем

Централизованные системы для управления данными, как правило, имеют один основной узел или сервер, через который осуществляется контроль, хранение и обработка всей информации.

В такой системе весь поток данных, а также операции по их обработке и хранению завязаны на один или несколько ключевых серверов. Если такой сервер выходит из строя по причине кибератаки, аппаратного сбоя или человеческой ошибки, то вся система может перестать функционировать.

Поскольку в централизованной системе существует единственная или небольшая группа точек входа для управления данными, такие системы подвержены широкому спектру атак, включая DDoS и SQL-инъекции.

С блокчейном, однако, каждый участник сети может просматривать и проверять транзакции, что делает процесс аудита более простым и прозрачным. Децентрализованный характер блокчейна также позволяет избежать потерь данных, ведь они распределены по множеству узлов [1].

Проблема доверия и прозрачности взаимодействий

Централизованные модели хранения данных создают риски и не позволяют гарантировать полную прозрачность и неизменность информации. Отсутствие полной прозрачности является значительной проблемой. Информация, собранная в CRM, может быть видоизменена или удалена без уведомления участников взаимодействия. Это вызывает недоверие к системе, так как клиенты и даже сотрудники компании могут сомневаться в том, что все данные корректно отражены и доступны для просмотра [2].

Применение блокчейна в CRM предоставляет возможность улучшить эти аспекты благодаря своему децентрализованному и неизменному характеру. Каждый этап взаимодействия с клиентом можно фиксировать в виде транзакции в блокчейне, создавая неизменный журнал событий, который исключает возможность незаметных изменений.

Каждый этап взаимодействия с клиентом записывается в блокчейн в виде неизменяемого блока данных. Будь то первоначальный контакт, последующие коммуникации или совершение сделки, каждый шаг фиксируется, и это позволяет создать целостную картину взаимодействий. Прозрачность блокчейна способствует доверию, поскольку клиенты видят, что их данные хранятся безопасно, не подлежат изменению, и все действия зафиксированы. [3]

Благодаря своей архитектуре блокчейн также решает проблему доверия: данные не зависят от одного централизованного сервера, а распределены по сети узлов. Это гарантирует, что любая запись, будь то взаимодействие с клиентом или изменение статуса сделки, доступна и неизменна для всех участников сети.

Основы смарт-контрактов

Смарт-контракты позволяют автоматизировать выполнение транзакций и условий, заложенных в блокчейн, без необходимости в посредниках, что делает взаимодействия более быстрыми, безопасными и прозрачными

Смарт-контракты позволяют заранее определить условия, которые будут автоматически выполнены при наступлении определенных событий. Например, если в CRM зафиксировано выполнение всех условий сделки, смарт-контракт может автоматически отправить уведомление клиенту о завершении процесса, инициировать оплату или закрыть задачу.

Все участники сети могут видеть смарт-контракт и его выполнение, что обеспечивает прозрачность и доверие. Смарт-контракты функционируют без вмешательства человека. Как только условия контракта выполнены, он автоматически исполняет действия, что делает его независимым и исключает вероятность человеческих ошибок.

Смарт-контракт включает в себя набор условий, которые должны быть выполнены для его активации. Также в нем прописан код, выполняющий логику выполнения договора. Смарт-контракт включает адреса всех участников, которые связаны с этим контрактом и отслеживает состояние и статус контракта.

Смарт-контракты автоматизируют процесс подписания и исполнения договоров, упрощая управление обязательствами перед клиентами. Они могут регулировать доступ к данным клиента, что особенно важно в условиях соблюдения норм конфиденциальности. Клиенты могут быть уверены, что их данные используются только в рамках согласованных условий [3].

Внедрение смарт-контрактов в CRM-системы позволяет компаниям автоматизировать и улучшить взаимодействие с клиентами,

обеспечивая надежное, быстрое и прозрачное выполнение обязательств.

Примеры использования смарт-контрактов для автоматизированных взаимодействий с клиентами

Теперь рассмотрим, как смарт-контракты могут использоваться для автоматизации и оптимизации различных взаимодействий с клиентами.

Смарт-контракты позволяют мгновенно подтвердить исполнение заказа после выполнения необходимых условий. Например, при оплате клиентом заказа смарт-контракт фиксирует оплату и автоматически инициирует процесс доставки. Это исключает задержки и обеспечивает выполнение заказа в соответствии с оговоренными сроками.

Смарт-контракты могут автоматизировать управление подписками и контролировать их срок действия. Например, при истечении оплаченного периода смарт-контракт может автоматически отправить клиенту уведомление о необходимости продления подписки, а при поступлении платежа продлить её на следующий период.

В рамках обслуживания по запросу смарт-контракты могут фиксировать каждый раз, когда клиент пользуется определённой услугой. После подтверждения оплаты смарт-контракт может также разрешить дальнейший доступ к услугам, гарантируя соблюдение условий оплаты и минимизируя задержки в обслуживании.

Смарт-контракты автоматически исполняют задачи, которые обычно требуют ручного контроля, что снижает нагрузку на сотрудников и позволяет компании сэкономить на операционных расходах. Технология обеспечивает своевременность и точность выполнения всех условий, что способствует повышению уровня доверия к компании и удовлетворенности клиентов. Автоматизация с помощью смарт-контрактов устраняет вероятность человеческих ошибок, которые могут привести к недовольству клиентов или нарушению условий договора.

Применение смарт-контрактов для автоматизации взаимодействий с клиентами открывает новые горизонты для управления бизнес-процессами и повышения лояльности клиентов.

Модели управления доступом в блокчейне

В системах на основе блокчейна управление доступом — важнейший элемент для обеспечения безопасности, конфиденциальности и целостности данных.

Так, модель на основе ACL (Access Control List) предоставляет доступ к данным на основе списков разрешений для отдельных пользователей. В такой системе каждому участнику блокчейна можно присвоить уникальные права для чтения, записи или изменения данных.

Использование ACL в блокчейне подходит для разрешённых (private) блокчейн-сетей, где участники ограничены и имеют доверительные отношения. В этом случае списки управления доступом можно применять для защиты определённых записей или узлов сети, делая их доступными только для определённых участников.

В модели управления доступом (Role-Based Access Control, RBAC) каждому участнику присваивается роль, а роли уже имеют определённые права доступа. В такой модели права доступа зависят не от личности участника, а от выполняемой роли. Например, менеджеры по продажам могут иметь доступ только к определённой информации о клиентах, тогда как топ-менеджеры компании могут видеть все транзакции и статистику продаж.

Атрибутно-основанное управление доступом (Attribute-Based Access Control, ABAC) расширяет возможности RBAC, добавляя больше условий для предоставления прав.

В блокчейне модель ABAC может использоваться для фильтрации данных в зависимости от дополнительных условий. Например, доступ к финансовым данным может быть открыт только для сотрудников, работающих в определённой стране или для тех, кто прошел аутентификацию в определённое время [4].

Примеры децентрализованной идентификации в CRM

Децентрализованная идентификация (DID) — это способ управления личными данными и подтверждения личности, при котором сами пользователи контролируют доступ к своей информации без необходимости в централизованных посредниках. В системах управления взаимоотношениями с клиентами (CRM) децентрализованная идентификация предлагает новые способы обеспечения безопасности и защиты персональных данных, делая возможным точное и безопасное управление идентификацией клиента [5].

В CRM-системах, ориентированных на безопасность данных, использование блокчейн-базируемых идентификаторов позволяет клиентам и компаниям безопасно взаимодействовать. В рамках такой системы каждый клиент может создать децентрализованный идентификатор, который сохраняется в блокчейне. Этот идентификатор не

содержит личной информации в явном виде, но может ссылаться на зашифрованные данные, доступные только для проверенных сторон. Например, компания-банк может использовать DID для аутентификации пользователей при входе в систему, избегая хранения паролей в традиционном виде. Для авторизации достаточно подтверждения наличия DID, связанного с учетной записью, а все данные о клиенте хранятся на стороне клиента, который может предоставлять доступ по запросу.

Zero-Knowledge Proofs (ZKP), или доказательства с нулевым разглашением, — это еще один инструмент для реализации децентрализованной идентификации в CRM. При использовании ZKP пользователи могут подтверждать свою личность без необходимости предоставлять свои персональные данные. Это особенно полезно в CRM-системах, где необходимо подтверждать определенные атрибуты клиента, но не требуется раскрытие всей информации. Например, для доступа к специальным предложениям клиент подтверждает факт достижения определенного статуса в системе, а CRM получает лишь подтверждение, что статус достигнут, без подробной информации о клиенте. Такая модель повышает конфиденциальность и минимизирует объем обрабатываемых данных [5].

Внедрение таких методов в CRM помогает повысить доверие со стороны клиентов и снизить уязвимости систем, что особенно важно в условиях строгих требований к конфиденциальности данных и безопасному управлению идентификацией.

Проблемы масштабируемости

Масштабируемость является одной из ключевых проблем при внедрении блокчейна в CRM-системы. Это связано с особенностями распределенной архитектуры, обеспечивающей безопасность и децентрализацию, но требующей значительных вычислительных ресурсов.

Блокчейны имеют низкую пропускную способность, что замедляет обработку большого числа транзакций. Для CRM-систем, которые часто нуждаются в быстром отклике и большой скорости обработки запросов, это может стать серьезным ограничением.

Алгоритмы консенсуса требуют значительных вычислительных мощностей и энергетических ресурсов, что делает масштабирование блокчейн-систем дорогостоящим. Для CRM-систем, которые могут использовать большие объемы данных, такая нагрузка может оказаться неприемлемой.

С увеличением количества пользователей и транзакций объем данных в блокчейне растет экспоненциально, что требует значительного пространства для хранения. Это может стать

проблемой для узлов сети, так как с ростом базы данных могут возникнуть задержки при чтении и записи данных.

В отличие от традиционных баз данных, блокчейн не масштабируется горизонтально. Каждый узел должен обрабатывать и хранить всю историю транзакций, что замедляет работу всей системы.

Юридические и нормативные вопросы

Юридические и нормативные вопросы играют критическую роль в использовании блокчейна для CRM, поскольку работа с персональными данными клиентов должна соответствовать законодательным требованиям.

Многие регуляции накладывают строгие требования на обработку и хранение персональных данных. В блокчейне данные, как правило, не могут быть удалены, поскольку это нарушает принцип неизменности цепочки. Однако законы требуют возможности удаления данных по запросу клиента. Это может вызвать конфликт интересов при внедрении блокчейна в CRM-системы, так как данные клиента должны быть защищены и при этом оставаться удаляемыми [6].

В блокчейн-сетях данные могут храниться на узлах, расположенных в разных странах, что вызывает вопрос о применимой юрисдикции и законах. CRM-системы, использующие блокчейн, должны учитывать, что каждое государство имеет свои требования к обработке и хранению данных, и сложно определить, какое из них применяется к распределенным системам.

Для CRM, особенно при работе с международными клиентами, необходимо учитывать налоговые и бухгалтерские требования. Блокчейн, как правило, обеспечивает прозрачность, но перевод данных между юрисдикциями может усложнить налоговый и бухгалтерский учет.

В распределенной сети каждый узел участвует в обеспечении функционирования системы, но не всегда ясно, кто несет ответственность за возможные сбои или нарушения данных. В CRM-системах это важно, так как любая ошибка или нарушение может повлиять на конфиденциальность данных клиентов и нанести репутационный урон.

Улучшение модулей системы

Применение блокчейна в CRM-системах открывает перспективы для значительного улучшения ряда ключевых модулей.

В качестве модернизации модуля управления клиентскими данными можно использовать децентрализованное хранение данных с использованием блокчейна, что позволяет каждой записи быть защищенной от

изменений, так как каждое изменение фиксируется в блоках цепи. Это гарантирует, что данные о клиентах останутся неизменными и доступными для проверки, что особенно важно для выполнения требований законодательства о защите данных.

Для сервиса/модуля аутентификации блокчейн позволяет использовать децентрализованные методы аутентификации, такие как децентрализованные идентификаторы (DID), которые обеспечивают пользователям больше контроля над своими данными. Внедрение механизмов аутентификации на основе смарт-контрактов позволяет создать надежную систему, где доступ предоставляется на основе проверяемых записей.

При автоматизации бизнес-процессов смарт-контракты могут выполнять задачи автоматизации без участия центрального сервера, обеспечивая выполнение условий, заложенных в коде. Например, если при заключении сделки требуется последовательное одобрение нескольких сторон, смарт-контракты могут автоматически подтверждать или отклонять этапы сделки в зависимости от данных, доступных в блокчейне.

Использование технологии блокчейна в финансовом модуле позволяет фиксировать каждую транзакцию и обеспечивать мгновенные расчеты между сторонами. Смарт-контракты могут автоматизировать процесс оплаты, выполняя транзакцию только при выполнении всех необходимых условий сделки.

Интеграция блокчейна может полностью изменить парадигму работы CRM-систем. Внедрение этой технологии позволяет CRM-системам выйти на новый уровень, усиливая доверие и упрощая сложные процессы.

Структура блоков: Полный обзор структуры и элементов каждого блока

В области CRM систем блокчейн может быть использован для автоматизации процессов взаимодействия с клиентами, управления данными и улучшения прозрачности работы с клиентами. В таком случае структура блоков может несколько отличаться от блоков в криптовалютных системах, но основные принципы остаются теми же.

1. Заголовок блока, включающий версию, которая указывает на версию протокола блокчейна. Это важно для отслеживания изменений и обновлений в протоколе, чтобы обеспечить совместимость между блоками.

Хэш предыдущего блока, обеспечивающий порядок блоков, и, подтверждающий, что блоки были добавлены последовательно. Это также предотвращает манипуляции с данными, поскольку изменение

одного блока приведет к изменению всех последующих.

В блокчейне для управления данными, например, в CRM-системах, корень дерева Меркле используется для проверки целостности всех транзакций в блоке. Это позволяет проверять данные в блоке, не загружая каждый элемент, что делает процесс более эффективным.

Временная метка, указывающая на момент создания блока. Она важна для записи последовательности действий в блокчейне и предотвращает любые попытки изменения порядка транзакций.

Nonce, в некоторых случаях для защиты от атак или для выполнения операций с нагрузкой может применяться алгоритм, требующий использования случайных чисел для подтверждения корректности блока.

2. Данные транзакций, включающие идентификатор транзакции, который используется для отслеживания и проверки каждой транзакции или действия, выполненного в системе.

В блокчейне CRM системы могут указываться данные сторон, участвующих в взаимодействии — например, данные клиента и менеджера, либо другие записи, связанные с взаимодействием.

Детали транзакции, указывающие, что именно произошло в рамках транзакции: например, запрос на услугу, обновление информации о клиенте.

Цифровая подпись, каждая транзакция может быть подписана автором, чтобы подтвердить, что она была инициирована именно этим пользователем или системой. Это важно для обеспечения подлинности и предотвращения мошенничества.

3. Каждый блок в блокчейне имеет свой уникальный хэш, который получается с использованием криптографической хеш-функции. Хэш блока представляет собой уникальную строку, которая идентифицирует данный блок и гарантирует, что его содержимое не было изменено.

4. Сложность и целевая отметка для обеспечения целостности блоков. Например, система может требовать, чтобы определенные проверки (например, количество записей, выполнение операций или одобрение транзакции) соответствовали заранее определенному уровню сложности.

Эти элементы делают блокчейн эффективным инструментом для управления данными и взаимодействиями в децентрализованных системах, а также для обеспечения прозрачности и надежности всех операций [7].

Алгоритмы консенсуса и их особенности

Алгоритмы консенсуса в блокчейне играют ключевую роль в обеспечении согласования всех участников сети относительно состояния базы данных. В контексте CRM-систем, применение алгоритмов консенсуса может улучшить безопасность данных, управление транзакциями и автоматизацию процессов.

Proof of Work — это один из самых известных алгоритмов консенсуса, используемый в блокчейне для криптовалют, таких как Bitcoin. Этот алгоритм требует, чтобы участники сети решали сложные математические задачи, прежде чем добавлять новый блок в блокчейн. Решив задачу, узел получает право на добавление блока и вознаграждается за это.

Алгоритм PoW требует значительных вычислительных ресурсов для взлома блокчейна, что делает систему защищенной от атак. Все участники сети могут увидеть, какой узел добился консенсуса и добавил блок, что способствует повышению доверия к системе [8]. В CRM-системах PoW может быть полезен для обеспечения целостности данных при регистрации важнейших транзакций (например, обработка критичных данных клиентов или финансовых транзакций).

Proof of Stake является альтернативой Proof of Work. Вместо того чтобы требовать от участников выполнения вычислительных задач, PoS назначает право создания блока в зависимости от количества криптовалюты, которую участник сети "ставит" в систему. Чем больше средств поставлено, тем выше вероятность, что именно этот узел будет выбран для добавления нового блока.

PoS требует гораздо меньших вычислительных мощностей, что делает его более энергоэффективным по сравнению с PoW. Атака на PoS требует большого количества средств, что делает ее экономически нецелесообразной [9]. PoS подходит для CRM-систем, где важно сохранять эффективность и экономию ресурсов, особенно если система обслуживает большое количество клиентов и имеет высокие требования к скорости транзакций. Он может быть использован для обеспечения безопасности взаимодействий с клиентами, таких как обработка заказов, взаимодействие с базой данных и предоставление услуг.

Delegated Proof of Stake является улучшенной версией PoS, при которой сеть доверяет выбор консенсуса делегированным узлам. Эти делегаты выбираются из числа участников сети и ответственны за создание новых блоков и подтверждение транзакций.

За счет небольшого числа делегатов, процессы согласования блоков происходят быстрее. DPoS позволяет улучшить масштабируемость сети и повысить производительность [9]. DPoS может быть использован в CRM-системах для ускорения обработки транзакций и обеспечения высокой доступности данных при обслуживании клиентов. Этот подход особенно полезен для систем, которые нуждаются в высокоскоростной обработке данных и где централизация делегатов может быть оправдана с точки зрения удобства и эффективности.

Practical Byzantine Fault Tolerance — это алгоритм консенсуса, разработанный для работы в условиях, где возможна работа с ошибочными узлами или атакующими участниками. Он достигает консенсуса, даже если часть узлов действует недобросовестно, что позволяет системе оставаться устойчивой. PBFT может работать даже в условиях, когда часть узлов в сети ведет себя неправомерно. Подходит для систем, где важно поддерживать высокую доступность и целостность данных [9]. PBFT может быть полезен в CRM-системах, где требуется высокая степень доверия и надежности при обработке чувствительных данных клиентов.

Подходит для специализированных CRM-систем с высоким уровнем безопасности, например, для банковских или финансовых организаций, где важно обеспечить защиту от манипуляций с данными.

Распределенные узлы: Полные и неполные узлы, их роли и примеры использования в распределенной CRM-системе

В контексте распределенных систем, таких как блокчейн, узлы играют ключевую роль в обеспечении децентрализованной работы системы. Важно понимать, что в блокчейн-сетях могут быть как полные узлы, так и неполные узлы, и каждый из них имеет свою специфическую роль в поддержке сети.

Полные узлы в блокчейне — это узлы, которые хранят полную копию всей истории блоков сети. Они участвуют в валидации транзакций и блоков, обеспечивая независимость от других узлов и проверяя корректность всех операций.

Полные узлы проверяют каждый блок и транзакцию, которые происходят в сети и защищают систему от атак и манипуляций с данными. Поскольку полные узлы хранят всю информацию о блоках и транзакциях, они обеспечивают максимальный уровень независимости и доверия для пользователей сети.

Применение в CRM: Полные узлы могут использоваться в распределенных CRM-системах для обеспечения полной верификации данных клиентов и транзакций. Например, в банковских или финансовых приложениях, где необходима высокая степень защиты и проверка каждого действия пользователя, полные узлы могут хранить и проверять все транзакции, гарантируя их правильность.

Неполные узлы, или легкие узлы, хранят только часть информации о блокчейне, обычно лишь заголовки блоков и минимальную информацию о транзакциях, что позволяет им быть менее ресурсозатратными. Неполные узлы могут быть запущены на устройствах с ограниченными ресурсами (например, мобильных телефонах или менее мощных серверах), так как им не требуется хранить всю историю блокчейна.

Они отправляют запросы к полным узлам для получения данных и подтверждения транзакций. Неполные узлы обычно используются для быстрого доступа к

информации, но не для валидации. Использование неполных узлов снижает требования к хранилищу данных и ускоряет взаимодействие с сетью.

Неполные узлы идеально подходят для использования в распределенных CRM-системах, где необходимо обеспечить доступ к данным клиентам, например, через мобильные приложения или клиентские интерфейсы с ограниченными вычислительными возможностями. Неполные узлы позволяют быстрее обрабатывать запросы и взаимодействовать с сетью, но при этом они менее надежны для критичных операций, таких как обработка финансовых транзакций.

Комплексное применение этих типов узлов позволяет создать сбалансированную, эффективную и безопасную систему для управления взаимоотношениями с клиентами в децентрализованной среде [10].

Далее опишем простейший пример организации сети CRM-системы на базе блокчейна (рис. 1).

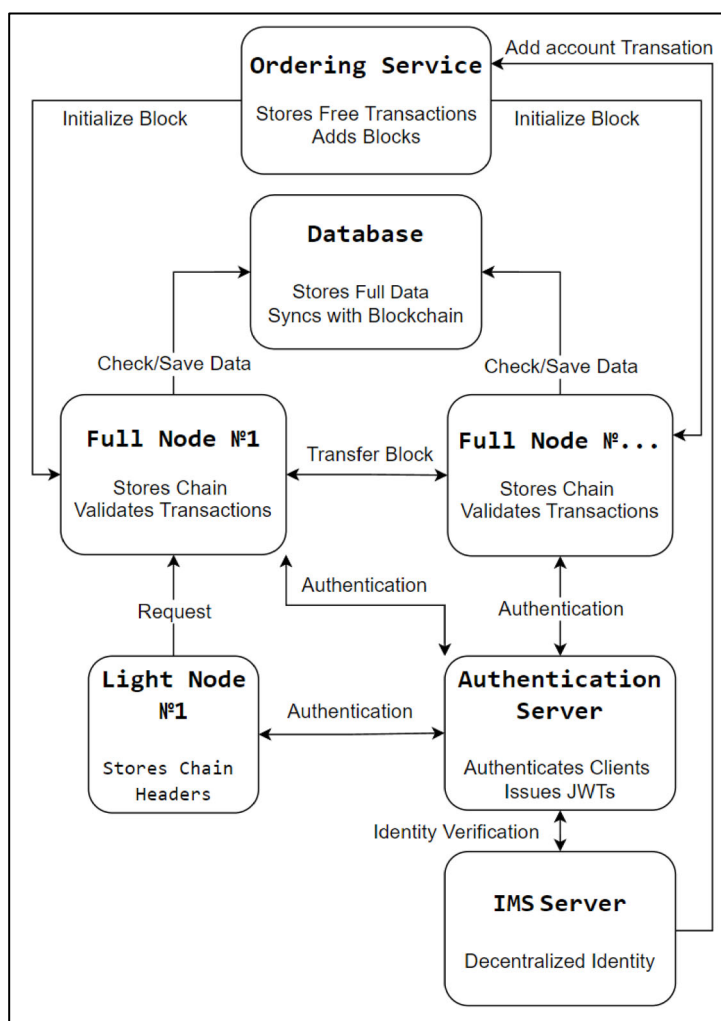


Рисунок 1 – Простая схема работы приватного блокчейна на базе CRM

Authorization Server отвечает за аутентификацию клиентов и выдачу токенов доступа. Client сначала взаимодействует с Auth Server для получения временного токена, подтверждающего его доступ к Full Node.

Сам по себе Auth Server не участвует в блокчейне напрямую, но добавляет уровень безопасности, защищая доступ к данным. Identity Management Server (Сервер управления идентификацией) хранит идентификационную информацию и профили пользователей и взаимодействует с Auth Server, предоставляя ему данные для аутентификации и авторизации клиентов.

Identity Management Server создаёт уникальный DID для пользователя. IMS формирует транзакцию для записи нового DID и его метаданных в блокчейн. Эта транзакция передается Ordering Service, который добавляет её в пул транзакций для последующего включения в блок. После того как блок с новым DID будет подтверждён и добавлен, пользователь может использовать свой DID для аутентификации. Ordering Service отвечает только за хранения свободных транзакций и инициализацию блока для подтверждения его полными узлами.

Хотя база данных и не относится к блокчейну, реализация хранения объемных данных на полных узлах будет замедлять работу системы. В случае добавления базы данных, блокчейн содержит информацию о создании транзакции и историю ключевых ее изменений, а также хеш данных, подтверждающий их целостность. Внешняя база данных содержит гибкие данные, которые могут изменяться (например, текст и вложения), и служит местом хранения подробных описаний и файлов. Взаимосвязь через идентификатор блокчейна, записанный в хранилище, позволяет обращаться к внешним данным, проверять их целостность через блокчейн и обновлять их без изменения основной записи на блокчейне.

Так как объемные данные о транзакции не передаются другим полным узлам для верификации, возникает вопрос в верификации хэша блока. В таком случае добавляется понятие короткого и полного хэша. Полный хэш берется от всех данных, включая объемный текст и вложения. Из ключевых данных транзакции формируется короткий хеш, представляющий неизменяемую часть, который и будет использован для верификации блока. Блок также будет хранить полный хэш для будущих проверок на подлинность данных, хранящихся в базе. Легкие узлы будут хранить лишь заголовки блоков цепи и получают минимально необходимые права для запроса данных и передачи транзакций, но без полномочий на валидацию или хранение полной цепи блоков.

Заключение

В результате проведенного исследования были рассмотрены возможности использования блокчейн-технологий для совершенствования CRM-систем. Современные системы управления взаимоотношениями с клиентами нуждаются в новых методах защиты данных и повышении прозрачности взаимодействий, что делает блокчейн актуальной технологией для данной области. Децентрализованное хранение данных, неизменяемость записей и использование смарт-контрактов открывают перед CRM новаторские возможности, позволяя не только защитить информацию от фальсификации и утечек, но и повысить доверие клиентов к системе.

Анализ показал, что внедрение блокчейна может значительно снизить риски, связанные с несанкционированным доступом и подделкой данных. Это особенно важно в CRM-системах, где любые искажения информации могут повлиять на доверие и лояльность клиентов. Несмотря на очевидные преимущества, блокчейн также накладывает определенные ограничения и вызывает ряд технических вопросов, таких как высокая вычислительная нагрузка, проблемы масштабируемости и сложность интеграции в существующие системы.

Таким образом, блокчейн представляет собой эффективный инструмент для обеспечения безопасности и повышения прозрачности в CRM, однако его внедрение требует тщательного подхода и учета всех особенностей. В будущем, с учетом стремительного развития блокчейн-технологий, можно ожидать появления более гибких и экономичных решений, которые еще больше расширят возможности CRM и упростят реализацию защищенных и доверительных взаимоотношений с клиентами.

Литература

1. Arun, J. S. Blockchain for Business / J.S. Arun, J. Cuomo, N. Gaur. - Published by Addison-Wesley Professional, 2019. - 2 с.
2. Kumari, Sh. Blockchain-based CRM solutions: securing customer data in the digital transformation era / Sh. Kumari, B. Sarkar, G. Singh // International journal of computer trends and technology. - 2023. - № 4. - Т. 71. - С. 27-36.
3. Doborjginidze, G. Improve efficiency and reliability of supply chains using smart contracts / G. Doborjginidze, L. Petriashvili, M. Inaishvili // International Academy Journal Web of Scholar. - 2020. - № 8. - С. 13-18.
4. Zhu, Y. Fine grained access control based on smart contract for edge computing / Y. Zhu, X. Wu, Zh. Hu // Electronics. - 2022. - № 1. - Т. 71. - С. 167.

5. Pinto, R. Decentralized Identity Explained / R. Pinto. - Published by Packt Publishing, 2024. - 13 с.

6. Chiappetta, A. The impact of privacy and cybersecurity on e-record: the PNR Directive adoption and the impact of gdpr / A. Chiappetta, A. Battaglia // Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics. - 2022. - № 3. - С. 77-87.

7. Solorio, K. Hands-On Smart Contract Development with Solidity and Ethereum / K. Solorio, R. Kanna, D. H. Hoover. - Published by O'Reilly Media, Inc., 2019. - 1 с.

8. Савельев, И. Е. Технология Blockchain и ее применение / И. Е. Савельев // Journal of applied informatics. - 2016. - № 6. - Т. 71. - С. 19-24.

9. Криштаносов, В. Б. Блокчейн: технологический и экономический аспекты / В. Б. Криштаносов // Труды БГТУ. - 2020. - Серия 5. - № 2. - С. 13-32.

10. Benčić, F. M. Aurora: a probabilistic algorithm for distributed ledgers enabling trustless synchronization and transaction inclusion verification [Электронный ресурс] / F. M. Benčić [et al.]. - Электрон. дан. - 2024. - Р. 2. - URL: <https://arxiv.labs.arxiv.org/html/2108.08272>

Алымов Д. А., Боднар А. В., Нестеренко А. Р. Интеграция технологии блокчейна для повышения прозрачности и безопасности данных в CRM-системах. Статья посвящена изучению возможностей блокчейн-технологии для совершенствования систем управления взаимоотношениями с клиентами (CRM). Исследование охватывает ключевые аспекты использования блокчейна: улучшение защиты от подделок и фальсификаций данных, децентрализованное хранение, автоматизация процессов через смарт-контракты, а также создание прозрачной цепочки взаимодействий с клиентами. В статье затронуты вопросы масштабируемости и юридические аспекты, связанные с использованием блокчейна, таким как соблюдение международных стандартов защиты данных. Проведен обзор алгоритмов консенсуса, подходящих для CRM, и обсуждаются роли полных и неполных узлов в поддержке децентрализованной структуры. Работа также рассматривает модели управления доступом, что позволяет обеспечить надежную защиту персональных данных клиентов и управление их идентификацией на распределенной основе.

Ключевые слова: блокчейн, CRM-система, безопасность данных, прозрачность, децентрализованное хранение, смарт-контракты, алгоритмы консенсуса, идентификация, управление доступом, масштабируемость, фальсификация данных, конфиденциальность, распределенные узлы

Alymov D. A., Bodnar A. V., Nesterenko A. R. Integration of Blockchain Technology to Enhance Data Transparency and Security in CRM Systems. The article is devoted to the study of the capabilities of blockchain technology to improve customer relationship management (CRM) systems. The study covers key aspects of using blockchain: improving protection against counterfeiting and falsification of data, decentralized storage, automation of processes through smart contracts, and the creation of a transparent chain of interactions with customers. The article touches upon issues of scalability and legal aspects associated with the use of blockchain, such as compliance with international data protection standards. A review of consensus algorithms suitable for CRM is provided, and the roles of full and partial nodes in supporting a decentralized structure are discussed. The work also considers access control models, which allows for reliable protection of customers' personal data and their identity management on a distributed basis.

Keywords: blockchain, CRM system, data security, transparency, decentralized storage, smart contracts, consensus algorithms, identification, access control, scalability, data falsification, confidentiality, distributed nodes

Статья поступила в редакцию 03.12.2024
Рекомендована к публикации профессором Мальчевой Р. В.

Автоматизированное тестирование знаний студентов в области HDL- и FPGA-технологий проектирования компьютерных систем

Ю. Е. Зинченко, Т. А. Зинченко

Донецкий национальный технический университет
zinchenko.tatyana@gmail.com

Аннотация

В данной работе предлагается новый тип тестового задания – тест-задача - и на основе ранее разработанной (базовой) системы тестирования знаний АТР разрабатываются архитектура и программное обеспечение модернизированных систем АТР-hdl и АТР-fir. Первая система строится путем внедрения в базовую систему нового типа тестового задания – HDL-задача: VHDL-, Verilog- и C/C++ задачи. Вторая система предназначена для организации дистанционного тестирования знаний на базе FTP- и SMTP- сетевых протоколов обмена информацией в среде Интернет. Приводятся структуры базовой и разработанных систем, программное обеспечение демонстрируется многочисленными скриншотами. Дается сравнительный анализ разработанных систем по сравнению с аналогами, описывается внедрение и опыт использования систем.

Введение

Важной составной частью учебного процесса при проведении любой формы образовательного процесса является изученной учебной дисциплины в целом или ее части. В настоящее время широко используется компьютерное тестирование знаний, что позволяет значительно сократить затраты труда преподавателя по подготовке и проведению тестирования, а студенту дает возможность удобно готовиться к занятиям путем самотестирования [1-4].

Традиционным при тестировании знаний является использование таких типов тестовых заданий с фиксированным или переменным числом вариантов ответов, среди которых может быть один или несколько правильных или ошибочных. С помощью такого типа задания возможно с определенной долей вероятности оценить уровень теоретических и практических знаний студента с учетом возможности случайного выбора студентом правильного ответа. Важной разновидностью задания является «точный ответ», когда студенту предлагается указать точное число или фразу без предложения альтернативных вариантов; при этом нужно учитывать лексику и семантику ответа, что позволяет избежать «нелепых ответов».

Однако, для дисциплин инженерно-технического характера, например, для задач проектирования, проектирования и тестирования цифровых, аналоговых или аналого-цифровых устройств радиоэлектронной (РЭА) и электронно-вычислительной (ЭВА) аппаратуры [5-13], необходима проверка знаний студента именно с практической стороны, что достаточно трудно и неудобно сделать с использованием традиционных типов тестовых

тестирования и самотестирования знаний студента. При этом тестирование проводится с целью установления уровня знаний, а самотестирование направлено на закрепление

заданий, то есть очень желательна реализация в системах тестирования знаний тестов типа «задача», например с такой формулировкой «напишите программу на таком то языке программирования для моделирования поведения некоторого электронного узла, реализующего следующую функцию» [14-16].

При автоматизации тестирования и самотестирования возникает проблема дистанционной организации вычислительного процесса для тестирования знаний как одного, так и группы студентов, ведь в таком случае вычислительных возможностей одной ЭВМ, как правило, уже недостаточно [17-19].

Целью исследования данной работы является разработка нового типа тестового задания – *тест-задача*, разработка на ее основе конкретных, так называемых, HDL-задач и внедрение их в известную систему тестирования знаний АТР.

Тест-задача и разработка на ее основе подхода тестирования знаний.

Как известно в системах тестирования знаний используются традиционные типы вопросов, например [1-4]:

- “*l из N*” - выбор одного правильного ответа из группы предлагаемых вариантов ответа»,
- “*m из N*” - выбор *m* правильных ответов из *N* предлагаемых»,

- “Хронология” – расстановка предлагаемых элементов в хронологической последовательности,
- “Однозначный ответ” – требуется ввести число или фразу, которая должна точно совпадать с ожидаемой,
- и другие.

Отличительной особенностью таких вопросов является то, что они не требуют сложных вычислительных процедур для оценки правильности ответа.

В тоже время в ходе учебного процесса, например на экзамене, студенту может быть поставлен не вопрос, а задача, например «Напишите программу на таком-то языке программирования, например на языке Паскаль, которая выполняет следующую функцию». В этом случае для оценки правильности полученного от студента ответа может быть задействован компилятор и симулятор того языка программирования, на котором необходимо написать программу, в данном случае компилятор и симулятор языка Паскаль.

Этот подход, а именно автоматизированное решение задачи, может быть распространен на любой язык программирования.

В данной работе рассматриваются языки программирования (моделирования) аппаратуры (HDL – Hardware Description Language), связанные с HDL- и FPGA-технологиями проектирования КС, а именно VHDL, Verilog и C/C++. В этом случае задача ставится по такому шаблону: «Составьте модель (программу) цифрового узла, выполняющего реализацию заданной функции на заданном HDL-языке»

При реализации HDL-задач, как известно [20-26], поддерживаются различные стили написания HDL-модели (поточковый, поведенческий, структурный и смешанный). Тогда вместо простого «Составьте модель цифрового узла, выполняющего реализацию заданной функции на языке VHDL ...» задача может формулироваться так «Напишите модель цифрового узла, выполняющего реализацию заданной функции на языке VHDL в поведенческом стиле...».

Дополнительно может потребоваться реализовать HDL-задачу с использованием конкретных операторов (функций) языка. В этом случае шаблон задания может выглядеть так «Составьте модель цифрового узла, выполняющего реализацию заданной функции на языке VHDL в поведенческом стиле с использованием оператора process...».

Автоматическую проверку правильности решения HDL-задачи можно реализовать на основе использования компилятора и симулятора САПР, которая применяется для моделирования HDL, например САПР Active-HDL фирмы ALDEC, Inc. [27,28].

Для внедрения описанного подхода автоматизированного решения HDL-задач в данной работе было принято решение выбрать в качестве базовой известную систему тестирования знаний и усовершенствовать ее путем разработки соответствующего программного обеспечения (ПО).

В качестве базовой была выбрана система АТР [13-17].

Базовая система тестирования знаний (БСТЗ)

Система АТР (Advanced Testing Package) — это многоцелевая система интерактивного тестирования, разработанная для автоматизации тестирования знаний студентов и других обучаемых особей (в дальнейшем пользователей) [13-17]. Использование АТР позволяет значительно упростить проведение опросов и повысить их эффективность за счет следующих факторов:

- автоматическое параллельное проведение опроса нескольких пользователей в локальной компьютерной сети (ЛКС);
- функции администратора во время опроса сводятся лишь к настройке системы и необходимой помощи пользователю в случае каких-либо трудностей, возникших при работе с системой;
- практически исключается возможность необъективной оценки знаний пользователя;
- программа выдает автоматически полный отчет по каждому проведенному опросу.

Структура БСТЗ приведена на рис. 1.

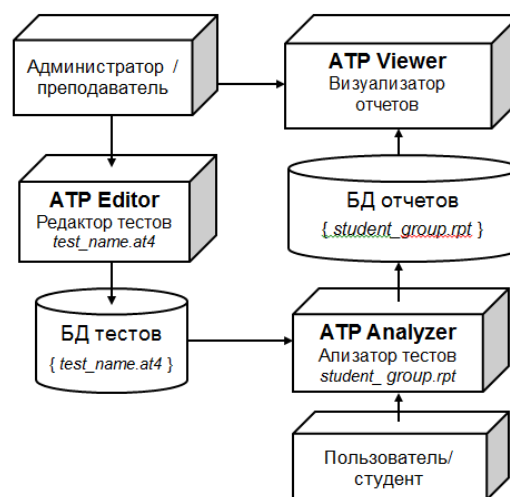


Рисунок 1 – Структура базовой системы АТР

АТР включает в себя следующие основные модули:

- **АТР Editor** - Редактор тестов - осуществляет создание и редактирование тестовых заданий, каждое из которых состоит из нескольких вопросов; задание сохраняется в

закодированном файле вида *test_name.at4* и помещается в базу данных (БД) – тестов.

- **ATP Verifier** - Анализатор тестов - предназначен для проведения процесса тестирования и анализа правильности ответов студента на тестовое задание; по результатам тестирования формируется закодированный файл-отчет вида *student_group.rpt*, который заносится в БД отчетов.

- **ATP Viewer** - Визуализатор отчетов – осуществляет просмотр результатов тестирования (отчетов) студентов, созданных анализатором ATP Verifier.

База данных (БД) тестов содержит всю информацию, необходимую для проведения опроса. Файл в формате *.at, содержащий одну конкретную базу вопросов, подготавливается в редакторе вопросов. Затем такой файл может быть загружен программой-анализатором, которая на его основе проводит опрос. БД тестов, помимо списка вопросов, задаваемых пользователю, включает: тему, свойства и комментарии.

БД отчетов содержит результаты тестирования студентов.

В ATP заложены следующие типы вопросов

- **Одиночный выбор.** Вопрос подготавливается таким образом, чтобы пользователь из нескольких представленных ему вариантов мог выбрать один верный (это самый распространенный тип вопроса).

- **Множественный выбор.** Вопрос подготавливается таким образом, чтобы пользователь из нескольких представленных ему вариантов мог отметить несколько верных (либо не отмечать ни один из вариантов). Правильный ответ должен полностью совпадать с заложенным в базу. Поддерживаются также "неполные ответы". Ответ считается неполным, если пользователь отметил не все верные варианты, и неверным, если отметил хоть один неправильный.

- **Хронология.** Пользователь при ответе на вопрос этого типа должен расположить предложенные ему варианты ответа в строго определенной последовательности, заданной в БД тестов. Аналогично предыдущему типу, возможен неполный ответ на вопрос данного типа, когда первые варианты расположены в верном порядке.

- **Однозначный ответ.** Этот вопрос подготавливается таким образом, чтобы пользователь мог ввести ответ с клавиатуры компьютера одним определенным словом (словосочетанием либо предложением). Синтаксические ошибки не допускаются, а некоторые «умно» игнорируются; кроме тривиальных неточностей, ответ должен на величину, близкую к 100%, совпадать с ответом,

заложенным в БД тестов. В редакторе тестов системы ATP есть возможность запоминать несколько вариантов ответа на вопрос типа «однозначный ответ». В этом случае пользователь должен ввести один из этих вариантов.

- **Эксперт.** К данной категории относятся вопросы, ответы на которые не могут быть оценены автоматически. Такие вопросы оцениваются экспертом (преподавателем) «вручную» после проведения опроса при просмотре отчета опроса. Ответ на этот вопрос можно просмотреть как сразу после окончания теста, так и в любое время позже.

Модернизация БСТЗ

Модернизация БСТЗ осуществлялась за счет реализации новых типов тестовых заданий – *HDL-задач* - и обеспечения возможности дистанционного тестирования знаний по сетевым протоколам *FTP* и *SMTP*. В результате появились две версии модернизированной ATP:

- ATP – *hdl* и
- ATP – *ftp*.

Модернизация БСТЗ система путем реализации HDL-задач

Отличительная особенность системы ATP–*hdl* состоит в том, что она включает в себя все возможности БСТВ, в том числе все ее типы тестовых вопросов, но и новые типы тестовых заданий - «*HDL-задачи*».

На этапе подготовки HDL-задачи в Редакторе тестов реализован так называемый *Test-bench Generator (TBG)* - программное обеспечение, обеспечивающее настройку HDL-задачи на заданный язык и стиль программирования.

Главное окно Редактора тестов системы ATP-*hdl* представлено на рис.1. Из скриншота видно, что кроме стандартных тестов-вопросов, заложенных в базовой версии системы ATP, в ATP-*hdl* реализованы тесты-задачи (VHDL, Verilog и C/C++).

На рис. 2 показаны многочисленные параметры Редактора тестов, а на рис. 3 - свойства Базы тестов.

Для проверки правильности ответов HDL-задачи в ATP-*hdl* обеспечена возможность автоматической компиляции и симуляции HDL-кода модели, подготовленные студентом при ответе с соответствующей выдачей ошибок и предупреждений на этапах компиляции и симуляции кода с выдачей log-файлов непосредственно в окно Анализатора тестов.

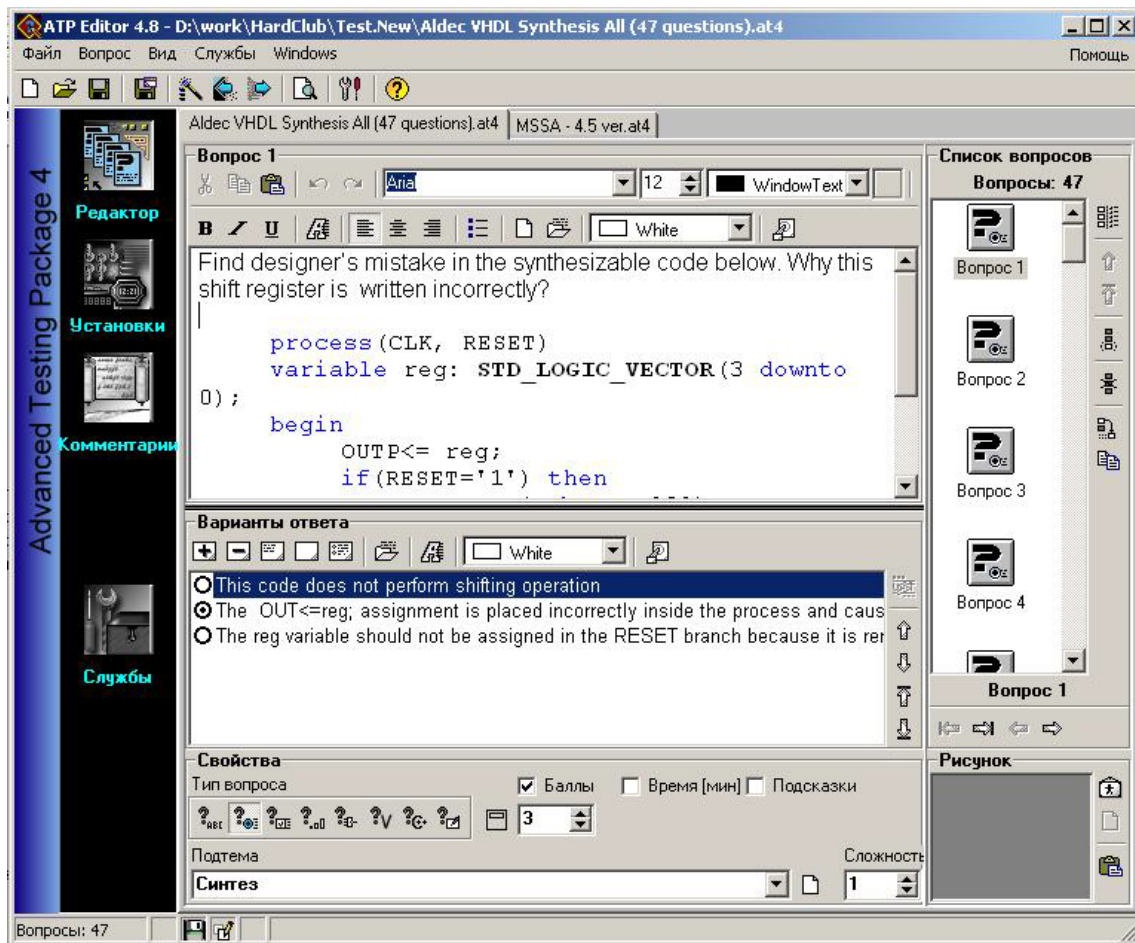


Рисунок 1 – Главное окно Редактора тестов системы ATP-hdl

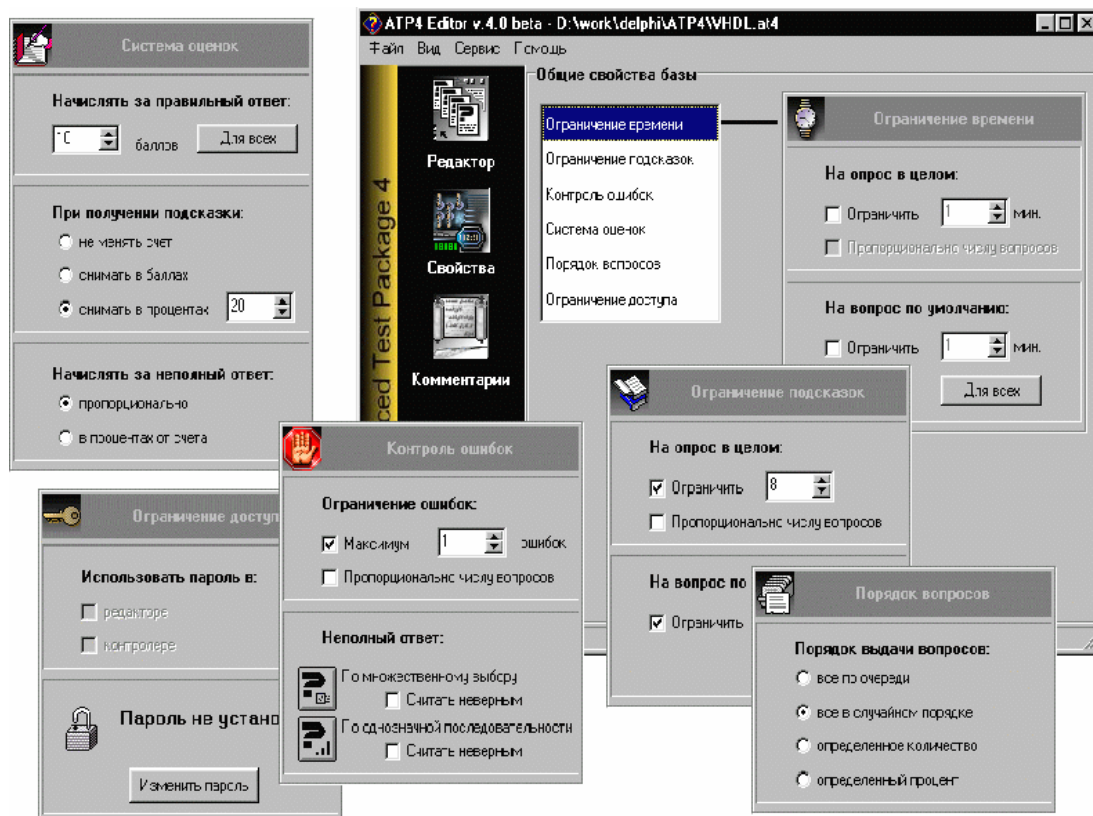


Рисунок 2 – Свойства базы тестов

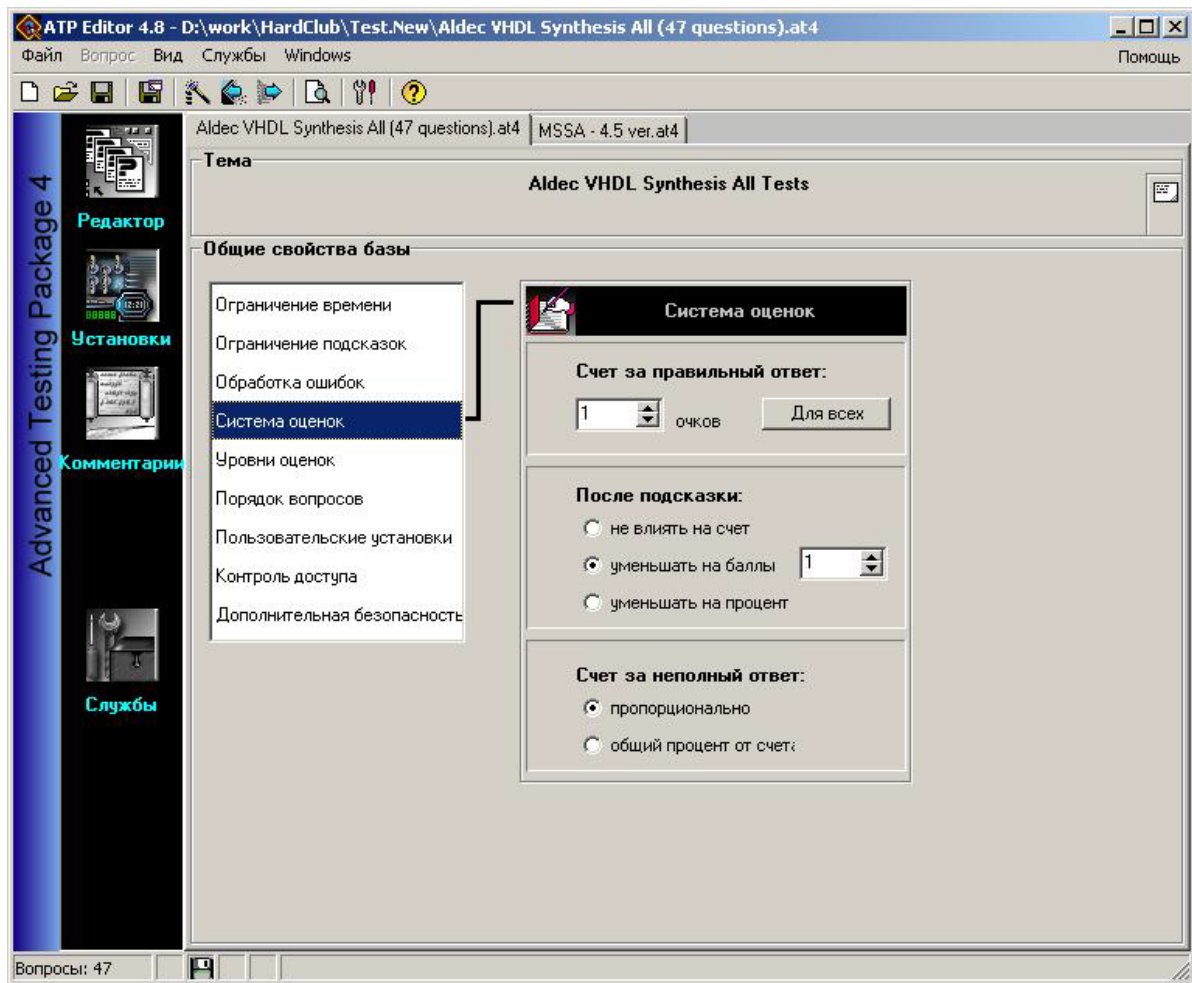


Рисунок 3 - Свойства БД тестов

Для этого для VHDL- и Verilog-задач в ATP-hdl реализован соответствующий модуль, обеспечивающий интерфейс с компилятором и симулятором САПР *Active-HDL*. На рис. 4 представлено главное окно анализатора тестов ATP Verifier.

Для обеспечения этих функций для С-задач в систему тестирования знаний встроены компилятор C/C++. На рис. 5 и 6 показаны *Анализатор ответов в работе* и окно задания параметров анализатора соответственно.

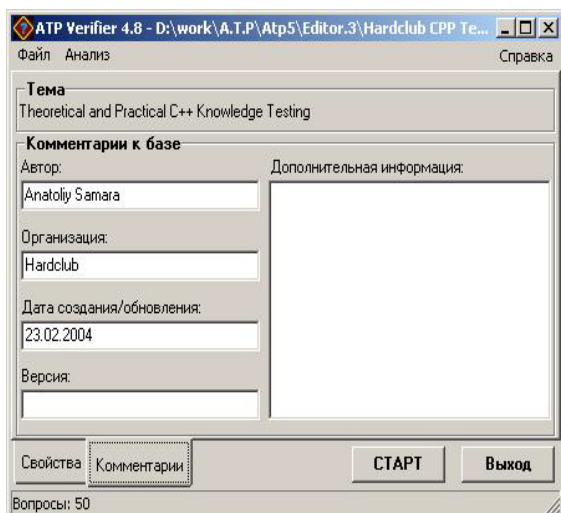


Рисунок 4 – Главное окно Анализатора тестов
ATP Verifier

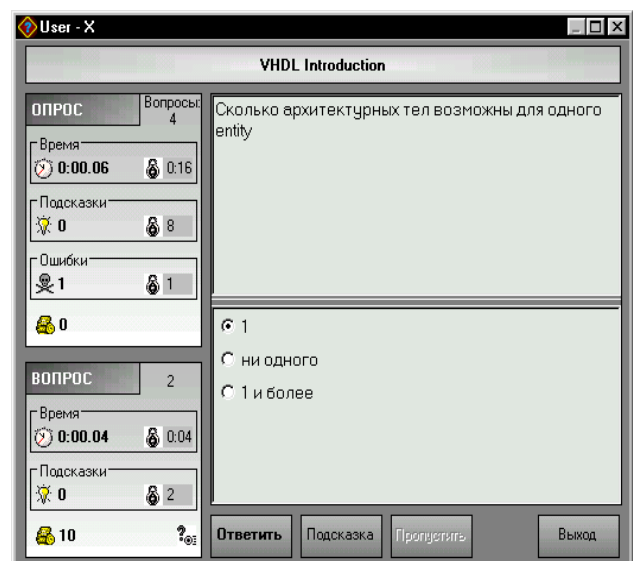


Рисунок 5 – Окно Анализатор тестов в работе

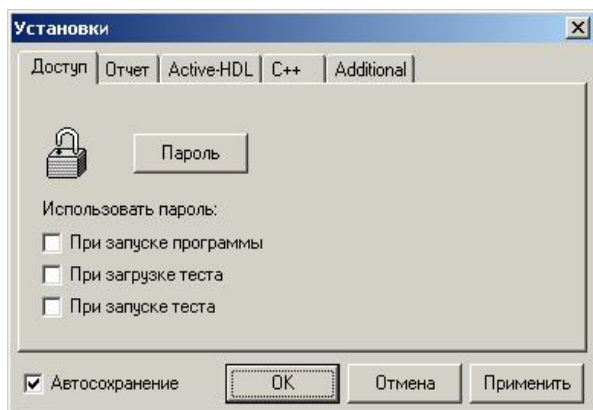


Рисунок 6 – Окно задания параметров установок
Анализатора тестов

Обеспечение дистанционного тестирования знаний

Базовая система ATP хорошо себя зарекомендовала на практике, однако имеет существенный недостаток - она является автономной и не имеет дистанционного доступа к абонентам, кроме как может работать в локальной компьютерной сети, где один персональный компьютер (ПК) назначается сервером, а другие ПК, за которыми работают пользователи – клиентскими компьютерами. На ПК-сервере размещаются программные модули БСТЗ ATP Editor, ATP Verifier, ATP Viewer, БД тестов и БД отчетов.

Для обеспечения дистанционного тестирования знаний в системе ATP-*ftp* были реализованы программные модули, обеспечивающие дистанционный обмен тестовой информацией по сетевым протоколам FTP и SMTP.

ATP – *ftp* включает в себя все возможности ATP-*hdl*, в том числе все ее типы тестовых вопросов и HDL-задач, а также обеспечивает возможности дистанционного тестирования знаний по сетевым протоколам FTP и SMTP.

В базовой системе для тестирования каждый пользователь (студент) запускает с сервера программный модуль ATP Verifier, вводит свои данные (имя - *student_name*, например фамилию, и группу - *group*), файл тестового задания *test_name.at* и отвечает на вопросы тестового задания.

В конце тестирования Анализатор высвечивает студенту в своем окне короткий результат тестирования и формирует подробный файл-отчет *student_group.rpt*, который передается на сервер в БД отчетов.

По окончании тестирования администратор или преподаватель с помощью

пакета отчетов ATP Viewer может просмотреть результаты тестирования, как всей группы студентов, так и каждого студента в отдельности.

На устранение указанного недостатка системы ATP, как базовой версии БСТЗ, так и версии ATP-*hdl*, а именно отсутствие возможности дистанционного обмена тестовой информацией по сети Интернет, была разработана модернизированная версия системы тестирования знаний ATP-*ftp*.

Как известно, дистанционный доступ по сети Интернет обычно решается на базе сетевого протокола TCP/IP, что обеспечивает широкие возможности, однако, его реализация достаточно трудоемкая и соответственно требует большого времени на разработку ПО.

Поэтому, учитывая ограниченный ресурс по времени, для достижения поставленной цели в данном работе были выбраны более простые сетевые протоколы, а именно протокол обмена файлами FTP и протокол передачи электронной почты SMTP. На рис. 7 представлена структура системы ATP-*ftp* с возможностью решения HDL-задач и дистанционного тестирования знаний на базе FTP- и SMTP-протоколов. Она включает:

- ПК администратора - предназначен для подготовки баз данных тестов, настройки параметров тестирования и т.д.;

- FTP / SMTP-сервер - предназначен для хранения и передачи пользователям по протоколу FTP файлов тестовых заданий и приема файлов-отчетов с результатами тестирования знаний пользователей, а также для приема по протоколу SMTP почтовых сообщений, содержащие файл отчета, что повышает гарантию получения результатов тестирования (отчетов).

- ПК пользователей - представляют собой рабочие места, на которых происходит тестирование знаний пользователей системы тестирования.

Все эти компоненты среды тестирования знаний могут быть территориально разнесены между собой и соединяются в процессе передачи тестовой информацией благодаря сети Internet.

FTP-модуль, который внедрен в базовую систему тестирования знаний, выполняет следующие функции:

- скачивание баз вопросов непосредственно с FTP-сервера;

- размещение отчетов по проведенным сеансам тестирования на FTP-сервере;

- скачивание и просмотр отчетов тестирования, расположенных на FTP-сервере.

На рис.8 приведено главное окно модуля ATP Viewer с общим видом отчета студентов после проведения теста.

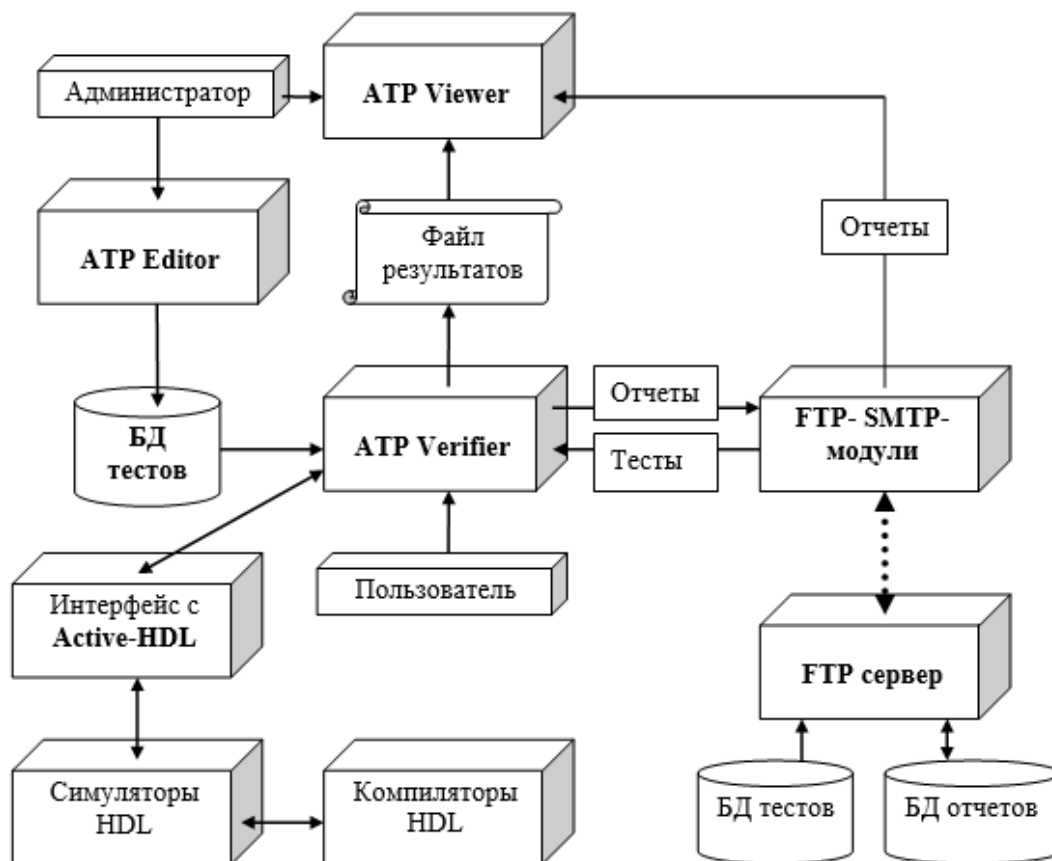


Рисунок 7 – Структура системы тестирования знания ATP-fir

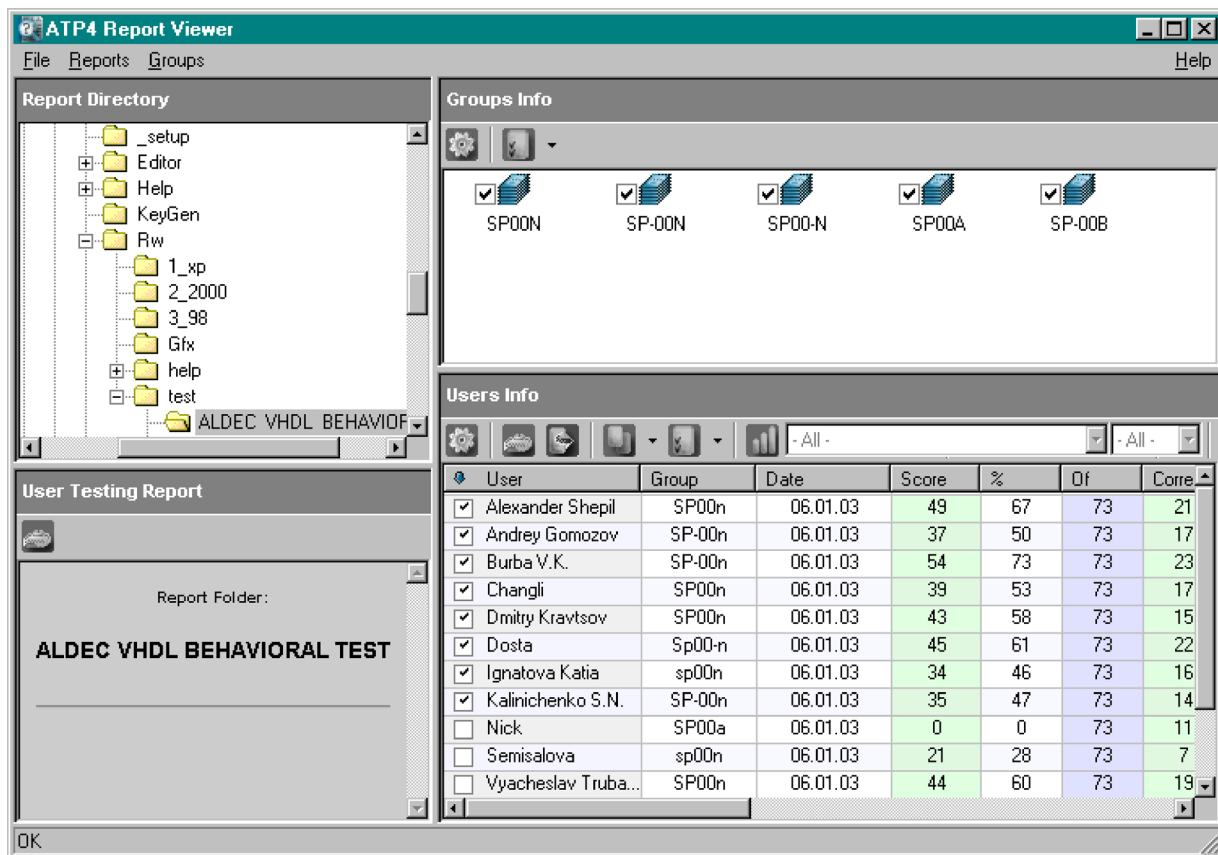


Рисунок 8 – Главное окно Визуализатора отчетов

Таким образом, модуль FTP позволяет получить доступ к БД тестов, расположенной в любой точке мира, с помощью FTP-протокола. Тесты могут быть загружены и выполнены непосредственно с FTP-сервера, а результаты тестирования впоследствии могут быть выложены на FTP-сервер Администратора, что незаменимо при проведении опросов пользователей, территориально отдалённых между собой, даже если пользователи и администратор находятся в разных точках планеты.

Помимо, традиционных модулей системы, таких как *ATP Editor*, *ATP Verifier* и *ATP Report Viewer*, система *ATP-fip* содержит модуль интерфейса системы моделирования и внешним компиляторам для проверки вопросов типа «HDL-задача». Для того, чтобы воспользоваться средством БСТЗ-FTP на клиентских машинах нужно настроить верификатор ATP Verifier в соответствии с параметрами FTP-сервера, после чего клиенты-пользователи будут иметь возможность обмена данными через Интернет с помощью FTP-протокола

Ключевые возможности и особенности разработанных систем тестирования знаний:

- создание базы вопросов по любой теме практически без ограничения на ее объем;
- использование 4-х базовых типов вопросов;
- поддержка новых 3-х типов тест-задач;
- сопряжение с компилятором и симулятором САПР Active-HDL и возможность реализации благодаря этому VHDL- и Verilog-задач;
- наличие встроенного компилятора C/C++ и реализация благодаря этому C-задачи;
- стилевая поддержка при настройке VHDL- и Verilog-задач;
- наличие встроенного Test-Bench Generator, благодаря которому создаются широкие возможности создания эталонов для тест-задач;
- гибкие настройки по ограничению времени, количеству подсказок, допускаемых ошибок, а также по оценке ответов студента;
- защита базы вопросов от несанкционированного доступа и изменения;
- предоставление полного отчета по проведенному опросу и размещение его в заданном месте на сервере;
- возможно параллельное проведение опроса нескольких студентов без ограничений;
- исключается возможность необъективной оценки знаний студента; объективность оценки повышается за счет того, что каждый студент получает однотипные вопросы и имеет равные условия по ограничению во времени, попыткам и т.д.;

• анализатор выдает полный отчет по каждому проведенному опросу, который преподаватель может просмотреть как сразу после окончания теста, так и в любое другое время.

Выводы

В работе получены следующие основные результаты.

- Выполнен обзор базовой системы тестирования знаний ATP. Указано, что основным недостатком системы является отсутствие возможности реализации тестов-задач и дистанционного обмена тестовой информацией.

- Предложен новый тип тестовых заданий тест-задача.

- Реализованы 3 типа тестовых задач: VHDL-, Verilog- и C-задача, для реализации которых необходима интеграция системы тестирования знаний с соответствующими компиляторами и симуляторами САПР указанных языков моделирования аппаратуры.

- Маркетинговый отдел компании Aldec, Inc. выполнил исследование на предмет новизны подхода решения тестовых заданий типа HDL-задача и обнаружил что ни в одном университете США этот подход не был реализован.

- Для обеспечения дистанционного обмена тестовой информацией предложено использовать FTP- и SMTP-сетевые протоколы Интернет.

- Выполнена модернизация БСТЗ ATP и реализованы 2 новые версии систем ATP-hdl и ATP-fip.

- Выполнена интеграция новых версий систем ATP с компилятором и симулятором САПР Active-HDL.

- Описаны основные модули разработанных систем тестирования знаний, приведены многочисленные скриншоты программ.

Научная новизна работы состоит в том, что в отличие от традиционных тест-вопросов, предложен новый тип тестовых заданий - тест-задача, обеспечивающая автоматическое тестирование сложных технических заданий. Новизна подтверждается исследованиями литературных источников и разработок вузов стран СНГ и дальнего зарубежья в области тестирования знаний вообще и HDL- и FPGA-технологий проектирования КС в частности.

Практическая значимость работы заключается в том, что на основе общего подхода реализации тест-задачи авторами работы разработаны 3 типа тест-задач: VHDL-, Verilog и C-задачи, которые внедрены в системы тестирования знаний. В целом, полученные в работе результаты могут быть внедрены в учебный процесс вузов, проведения олимпиад, курсов повышения квалификации и сертификации специалистов в области HDL- и

FPGA-технологий проектирования КС. Предложенный подход решения тест-задач может быть распространен и на другие языки программирования, в том числе и на универсальные языки программирования.

Разработанные авторами данной работы новые версии систем АТР-*hdl* и АТР-*ftp* используются в учебном процессе кафедры компьютерной инженерии ДонНТУ, а также использовались в курсах повышения квалификации ГП «Топаз», Донецк, и при подготовке и проведении Олимпиад, проводимых фирмой ALDEC Inc.. в области HDL- и FPGA-технологий проектирования КС. Более подробно о системе АТР можно ознакомиться на сайте лаборатории ДонНТУ «FPGA-технологии проектирования и диагностика компьютерных систем» [29].

Литература

1. Аванесов, В. С. Научные проблемы тестового контроля знаний. – М.: Знание, 1994. – 136 с.
2. Майоров, А. Н. Теория и практика создания тестов для системы образования. (Как выбирать, создавать и использовать тесты для целей образования). – М.: Просвещение, 2000. – 352 с.
3. Чельшкова, М. Б. Теория и практика конструирования педагогических тестов: Учебное пособие. – М.: Энергия, 2002. – 432 с.
4. Ланда, Л. Н. Алгоритмизация в обучении. – М.: Просвещение, 1966. – 235 с.
5. Нестеренко, Д. О. Тестирование аналоговых и аналогово-цифровых схем методами цифровой обработки сигналов / Д. О. Нестеренко, Ю. Е. Зинченко, В. Н. Соленов // Информатика и кибернетика. - Донецк: ДонНТУ, 2020. - № 4(22). – С. 77–59.
6. Зинченко, Ю.Е. Проектирование диагностического обеспечения на базе FPGA-, HDL- и HES-технологий / Материалы международной научно-технической конференции «International Active-HDL Conference». - Харьков: ХНУРЭ, 2001. - С. 13-24.
7. Зинченко, Ю. Е. Адаптивный подход к генерации псевдослучайных тестов цифровых устройств / Ю. Е. Зинченко, А. А. Корченко // Научные труды Донецкого национального технического университета. – Донецк: ДонНТУ, 2011. – Вып. 9 (179). – С. 360-365.
8. Корченко, А. А. Оптимизация адаптивного подхода генерации псевдослучайных тестов / А. А. Корченко, Ю. Е. Зинченко // Наукові праці ДонНТУ. Серія «Проблеми моделювання та автоматизації проектування» (МАП-2012). - Донецк: ДонНТУ, 2012. – Вып. 10. - С. 60-68.
9. Зинченко, Т. А. Разработка архитектуры интегрированной система генерации псевдослучайных тестов цифровых устройств / Т. А. Зинченко, Ю. Е. Зинченко, О. Н. Дяченко. // Информатика и кибернетика. - Донецк: ДонНТУ, 2022. - № 4 (26). – С. 27-31/
10. Зинченко, Ю. Е. АГАТ–система автоматизированной генерации псевдослучайных адаптивных тестов / Ю. Е. Зинченко, А. А. Корченко, Т. А. Зинченко // Матеріали III міжд. наук.-практ. конф. студ., асп. та молод. вчен. «Інформація і керуючі системи в промисловості, економіці та екології», вересень 2011. - Сєверодонецьк: Технол. ін-т Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля, 2011. – 7 с.
11. FPGA-технологии проектирования и диагностика компьютерных систем / Ю. Е. Зинченко, В. И. Калашников, С. Хайдук, Т. А. Зинченко и др. // Сборник научных трудов VI Международной научно-практической конференции «Современные информационные технологии и ИТ-образование». – Москва: МГУ, 2011. – Т. 1. - С. 422-429.
12. Зинченко, Ю. Е. Новые технологии проектирования в ДонГТУ / Ю. Е. Зинченко, О. Н. Дяченко // Материалы международной научно-технической конференции «Новые информационные технологии в САПР и АСУ». – Киев, 2001. - С. 15-19.
13. Современные проекты FPGA-лаборатории ДонНТУ / Ю. Е. Зинченко, В. И. Калашников, О.Н. Дяченко, Т. А. Зинченко // Инновационные перспективы Донбасса: сборник трудов Международной научно-практической конференции в рамках I-го Международного научного форума ДНР «Донбасс-2015», 20-22 мая 2015. - Донецк: ДонНТУ, 2015. – С. 4.
14. Масюк, А. Л. Тестирование знаний по VHDL на базе пакета АТР-VHDL / А. Л. Масюк, А. А. Корченко, Л. Н. Масюк, Ю. Е. Зинченко // «Образование и виртуальность – 2002». Сборник научных трудов 6-й Международной конференции Украинской ассоциации дистанционного образования – Харьков-Ялта-2002.
15. Масюк, А. Л. Тестирование знаний по VHDL на базе пакета АТР4 / А. Л. Масюк, Л. Н. Масюк, Ю. Е. Зинченко // Материалы научно-методической конференции «Информационные технологии и проблемы дистанционного обучения в высшем техническом образовании». – Донецк: ДонНТУ, 2002. – С. 18-20.
16. Зинченко, Ю. Е. Автоматизированное решение задач при проведении тестирования / Ю. Е. Зинченко, А. А. Корченко, А. Л. Масюк, Т. А. Зинченко // ВИРТ-2004: Сборник научных трудов 6-й Международной конференции Украинской ассоциации дистанционного образования /под общ. ред. В.А. Гребенюка, В. В. Семенца. – Харьков-Ялта, 2004.
17. Масюк, А. Л. Система дистантного тестирования знаний по VHDL / А. Л. Масюк,

Л. Н. Масюк, Ю. Е. Зинченко // ВИРТ-2002: Сборник научных трудов 6-й Международной конференции Украинской ассоциации дистанционного образования /под общ. ред. В.А. Гребенюка, В. В. Семенца. – Харьков-Ялта, 2002. – С. 363 - 368.

18. Зинченко, Ю. Е. Имитация периферийных устройств в системе дистанционного доступа к FPGA-комплексам / Ю. Е. Зинченко, В. С. Ленч, Т. А. Зинченко, В. Н. Павлыш // Информатика и кибернетика. - Донецк: ДонНТУ, 2017. - № 3(9). – С. 60–68.

19. Зинченко, Ю. Е. Универсальный тестирующий комплекс на базе систем ATP и Online-Testing / Ю. Е. Зинченко, А. Л. Масюк, А. А. Корченко, Т. А. Зинченко // Научно-практическая конференция «Современные технологии проектирования систем на микросхемах программируемой логики (ПЛИС)». – Харьков, 2003.

20. Проектирование цифровых систем с использованием языка VHDL: учебное пособие/ В. И. Семенец, И. В. Хаханова, В. И. Хаханов. - Харьков: ХНУРЭ, 2003.- 492 с.

21. Суворова, Е. А. Проектирование цифровых систем на VHDL. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 256 с.

22. Sudhakar Yalamanchili. Introductory VHDL: From Simulation to Synthesis. – New Jersey: Prentice Hall, 201.- 401s.

23. Peter J. Ashenden The designer's Guide to VHDL //Morgan Kaufmann, San Francisco California, US, 1995. – 688 p.

24. Грушвицкий, Р. И. Проектирование систем на микросхемах программируемой логики /Р. И. Грушвицкий, А. Х. Мурсаев, Е. П. Угрюмов. - СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 608 с.

25. Угрюмов, Е. П. Цифровая схемотехника. - Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2001.— 528 с.

26. Соловьев, В. В. Проектирование цифровых систем на основе программируемых логических интегральных схем. - М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 636 с.

27. Сайт фирмы Aldec <http://www.aldec.com>

28. ACTIVE-HDL Серия. Книги 1–4. США, Невада: ALDEC, Май 1999. - www.aldec.com.ua

29. Сайт лаборатории ДонНТУ «FPGA-технологии проектирования и диагностика компьютерных систем». – Донецк: ДонНТУ. - <http://fpga.donntu.ru>.

Зинченко Ю. Е., Зинченко Т. А. Автоматизированное тестирование знаний в области HDL- и FPGA-технологий проектирования компьютерных систем. В данной работе предлагается новый тип тестового задания и на основе ранее разработанной (базовой) системы тестирования знаний ATP разрабатываются архитектура и программное обеспечение модернизированных систем ATP-hdl и ATP-ftp. Первая система строится путем внедрения в базовую систему нового типа тестового задания – HDL-задача: VHDL-, Verilog- и C/C++ задачи. Вторая система предназначена для организации дистанционного тестирования знаний на базе FTP- и SMTP- сетевых протоколов обмена информацией в среде Интернет. Приводятся структуры базовой и разработанных систем, программное обеспечение демонстрируется многочисленными скриншотами. Дается сравнительный анализ разработанных систем по сравнению с аналогами, описывается внедрение и опыт использования систем.

Ключевые слова: HDL, HDL-задача, VHDL, Verilog, FPGA, FTP, SMTP.

Zinchenko Yu., Zinchenko T. Automated testing of knowledge in the field of HDL- and FPGA-technologies for computer system design. In this work, a new type of test task is proposed and, based on the previously developed (basic) ATP knowledge testing system, the architecture and software of the modernized ATP-hdl and ATP-ftp systems are developed. The first system is built by introducing into the base system a new type of test task - an HDL task: VHDL, Verilog and C/C++ tasks. The second system is designed to organize remote knowledge testing based on FTP and SMTP network protocols for exchanging information on the Internet. The structures of the basic and developed systems are given, the software is demonstrated with numerous screenshots. A comparative analysis of the developed systems in comparison with analogues is given, the implementation and experience of using the systems is described.

Keywords: HDL, HDL-task, VHDL, Verilog, FPGA, FTP, SMTP.

Статья поступила в редакцию 10.12.2024
Рекомендована к публикации профессором Мальчевой Р. В.

Об авторах

Алымов Даниил Андреевич – магистрант кафедры программной инженерии им. Л. П. Фельдмана факультета интеллектуальных систем и программирования ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет».

Беловодский Валерий Николаевич - кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры компьютерного моделирования и дизайна факультета информационных систем и технологий ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет».

Боднар Алина Валериевна - кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры программной инженерии им. Л. П. Фельдмана факультета интеллектуальных систем и программирования ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет».

Боровиков Алексей Иванович – аспирант кафедры программной инженерии им. Л. П. Фельдмана факультета интеллектуальных систем и программирования ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет».

Букин Сергей Леонидович – аспирант кафедры компьютерного моделирования и дизайна факультета информационных систем и технологий ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет».

Великий Владимир Александрович – аспирант кафедры прикладных информационных технологий Института информационных технологий, машиностроения и автотранспорта Кузбасского государственного технического университета имени Т. Ф. Горбачёва, Кемерово, РФ.

Григорьев Александр Владимирович - кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры программной инженерии им. Л. П. Фельдмана факультета интеллектуальных систем и программирования ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет».

Зинченко Юрий Евгеньевич – канд. техн. наук, доцент.

Зинченко Татьяна Анатольевна – старший преподаватель кафедры прикладной математики и искусственного интеллекта ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет».

Зори Сергей Анатольевич - доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой программной инженерии им. Л. П. Фельдмана факультета интеллектуальных систем и программирования ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет».

Криводубский Олег Александрович - доктор технических наук, доцент, профессор кафедры программной инженерии им. Л. П. Фельдмана факультета интеллектуальных систем и программирования ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет».

Нестеренко Александра Романовна - студент кафедры программной инженерии им. Л. П. Фельдмана факультета интеллектуальных систем и программирования ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет».

Пешкова Надежда Эдуардовна - аспирант кафедры программной инженерии им. Л. П. Фельдмана факультета интеллектуальных систем и программирования ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет».

Пимонов Александр Григорьевич - д.т.н., профессор, заведующий кафедрой прикладных информационных технологий Института информационных технологий, машиностроения и автотранспорта Кузбасского государственного технического университета имени Т. Ф. Горбачёва, Кемерово, РФ.

Федоров Сергей Олегович - аспирант кафедры прикладных информационных технологий Института информационных технологий, машиностроения и автотранспорта Кузбасского государственного технического университета имени Т. Ф. Горбачёва, Кемерово, РФ.

Хомичук Надежда Викторовна - магистрант кафедры программной инженерии им. Л. П. Фельдмана факультета интеллектуальных систем и программирования ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет».

Чернышов Дмитрий Николаевич - аспирант кафедры программной инженерии им. Л. П. Фельдмана факультета интеллектуальных систем и программирования ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет».

**Требования к статьям,
направляемым в редакцию научного журнала
«Информатика и кибернетика»**

Редколлегией принимаются к рассмотрению статьи, в которых рассматриваются важные вопросы в области информатики и кибернетики. Научный журнал издаётся с 2015 года, периодичность издания – 4 раза в год.

В журнале предусмотрены следующие рубрики:

- информатика и вычислительная техника;
- компьютерные и информационные науки;
- инженерное образование.

В соответствии с номенклатурой специальностей научных работников МОН ДНР первые две рубрики соответствуют следующим укрупненным группам специальностей научных работников:

05.01 – «Инженерная геометрия и компьютерная графика»,

05.13 – «Информатика, вычислительная техника и управление».

С 01.02.2019 Научный журнал включён в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук (приказ МОН ДНР № 135) по группам специальностей 05.01.00 и 05.13.00.

Рубрика «Инженерное образование» предназначена опубликования сотрудниками научно-методических статей.

Журнал также включён в базу данных РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) (лицензионный договор № 425-07/2016 от 14.07.2016).

Статьи, представляемые в данный сборник, должны отвечать следующим требованиям. **Содержание статьи** должно быть посвящено актуальным научным проблемам и включать следующие необходимые элементы:

- постановку проблемы в общем виде, её связь с важными научными и практическими задачами;
- анализ последних исследований и публикаций, в которых решается данная задача и на которые опирается автор, выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящается статья;
- формулировка цели статьи и постановка задач, решаемых в ней;
- изложение основного материала с полным обоснованием полученных научных результатов;
- выводы и перспективы последующих исследований в данном направлении.

Каждый элемент должен быть выделен соответствующим названием раздела, например, «введение», «постановка задачи», «цель и задачи работы», «цель статьи», «цель исследования», «цель разработки», «анализ ...», «сравнительная оценка ...», «разработка ...», «проектирование ...», «программная реализация», «тестирование ...», «полученные результаты», «выводы», «литература». Разделы «введение», «выводы», «литература» являются обязательными. Включать в названия разделов нумерацию не разрешается.

В основном тексте статьи формулируются и обосновываются полученные авторами утверждения и результаты. Выводы должны полностью соответствовать содержанию основного текста. Языки публикаций: русский, английский.

Объём статьи, формат страницы

Для оформления статьи следует использовать листы формата А4 (210x297 мм) с полями по 2,5 см со всех сторон. Нумерацию страниц выполнять не нужно.

Рекомендуемый объём статьи – 6-12 страниц. Рукописи меньшего объёма могут быть рекомендованы к публикации в качестве коротких сообщений.

Последняя страница текста статьи должна быть заполнена не менее чем на две трети, но содержать не менее трёх пустых строк в конце.

Форматирование текста

Подготовка статьи осуществляется в текстовом редакторе Microsoft Office Word.

Весь текст статьи оформляется шрифтом Times New Roman 10 пт с одинарным междустрочным интервалом, если ниже в требованиях не сказано иного. Абзацный интервал «перед» – 0 пт, «после» – 0 пт.

На первой строке с выравниванием по левому краю располагается УДК.

Заголовок (название) статьи оформляется шрифтом Times New Roman 14 пт, полужирное начертание, с выравниванием по центру (без абзацных отступов). Заголовок статьи следует печатать с прописной буквы без точки в конце, переносы слов не допускаются. Абзацный интервал «перед» – 12 пт, «после» – 12 пт.

После названия статьи следует информация об авторах, которая выравнивается по центру (без абзацных отступов). На одной строке указываются инициалы и фамилии всех авторов через запятую. Между двумя инициалами ставится пробел. С новой строки указывается название вуза (организации) и город (для каждого автора, если не совпадают). На следующей строке указываются адреса электронной почты (один адрес либо каждого автора – по желанию). Адрес электронной почты оформляется в виде гиперссылки.

К тексту аннотации применяется курсивное начертание, с выравниванием по ширине, отступы слева и справа по 1 см. Заголовок «Аннотация» выделяется полужирным начертанием. Объём аннотации – 450-550 символов (без пробелов). Абзацный интервал «перед» – 12 пт, «после» – 12 пт.

Основной текст статьи разбивается на две колонки шириной по 7,5 см (промежуток между столбцами – 0,99 см), выравнивается по ширине. Абзацный отступ первой строки – 1 см. Автоматический перенос слов не применяется.

Заголовки разделов выполняются шрифтом Arial 10 пт, полужирное курсивное начертание. Абзацный отступ отсутствует, интервал перед абзацем – 12 пт, после абзаца – 6 пт. Для заголовка «Введение» установить интервал «перед» – 0 пт, «после» – 6 пт.

Таблицы в тексте статьи

Название следует помещать над таблицей с абзацного отступа (1 см) в формате: слово «Таблица», пробел, номер таблицы, пробел, тире, пробел, название таблицы. Название таблицы записывают с прописной буквы без точки в конце строки и выравнивают по ширине. В ячейках таблицы устанавливается выравнивание текста по центру по вертикали. По горизонтали текст выравнивается по центру либо по левому краю. Границы ячеек таблицы должны быть только чёрного цвета, толщина линии – 1 пт. На все таблицы должны быть приведены ссылки в тексте статьи, при ссылке следует писать слово «табл.» с указанием её номера, например, «... данные приведены в табл. 5». Таблицы нумеруются в пределах статьи. Таблица располагается сразу после ссылки на неё, если это возможно (например, после окончания абзаца). Если же таблица не помещается на текущей странице, то она должна быть расположена в начале следующей страницы (или колонки). При необходимости допускается включение в статью таблицы, ширина которой превышает ширину колонки. В этом случае таблица и её название размещаются по центру страницы. Таблица не должна выступать за границы полей страницы. Таблица и её название отделяются от основного текста статьи одной пустой строкой до и после.

Рисунки в статье

Ссылки на иллюстрации по тексту статьи обязательны и оформляются в виде «... на рис. 2» и т. п. Рисунок и его подпись выравниваются по центру колонки (без абзацных отступов), положение рисунка – «в тексте». Размещается рисунок после его первого упоминания в тексте, если это возможно (например, после окончания абзаца). Если же иллюстрация не помещается на текущей странице, то она должна быть расположена в начале следующей страницы (или колонки). При необходимости допускается включение в статью рисунка, ширина которого превышает ширину колонки. В этом случае рисунок и его подпись выравниваются по центру страницы. Иллюстрация не должна выступать за границы полей страницы. Подпись рисунка оформляется в формате: слово «Рисунок», пробел, номер иллюстрации, пробел, тире, пробел, название рисунка. Название рисунка записывают с прописной буквы без точки в конце строки. Для подписи иллюстрации применяют курсивное начертание. Иллюстрация и её подпись

отделяются от основного текста статьи одной пустой строкой до и после. Не допускается выполнять рисунки с помощью встроенного графического редактора Microsoft Office Word. Если на иллюстрации имеется текст, размер шрифта должен быть не менее чем аналогичный текст, набранный шрифтом Times New Roman 10-го размера. Иллюстрация не должна содержать много незаполненного пространства.

Формулы

Формулы и уравнения рекомендуется набирать с использованием MathType (предпочтительно) или MS Equation. Формулы и математические символы не должны существенно отличаться по размеру от основного текста. Обязательной является нумерация формул, на которые имеется ссылка в тексте статьи. Ссылки в тексте на порядковые номера формул дают в скобках, например, «... согласно формуле (2)». Формулы размещаются по центру колонки, а их номера – по правому краю. Как для строки с формулой, так и для первой строки пояснений (при наличии), абзацный отступ убирается. Первая строка пояснения начинается со слова «где», после которого следует поставить табуляцию на 1 см, затем само пояснение в формате: символ, подлежащий объяснению, пробел, тире, пробел, поясняющий текст, запятая, обозначение единицы измерения физической величины. Пояснения перечисляются через точку с запятой, выравниваются по ширине. Вторая и последующие строки пояснений начинаются с абзацного отступа (1 см). Весь блок текста, связанный с формулой (только формула, несколько формул подряд или формула с пояснениями), отделяется от основного текста одной пустой строкой до и после. Переносить формулы на следующую строку допускается только на знаках выполняемых операций, причем знак в начале следующей строки повторяют. При переносе формулы на знаке умножения применяют знак «×». Формулы и математические уравнения могут быть записаны в тексте документа, если их высота не превышает высоту строки. При этом следует учитывать, что знаки математических операций отделяются от чисел или символов пробелами с обеих сторон. Например, «Если учесть, что $y < 0$ и $2x + y = 1$, то из формулы (3) можно выразить $x...$ ». К символам, которые приведены в формуле, при дальнейшем их употреблении (в том числе в пояснениях к формуле) должно применяться курсивное начертание. При этом к любым числам (верхние и нижние индексы, содержащие цифры и т.п.), а также к математическим знакам курсивное начертание не применяется. Не допускается вставлять формулы, выполненные в виде рисунков.

Перечисления: оформление списков

Основной текст статьи может содержать перечисления, оформленные в виде маркированного списка. В качестве маркера элемента списка разрешается использовать только короткое тире «—». Каждый элемент перечисления записывается с новой строки с абзацного отступа, равного 1 см. После символа короткого тире текст располагается с отступом в 1,5 см от левой границы строки, выравнивается по ширине, при переносе на новые строки располагается без отступов. Нумерованные и многоуровневые списки включать в статью не разрешается.

Литература

В тексте статьи обязательны ссылки на все литературные источники, номер источника указывается в квадратных скобках. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются. Рекомендуемое количество источников, на которые ссылается автор, не менее 10. Перечень источников приводится в порядке их упоминания в статье. Библиографическое описание каждого литературного источника оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.100–2018. Перечень литературных источников оформляется в виде нумерованного списка. В качестве маркеров элементов списка используют порядковые арабские цифры с точкой. Каждый источник представляет собой отдельный элемент перечисления, записывается с новой строки с абзацного отступа, равного 1 см. После порядкового номера с точкой текст располагается с отступом в 1,5 см от левой границы строки, выравнивается по ширине, при переносе на новые строки располагается без отступов.

В конце статьи обязательно приводятся аннотации на русском и английском языках, каждая заканчивается перечнем 5-6 ключевых слов.

К тексту аннотации применяется курсивное начертание, с выравниванием по ширине, отступы слева и справа по 1 см. Слово «Аннотация» опускается. Текст аннотации начинается с ФИО авторов и названия статьи, выделяемых полужирным начертанием. Аннотация на русском языке совпадает с аннотацией, приведенной в начале статьи. В тексте аннотации на английском языке после фамилии автора указывается только первая буква имени с точкой. Абзацный интервал «перед» – 12 пт, «после» – 12 пт. Ключевые слова оформляются с новой строки аналогично тексту аннотации. Заголовок «Ключевые слова:» (англ. «Keywords:») выделяется полужирным начертанием. Ключевые слова перечисляются через запятую.

Порядок представления статьи и сопроводительные документы

В редакцию необходимо представить:

- файл с текстом статьи;
- файл, содержащий фамилию, имя и отчество авторов полностью; ученую степень, ученое звание; место работы с полным указанием должности, подразделения и наименования организации, города (страны); номера телефонов и e-mail для связи;
- экспертное заключение о возможности публикации статьи, подписанное руководителем и заверенное печатью организации, в которой работает автор статьи;
- выписка из заседания кафедры или письмо организации с просьбой об опубликовании и указанием, что изложенные в статье результаты ранее не публиковались.

Статьи и сопроводительные документы следует высылать на электронный адрес infcyb.donntu@yandex.ru.

К сведению авторов

Если статья оформлена с нарушением указанных выше требований и правил, редакция после предварительного рассмотрения может отклонить статью.

На рецензирование статьи направляются членам редакционной коллегии журнала. Все статьи публикуются при наличии положительной рецензии.

В статью могут быть внесены изменения редакционного характера без согласования с автором. Ответственность за содержание статьи и качество перевода аннотаций несут авторы.

Публикация статей в научном журнале «Информатика и кибернетика» осуществляется на некоммерческой основе.

Все номера Научного журнала размещаются в электронной библиотечной системе ФГБОУ ВО «ДонНТУ» и на сайте <http://infcyb.donntu.ru/>.

CONTENT

Informatics and computer engineering

Optimizing rendering performance in game engines using OpenCL technology <i>Khomichuk N. V., Zori S. A.</i>	5
Technologies and software for open sources data extraction and analysis in territorial seismic monitoring task <i>Fedorov Sergey, Velikiy Vladimir, Pimonov Alexander</i>	12
Analysis of the process of digitalization of enterprises <i>Bodnar A. V., Peshkova N. E.</i>	20
On the formation of ideal laws of motion of the working organs of vibrating transporting machines by implementing superharmonic resonances <i>Belovodskiy V.N., Bukin S.L.</i>	27
A method of representing structures through NON-factors as a tool for finite element specifying <i>Chernishov D. N., Grigoriev A. V.</i>	32
Types of flows in an organization <i>Krivodubsky O. A., Borovikov A. I.</i>	39
Integration of Blockchain Technology to Enhance Data Transparency and Security in CRM Systems <i>Alymov D. A., Bodnar A. V.</i>	46
Automated testing of knowledge in the field of HDL- and FPGA- technologies for computer system design <i>Zinchenko Yu., Zinchenko T.</i>	55
<u>About Authors</u>	65
<u>Requirements to articles which are sent to the editors office of the scientific journal “Informatics and Cybernetics”</u>	67

Электронное периодическое издание

Научный журнал

ИНФОРМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА

(на русском, английском языках)

№ 4 (38) - 2024

Ответственный за выпуск Р. В. Мальчева

Технический редактор Р. В. Мальчева

Компьютерная верстка Р. В. Мальчева

Подписано к выпуску 18.12.2024. Усл. печ. лист. 8,2. Уч.-изд. лист. 5,9.
Адрес редакции: ДНР, 283001, г. Донецк, ул. Артема, 58, ФГБОУ ВО «ДонНТУ»,
4-й учебный корпус, к. 36.
Тел.: +7 (856) 301-07-35, +7 (949) 334-89-11
E-mail: infcyb.donntu@yandex.ru, URL: <http://infcyb.donntu.ru>