

УДК: 519.876.5, 50.53.15

**КОНЦЕПЦИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ
GPSS WORLD CORE И PROOF ANIMATION ПОСРЕДСТВОМ
ОБОЛОЧКИ НА C#**

Некрасов А. Н., студент гр. ИИБ-231, III курс
Научный руководитель: Зиновьев В. В., к.т.н., доцент
Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева
г. Кемерово

Компьютерное имитационное моделирование находит широкое применение в случаях, когда аналитические методы являются малоприменимыми или недостаточно эффективными, например, при необходимости воспроизведения динамики взаимодействия элементов системы во времени и пространстве с учетом влияния ряда случайных факторов.

Для более доступного восприятия информации, получаемой в ходе имитационного эксперимента, имитационные модели дополняют программами компьютерной анимации, которые отображают эксперимент в виде мнемосхемы. Компьютерная анимация позволяет воспроизводить динамику исследуемых процессов на экране компьютера, проверять правильность имитационной модели по визуальному отображению, выявлять и исправлять ошибки при отладке модели, перемещаться во времени и пространстве с целью анализа и прогноза ситуаций, менять масштаб и позиционирование любых участков отображения. Одной из наиболее распространенных связок ПО имитационного моделирования и компьютерной анимации является связка GPSS – Proof Animation, применяемая при моделировании различных систем (информационных, автоматизированных, производственных, энергетических, технологических, транспортных) [1–9].

Однако современная версия специализированного языка имитационного моделирования GPSS World Core обладает недостаточной программной связанностью с Proof Animation, что затрудняет анализ результатов экспериментов по анимационному отображению [10–12]. В связи с этим возникает задача разработки концепции взаимодействия указанных программ за счет создания специализированной программной оболочки для повышения эффективности проведения экспериментов на разработанных моделях пользователями, не являющимися специалистами в области имитационного моделирования.

Средство имитационного моделирования GPSS World состоит из двух взаимосвязанных программных компонентов: ядра GPSS World Core, предназначенного для выполнения непосредственно имитационных

экспериментов, и ПО GPSS Studio с клиентоориентированным пользовательским интерфейсом и обширным дополнительным функционалом, предоставляющим возможности проведения серии экспериментов, построения графиков, создания форм ввода данных, взаимодействия с библиотеками C# платформы NET Framework и разработки собственной анимации. Вместе с тем использование GPSS Studio как универсального приложения для имитационного моделирования и компьютерной анимации недостаточно эффективно ввиду ограничений, установленных в приложении (таблица 1) [12].

Таблица 1 – Ограничения функционала ПО GPSS Studio

Функционал	Ограничения
Построение имитационной модели	– Невозможность использования числовых переменных (EQU, VARIABLE) для передачи значений в блоки FUNCTION и MATRIX.
Проведение серии экспериментов	– Автоматическое проведение серии экспериментов возможно только при построении форм; – При проведении экспериментов в формах возникают проблемы с сохранением данных в файлах (вероятно, проблема с закрытием потоков); – Требуется явное указание периода моделирования вне текста модели; соответствующие блоки в тексте модели не учитываются при эксперименте.
Просмотр экспериментов в формах	– Обширный интерфейс форм, требующий времени для обучения; – Невозможность одновременного просмотра более одного эксперимента; как следствие, невозможность одновременного просмотра анимаций по нескольким экспериментам.
Построение анимации	– Элементы, располагающиеся на анимации, есть конкретные блоки GPSS; – Отсутствие графического редактора для рисования объектов (возможно только использование изображений).
Взаимодействие с библиотеками на C#	– Проблемы с компиляцией библиотек на более ранних версиях GPSS Studio; – Невозможность использования строковых параметров в интегрируемых методах C#.

Альтернативным средством компьютерной анимации, позволяющим использовать более гибкую систему связи с блоками и транзактами GPSS и создавать разнообразные объекты анимации посредством графического редактора, является Proof Animation [13–14]. Визуализация имитационных экспериментов в данном ПО может быть осуществлена при создании двух файлов:

- .LAY, в котором содержится описание статических элементов и классов динамических объектов анимации, путей перемещения, графиков и надписей;
- .ATF, в котором хранятся данные об изменении состояния тех или иных объектов с течением модельного времени, записанные при помощи специальных команд.

Файлы .ATF и .LAY могут быть изменены при помощи обычного текстового редактора (например, Блокнота на Windows), при условии их открытия в кодировке ANSI, что является одним из достоинств ПО. Использование программы также позволяет организовывать параллельный просмотр нескольких проведенных экспериментов, поскольку Proof Animation поддерживает возможности запуска нескольких экземпляров приложения. Для воспроизведения имитационного эксперимента его ход должен быть записан в виде команд в файл .ATF через блоки записи WRITE программы GPSS.

Применение связки «GPSS–Proof Animation» теряет эффективность при использовании форм в GPSS Studio. Поскольку форма требует явного определения периода моделирования в специальных полях и не учитывает соответствующие блоки в тексте модели, возникают трудности при закрытии потоков чтения/записи после истечения модельного времени. В случае, если файловой поток не будет закрыт, то данные, записанные в него в ходе имитационного эксперимента, не будут сохранены. Альтернативой может стать постоянное открытие и закрытие потоков в процессе работы модели для записи каждой отдельной инструкции. В этом случае будет осуществляться дозапись данных в начало файла, что в контексте записи .ATF приведет к нарушению порядка следования команд и модельных времен.

При использовании GPSS Studio также возникают неудобства ввиду невозможности автоматического запуска анимации после поведения эксперимента; дополнительно сохраняется и ряд других ограничений, описанных в таблице 1. Все вышеуказанные проблемы могут быть решены при использовании связующей оболочки, написанной на языке программирования и обращающейся к остальным программам.

Оболочка должна выполнять запуск одиночного имитационного эксперимента при обращении к GPSS, загружать анимацию в Proof Animation на основании сгенерированного интерпретатором GPSS ATF-файла и обеспечивать изменение входных данных эксперимента. Поскольку предполагается возможность одновременной визуализации нескольких имитационных экспериментов, то ATF-файлы должны размещаться в различных папках файловой системы, а LAY-файлы – дублироваться в ту же

папку для каждого ATF. Для возможности изменения данных модели требуется, чтобы текст модели с блоками записи команд .ATF был предварительно внедрен в оболочку и передавался в GPSS. Для повышения удобства использования оболочки целесообразно добавление графического пользовательского интерфейса. Данные, введенные пользователем в элементы управления UI, должны встраиваться в текст модели. В качестве средства для реализации оболочки рассматривается язык программирования C#.

Изменение текста модели в оболочке требует более сложного взаимодействия с GPSS, при этом отредактированный текст модели может быть либо сохранен в формате файла модели (.gps или .gpsx), либо передан непосредственно в программу. Особенностью GPSS World Core и GPSS Studio является несовместимость форматов файлов, то есть модель, сохраненная в формате .gps не может быть запущена в Studio; файл .gpsx не может быть использован в Core. Одной из причин несовместимости является различие в структуре данных внутри вышеуказанных файлов: файл .gpsx представляет собой документ XML-структуры; файл .gps содержит закодированный или зашифрованный текст модели.

При открытии файла модели через ядро GPSS Core или GPSS Studio скрипт внутри него не выполняется автоматически, в связи с чем необходимо осуществить имитацию действий пользователя, направленную на запуск эксперимента. Это делает неэффективным использование записи текста модели в файл, поскольку создает дополнительный процесс, который лишь отчасти решает требуемые задачи. Необходимость имитации действий пользователя также делает нерациональным использование GPSS Studio, поскольку усложненный по сравнению с Core пользовательский интерфейс (ввиду большего функционала) требует имитации большего числа действий, а само приложение GPSS Studio не работает без GPSS World Core, так как обращается к нему. Наиболее эффективным вариантом является непосредственная передача текста модели в ядро GPSS World Core.

Рядовые библиотеки C# не позволяют реализовать функционал имитации действий пользователя (требуется работа со структурами IntPtr; использование класса SendKeys в Windows Forms не приемлемо, поскольку дает сбой), в связи с чем необходимо использовать внешние подключаемые библиотеки WinAPI [15–16]. Общий алгоритм использования WinAPI для проведения одиночного имитационного эксперимента представлен на рисунке 1.

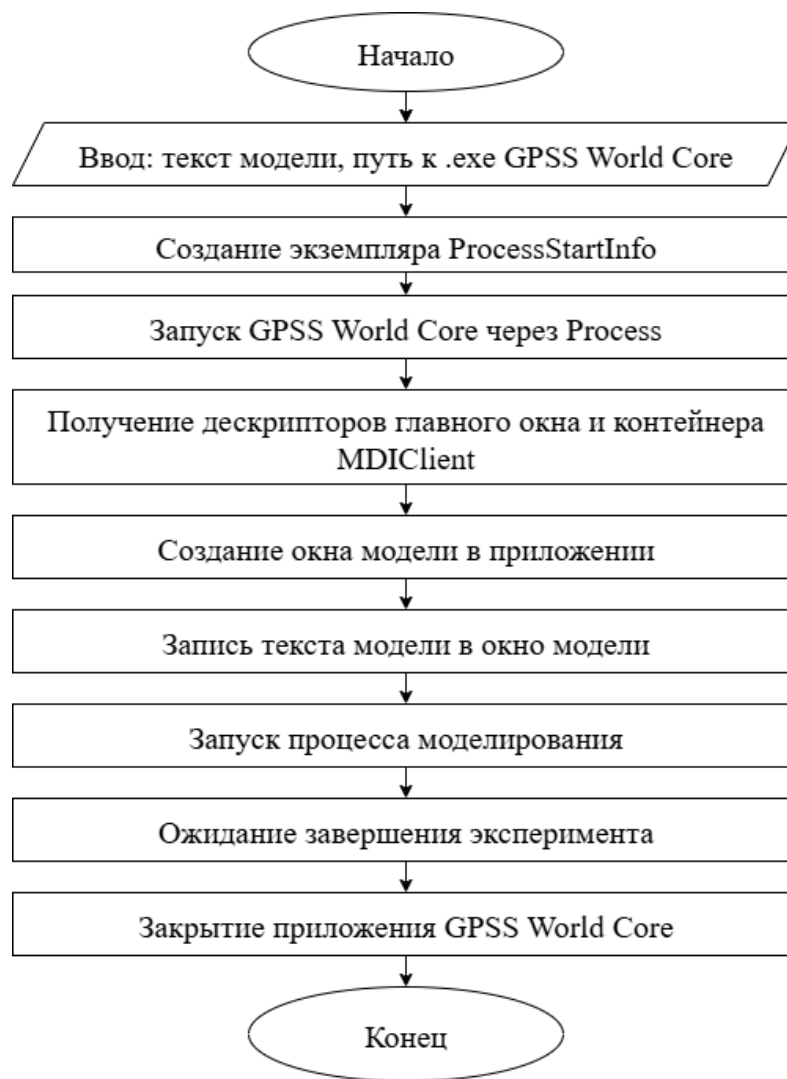


Рисунок 1 – Алгоритм выполнения имитационного эксперимента

Ожидание завершения эксперимента может быть реализовано несколькими способами:

- Остановка выполнения процесса оболочки на некоторое заранее определенное время (метод Thread.Sleep) [17]. Данный метод является наиболее простым, однако не может гарантировать, что эксперимент не будет принудительно остановлен и закрыт прежде его завершения;
- Отслеживание окна файла результатов модели в GPSS. Данный способ наиболее надёжен, но требует навыков работы с WinAPI;
- Проверка размера ATF-файла в целевом каталоге. Поскольку данные в файл не будут записаны, если не будет закрыт файловый поток GPSS, установление ненулевого размера файла может служить трекером завершения эксперимента.

Запуск анимации в Proof Animation также может быть осуществлен при помощи оболочки. Для этого необходимо создать новый процесс (экземпляр класса Process), указав абсолютный путь к Proof Animation в качестве исполняемого файла и путь к LAY-файлу в качестве аргумента в экземпляре класса ProcessStartInfo [18]. Общий механизм связи GPSS и Proof Animation

посредством оболочки на языке программирования C# представлен на рисунке 2.

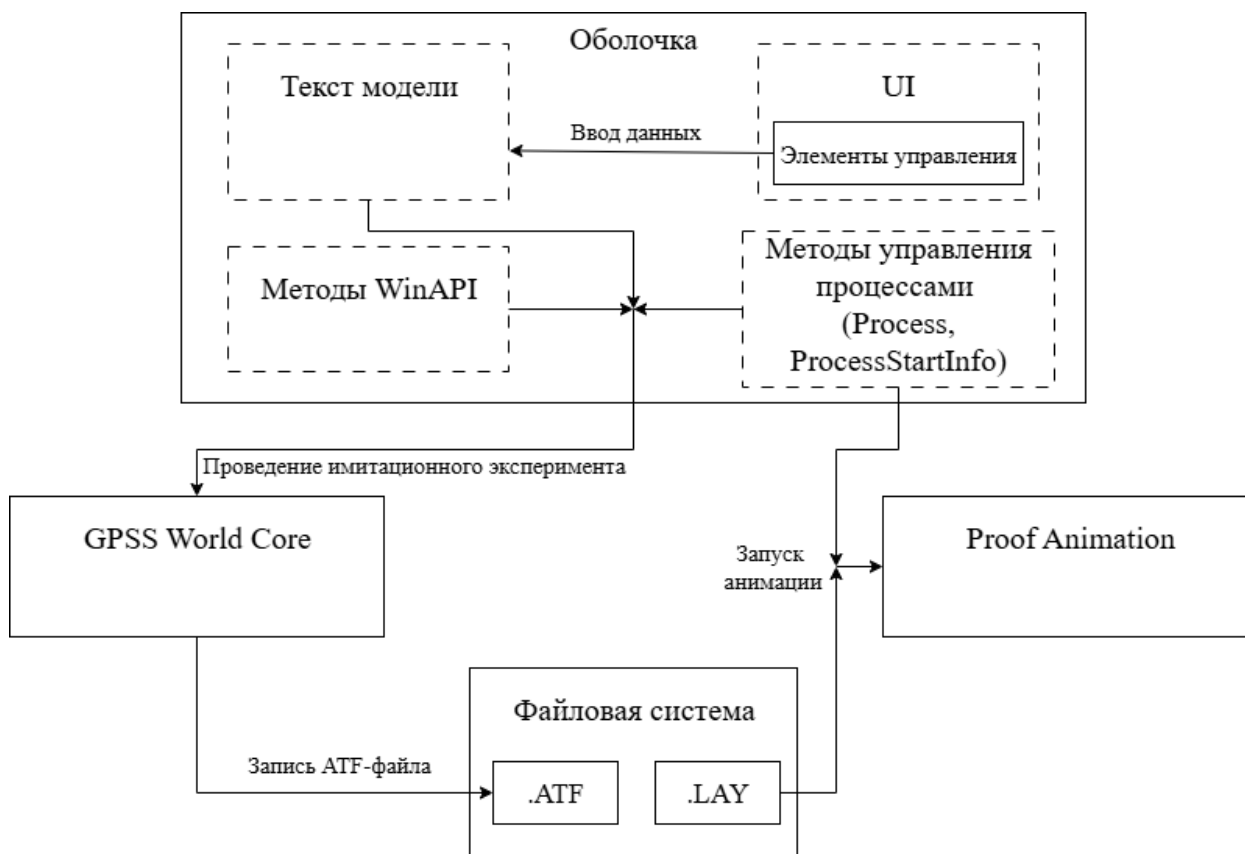


Рисунок 2 – Концепция взаимодействия GPSS World Core и Proof Animation

Таким образом, реализация разработанной концепции, связывающей специализированный язык компьютерной имитации GPSS World Core с программой компьютерной анимации Proof Animation посредством языка программирования C#, позволит повысить эффективность проведения экспериментов на разработанных моделях за счет автоматизации взаимодействия указанных программных компонентов и проектирования клиентоориентированного пользовательского интерфейса.

Список литературы:

1. Девятков В. В. Единое исследовательское пространство имитационного моделирования в среде GPSS Studio / В. В. Девятков, Т. В. Девятков, М. В. Федотов. – DOI: 10.24411/1993-8314-2019-10039 // Прикладная информатика. – 2019. – №5 (83). – С. 98–110.
2. Полетаев, В. А. Проектирование компьютерно-интегрированных производственных систем / В. А. Полетаев, В. В. Зиновьев, А. Н. Стародубов, И. В. Чичерин. – М: Машиностроение, 2011. – 324 с.
3. Исследования и разработки Сибирского отделения Российской академии наук в области энергоэффективных разработок. Степанов С. Г., Исламов С. Р., Кочетков В. Н., Зиновьев В. В., Майоров А. Е. Отв. ред. чл.-корр.

- РАН С. В. Алексеев; Рос.акад.наук, Сиб.отд-ние, Ин-т теплофизики. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. – 20 п.л. – (Интеграционные проекты СО РАН, вып.20). – С. 226–239.
4. Конюх, В. Л. Дискретно-событийное моделирование подземных горных работ / В. Л. Конюх, В. В. Зиновьев. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2011. – 243 с.
 5. Klishin V. I. High-Rate Mining Technology Simulation Modeling / V. I. Klishin, A. N. Starodubov, V. V. Zinovev, A. D. Turgenev. – DOI: 10.1134/S1062739122030061 // Journal of Mining Science. – 2022. – Т. 58. – №. 3. – С. 398–404.
 6. Зиновьев, В. В. Разработка системы имитационного моделирования организационно-технических вариантов угледобывающего производства / В. В. Зиновьев, А. Н. Стародубов, С. В. Кравчук, П. В. Гречишкин. – DOI: 10.26730/1999-4125-2018-2-30-37 // Вестник КузГТУ– 2018. – № 2. С. 30–37.
 7. Зиновьев В. В. и др. Применение имитационного моделирования для оценки вариантов отработки выемочного блока короткими забоями. – DOI: 10.25018/0236-1493-2018-11-48-181-193 // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2018. – №. S48. – С. 181–193.
 8. Стародубов А. Н. Концептуальная модель угле-энергохимического кластера / А. Н. Стародубов, В. В. Зиновьев, Ю. Ф. Патраков // Вестник КузГТУ. – 2016. – №5. – С. 108–113.
 9. Стародубов А. Н., Применение имитационного моделирования для исследования режимов выпуска угля подкровельной толщи / А. Н. Стародубов, В. В. Зиновьев, В. И. Клишин, В. А. Крамаренко // Девятая всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2019). Труды конференции, 16–18 октября 2019 г., Екатеринбург: Урал. гос. пед. ун-т., 2019. С. 540–547.
 10. Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ №2022660098 «GPSS World Core» / Девятков В. В., Девятков Т. В., Федотов М. В., Хайбуллин Ш.Д.; правообладатель ООО «Элина-Компьютер». – заявка № 2022619474, заявл. 25.05.2022; опубли. 30.05.2022.
 11. Официальный сайт программы GPSS World: [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.elina-computer.ru> (дата обращения: 11.03.2026).
 12. Среда имитационного моделирования GPSS STUDIO: руководство пользователя; ООО «Элина-Компьютер», 2025. – 631 с.
 13. Henriksen, J. O. The power and performance of Proof Animation / J. O. Henriksen // Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference ed. S. Andradottir, K. J. Healy, D. H. Withers, and B. L. Nelson. – 1997. pp. 574–580.

14. Стародубов, А. Н. Компьютерная имитация и анимация производственных систем: учеб. пособие / А. Н. Стародубов, В. В. Зиновьев, И. С. Кузнецов; КузГТУ. – Кемерово, 2018. – 94 с. – ISBN 978-5-906969-75-0.
15. IntPtr Структура // Microsoft Learn: [сайт]. – 2026. – URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/dotnet/api/system.intptr?view=net-8.0> (дата обращения 03.03.2026).
16. Окна и сообщения // Microsoft Learn: [сайт]. – 2026. – URL: https://learn.microsoft.com/ru-ru/windows/win32/api/_winmsg/ (дата обращения 03.03.2026).
17. Thread Класс // Microsoft Learn: [сайт]. – 2026. – URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/dotnet/api/system.threading.thread?view=net-8.0> (дата обращения 11.03.2026).
18. System.Diagnostics Пространство имен // Microsoft Learn: [сайт]. – 2026. – URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/dotnet/api/system.diagnostics?view=net-8.0> (дата обращения: 03.03.2026).