



УДК 004.942: 621.86.078.62

DOI: 10.22227/2949-1622.2023.3.75-85

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ/ RESEARCH ARTICLE

Реализация технологии информационного моделирования при проектировании конструкций одноэтажного производственного здания

М.А. Орлова^{1*}, С.А. Козырев¹

¹Ивановский государственный политехнический университет, Иваново, Российская Федерация

*orlovamaria_na@mail.ru

Ключевые слова: технология информационного моделирования зданий, строительные конструкции, каркас, производственное здание.

История статьи

Поступила в редакцию: 31.03.2023

Доработана: 19.04.2023

Принята к публикации: 21.04.2023

Для цитирования

Орлова М.А., Козырев С.А. Реализация технологии информационного моделирования при проектировании конструкций одноэтажного производственного здания, Железобетонные конструкции. 2023. Т. 3. № 3. С. 75–85.

Аннотация. В настоящее время большое внимание уделяется конструктивной надежности и безопасности зданий и сооружений, а также скорости и качеству проектирования и строительства. Повышению этих показателей способствует расширение использования технологии информационного моделирования посредством интеграции в цифровую модель здания новых методов расчета.

В работе рассматривается проектирование конструкций одноэтажного каркасного производственного здания с применением технологии информационного моделирования. Представлен порядок работы в программах «Tekla Structures» и «Кристалл» на конкретных примерах. Приводятся выводы о преимуществах использования BIM – технологий в строительной отрасли.

Implementation of Information Modelling Technology in Design of Structures of a Single-Storey Industrial Building

Marina A. Orlova^{1*}, Sergey A. Kozyrev¹

¹Ivanovo State Polytechnic University (IVSPU), Ivanovo, Russian Federation

*orlovamaria_na@mail.ru

Keywords: building information modeling technology, building structures, frame, industrial building.

Abstract. Currently, much attention is paid to the structural reliability and safety of buildings and structures, as well as the speed and quality of design and construction. The increase in these indicators is facilitated by the expansion of the use of information modelling technology through the integration of new calculation methods into the digital building model.

Марина Анатольевна Орлова, кандидат технических наук, доцент, доцент, ФГБОУ ВО Ивановский государственный политехнический университет (ФГБОУ ВО ИВГПУ), 153000, Иваново, Шереметевский просп., 21; eLIBRARY SPIN-код: 7020-2030, ORCID: 0000-0003-2389-2462, E-mail: orlovamaria_na@mail.ru.

Сергей Алексеевич Козырев, магистр, ФГБОУ ВО Ивановский государственный политехнический университет (ФГБОУ ВО ИВГПУ), 153000, Иваново, Шереметевский просп., 21; E-mail: sergej.kozyrev.2018@bk.ru

© Орлова М.А., Козырев С.А., 2023



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Article history

Received: 31.03.2023

Revised: 19.04.2023

Accepted: 21.04.2023

The paper considers the design of structures of a single-storey frame industrial building using information modeling technology. The order of work in the programs “Tekla Structures” and “Crystal” is presented on specific examples. Conclusions are given about the advantages of using BIM technologies in the construction industry.

For citation

Orlova M.A., Kozyrev S.A. Implementation of Information Modelling Technology in Design of Structures of a Single-Storey Industrial Building. *Reinforced Concrete Structures*. 2023;3(3):75–85.

ВВЕДЕНИЕ

Растущая степень коммуникации и урбанизации предъявляет все более высокие требования к качеству и скорости проектирования и возведения объектов капитального строительства, а также к эффективности их эксплуатации. При этом большое внимание уделяется конструктивной надежности и безопасности зданий и сооружений [1, 2].

Большой вклад в решение проблем надежности строительных конструкций внесли различные ученые [3, 4]. Разработан ряд методик расчета и проектирования, обеспечивающие безопасность зданий и сооружений [5, 6].

Повысить эффективность использования разработанных и применяемых сегодня методик можно с помощью технологии информационного моделирования (BIM – Building Information Modeling) [7-13], которая позволяет интегрировать их в информационные модели промышленных и гражданских зданий и сооружений.

МЕТОД

Одной из программ, реализующих технологию информационного моделирования при проектировании зданий, является Tekla Structures. Она предлагает современный интерфейс, простоту использования при создании информационной модели, позволяет быстро посчитать количество материалов для принятых проектных решений, дает возможность анализировать варианты разработок и демонстрировать результаты заказчикам. Важной особенностью является совместное использование данных в разных программных платформах: разработки, корректировки, а также их отправки обратно в информационную модель объекта.

Процесс информационного моделирования элементов производственного здания с помощью этой программы начинается с создания новой модели или с импортирования ранее созданной архитектурной модели. В начале моделирования каркаса одноэтажного производственного здания задаётся сетка осей (см. рис. 1), необходимых для создания плана и вертикальных разрезов.

Для создания типовых конструкций здания, таких как балки, колонны, пластины, плиты, стены и т.д. выбираются необходимые инструменты, которые сгруппированы в панели инструментов. Например, панель Steel (сталь) содержит инструменты для создания стальных балок, колонн, и пластин; панель Concrete (бетон) содержит инструменты для создания объектов из бетона и арматуры; панель Loads (нагрузки) содержит инструменты для создания нагрузок, просмотра и редактирования групп нагрузок, и т.д. Предусмотрено несколько дополнительных панелей, которые содержат инструменты для моделирования связей, деталей и других компонентов [14].

Marina A. Orlova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Construction and Engineering Systems, Ivanovo State Polytechnic University (IVSPU), 21 Sheremetyevo Avenue, Ivanovo, 153000, Russian Federation, eLIBRARY SPIN-код: 7020-2030, ORCID: 0000-0003-2389-2462, E-mail: orlovamaria_na@mail.ru.

Sergey A. Kozyrev, Master of the Department of Construction and Engineering Systems, Ivanovo State Polytechnic University (IVSPU), 21 Sheremetyevo Avenue, Ivanovo, 153000, Russian Federation, E-mail: sergej.kozyrev.2018@bk.ru

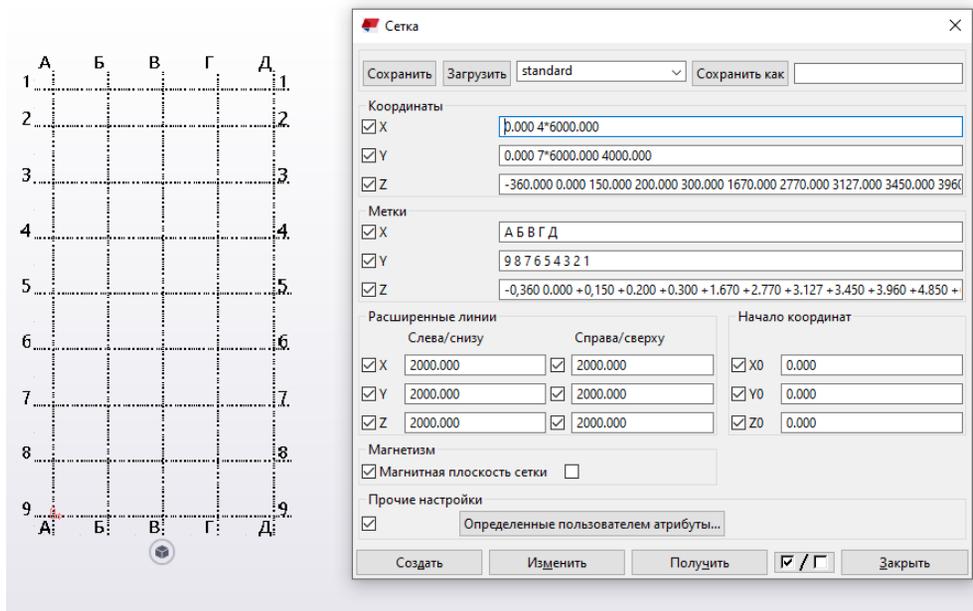


Рисунок 1. Задание сетки осей
Figure 1. Setting up the Axis grid

Программа содержит обширный каталог различных профилей из стали, бетона, древесины. В процессе создания модели можно редактировать любой объект, переназначая ему физические и геометрические характеристики (см. рис. 2).

Все характеристики будут доступны при выборе материала, назначаемого элементу конструкции, а также во вкладке «Расчет».

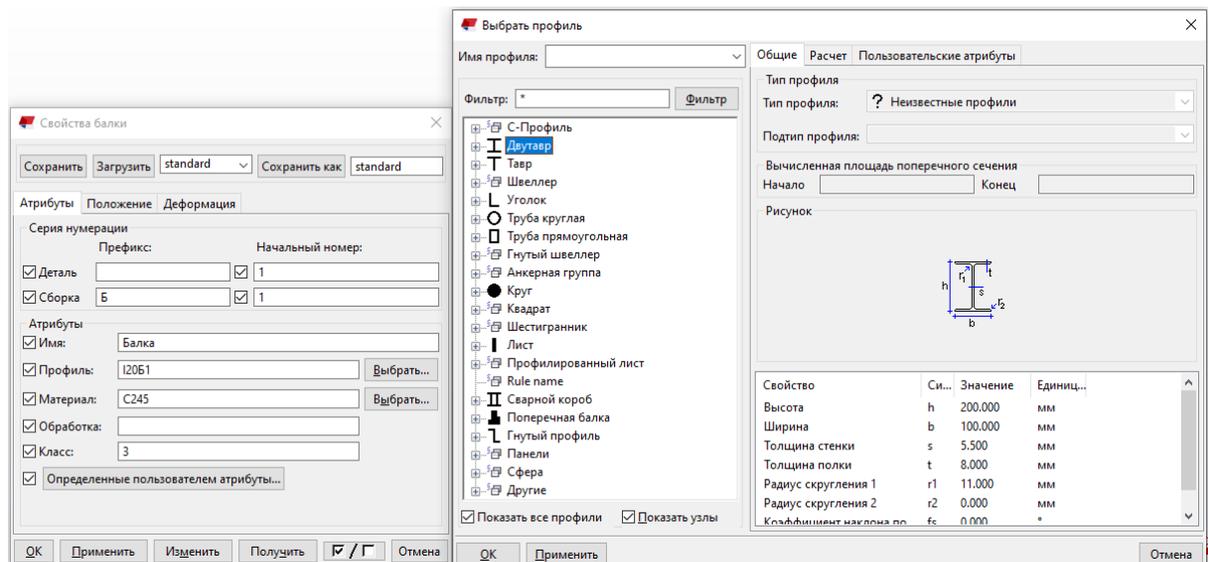


Рисунок 2. Задание физических и геометрических характеристик объекту
Figure 2. Setting physical and geometric characteristics of an object

Создание каркаса одноэтажного производственного здания, состоящего из колонн и фермы (см. рис. 3) реализуется довольно просто, благодаря удобному интерфейсу программы Tekla [14].

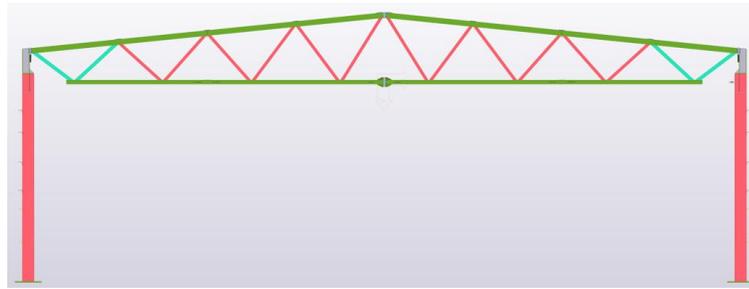


Рисунок 3. Смоделированная рама в осях А-Д
Figure 3. Modeled frame in axes A-D

Управление элементами выполняется с помощью каталога компонентов. При необходимости можно создать и сохранить в пользовательской библиотеке собственные компоненты, такие как: соединения, детали, швы [15] или изменить существующие. В Tekla Structures предусмотрена возможность вывести на экран вид соединения во всех трех проекциях (см. рис. 4).

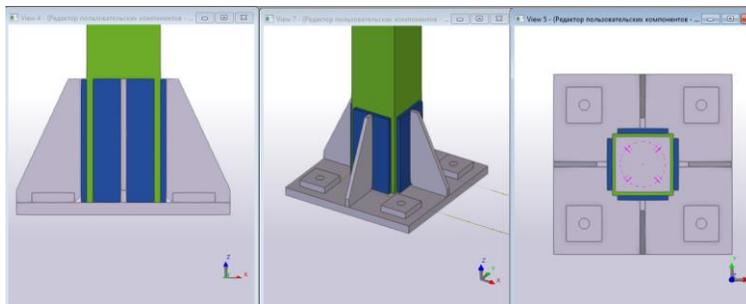


Рисунок 4. Редактор пользовательских компонентов
Figure 4. Custom Component Editor

Использование компонентов Tekla ускоряет работу с узлами любой сложности и исключает необходимость регулярной корректировки соединений при изменении исходных данных.

В результате копирования созданной рамы получаем рамную систему, на которую добавляем вертикальные и горизонтальные связи, прогоны, фахверковые колонны, торцевые балки, подвесные подкрановые пути. Кроме того, были разработаны и смоделированы площадки для обслуживания оборудования и опоры под оборудование по заданию технологов (см. рис. 5).

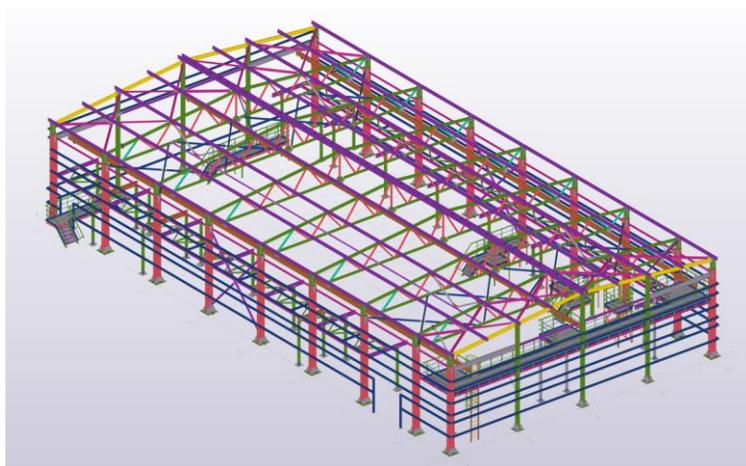


Рисунок 5. 3D вид производственного здания
Figure 5. 3D view of the production building

С помощью ТИМ можно быстро собрать информационную модель типовой конструкции. Однако при проектировании уникального сооружения необходимо дополнять программу новыми элементами и плагинами, которые позволяют существенно сократить время при проектировании. В программе Tekla есть возможность расширить функционал с помощью открытого программного интерфейса Tekla Open API [16].

Расчет узлов крепления конструкций, а также проверку элементов сварных и болтовых соединений на соответствие требованиям СП 16.13330.2017 выполняем с помощью программы «Кристалл» (см. рис. 6).

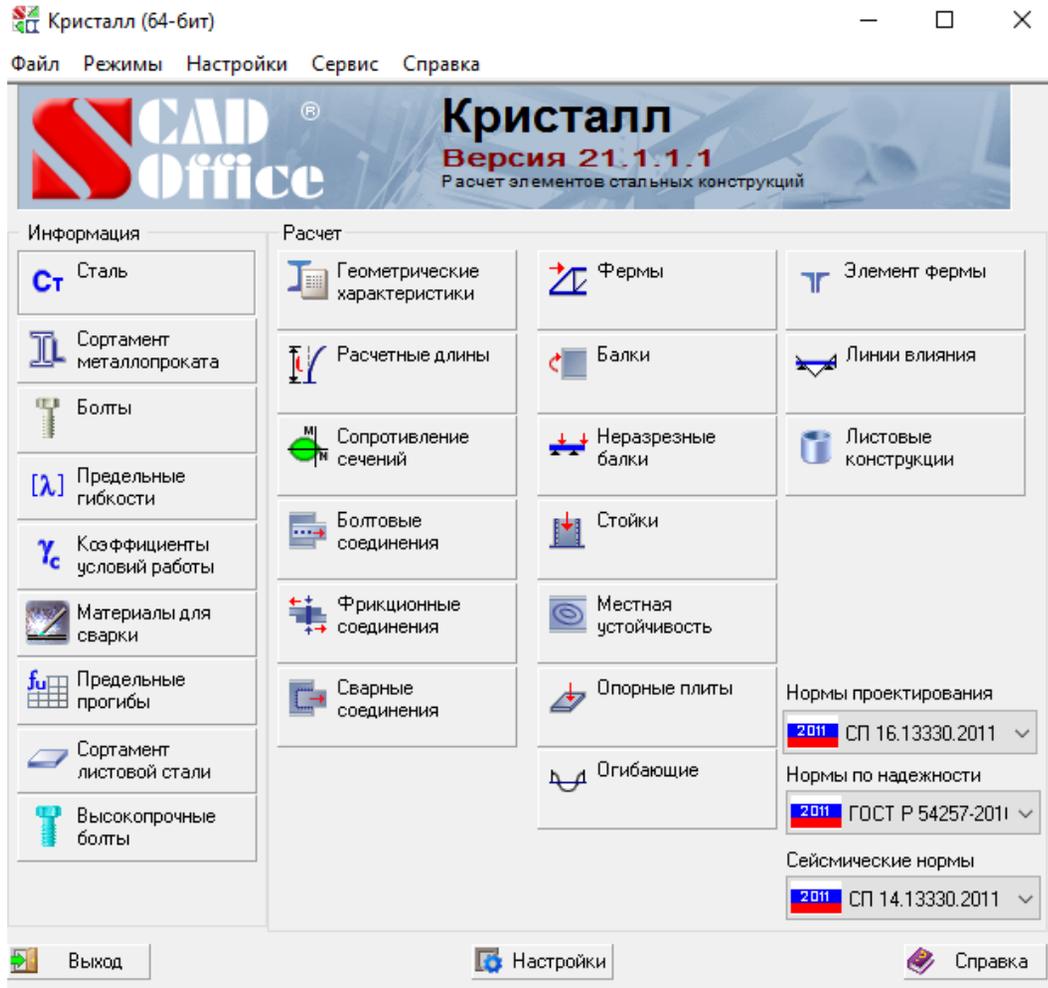


Рисунок 6. Программа «Кристалл»
Figure 6. «Crystal» Programme

В программе «Кристалл» выполняют проверочные расчеты конструкций и соединений, размеры которых заранее выбраны проектировщиком, т.е. программа, как правило, работает в режиме экспертизы. Для некоторых случаев реализован режим подбора поперечных сечений, а также в состав функций программы включены специальные справочные режимы.

Режим «Сварные соединения» дает возможности проверки сварных соединений. Диалоговое окно содержит три закладки. Первая закладка «тип соединения» (см. рис. 7) позволяет выбрать тип проверяемой конструкции.

Вторая закладка «Параметры» (см. рис. 8) предназначена для задания информации о размерах соединения и для ввода данных об усилиях, действующих на соединение.

Здесь же задаются катеты швов [17].

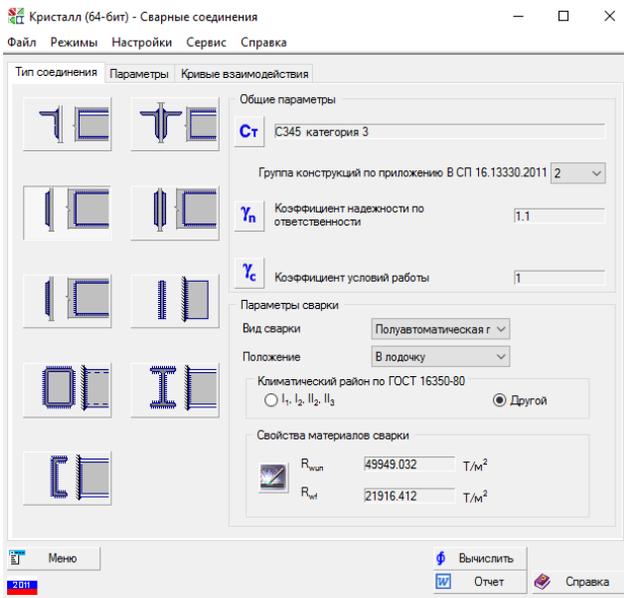


Рисунок 7. Тип проверяемой конструкции
Figure 7. Type of structure being tested

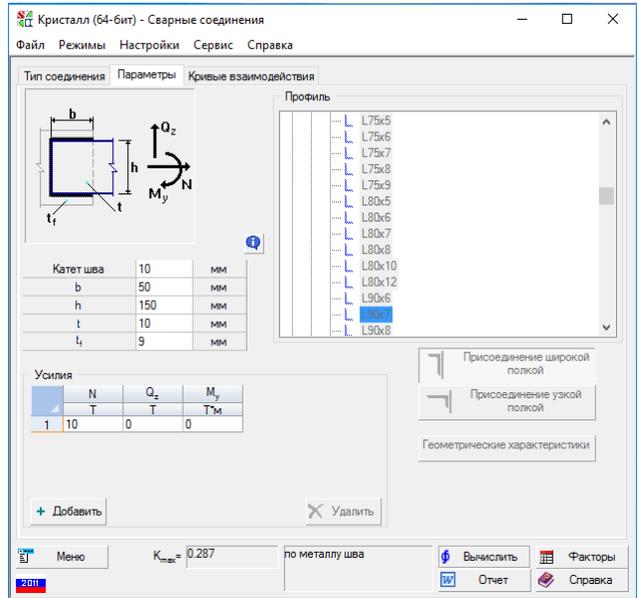


Рисунок 8. Параметры сварного соединения
Figure 8. Weld connection parameters

Закладка «Кривые взаимодействия» (см. рис. 9) содержит окно, в которое выводятся кривые взаимодействия силовых факторов, ограничивающие область несущей способности соединения.

Проверка катета сварного шва приведена на примере присоединения листа внахлёт к прогону по верхнему поясу ферм [18]. Усилие на лист передаётся от горизонтальной связи ГС2 с продольным усилием в 10т (см. рис. 10).



Рисунок 9. Кривые взаимодействия сварного соединения
Figure 9. Weld interaction curves

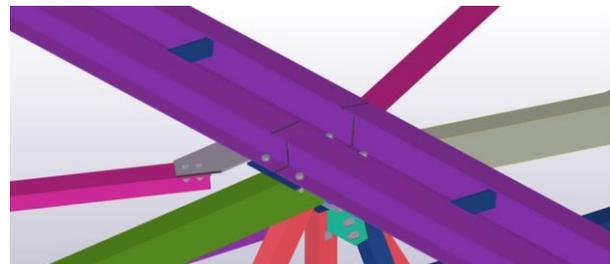


Рисунок 10. Узел крепления пластины к прогону
Figure 10. Mounting plate to the run

Проверку болтовых соединений выполняем, используя диалоговое окно «Болтовые соединения», которое содержит три закладки: «тип соединения» (см. рис. 11), «параметры» (см. рис. 12) и «кривые взаимодействия».

Программа контролирует задаваемые размеры на соответствие требованиям СП 16.13330.2017. Для конструкций из прокатных профилей (уголки, двутавры) [19] можно получить справку о рекомендуемом расположении болтовых отверстий в пределах прокатного профиля, используя функцию «Риски».

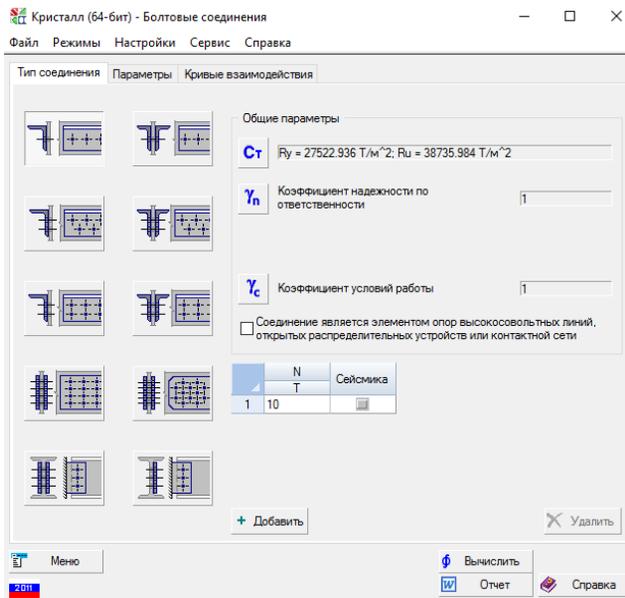


Рисунок 11. Типы болтового соединения
Figure 11. Bolted Connection Types

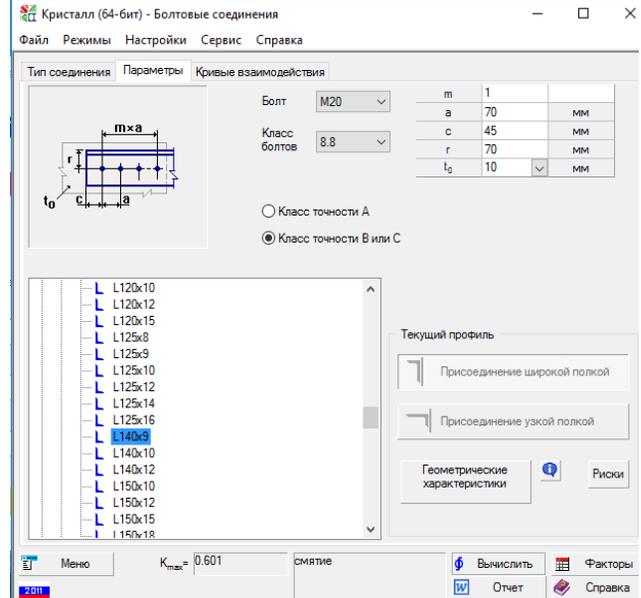


Рисунок 12. Параметры болтового соединения
Figure 12. Bolted Connection Options

Для расчета конструкций здания применяется технология «Tekla Structures — ЛИРА-САПР — Tekla Structures», позволяющая импортировать в ПК ЛИРА-САПР расчетную схему, созданную в программе Tekla Structures, выполнить её расчет, подобрать сечения элементов и экспортировать результаты расчета в Tekla Structures с последующим получением детализированных чертежей. Передача данных осуществляется в обе стороны: из Tekla Structures передается проектная или расчетная модель, а после расчета из ПК ЛИРА-САПР возвращаются обновленные поперечные сечения стержней, толщины пластин и т.п. Во время расчета в ПК ЛИРА-САПР поперечные сечения могут изменяться. Измененные поперечные сечения импортируются в Tekla Structures.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведения вышеперечисленных действий получена готовая 3D модель одноэтажного производственного здания. Переходим к процессу оформления и проверки чертежей общего вида, чертежей сборок, отдельных деталей и элементов, а также к созданию отчетов в Tekla Structures. Предварительно необходимо пронумеровать модель, проверить правильность детализовки, создать тестовые чертежи деталей различных типов, при необходимости внести изменения в свойства чертежей и сохранить измененные настройки для использования в дальнейшем. Созданные чертежи появляются в диалоговом окне «Диспетчер документов».

Отчеты это - документы, отображающие определенные данные о модели. Как правило, под ними подразумеваются всевозможные ведомости и спецификации. Для создания отчета необходимо открыть список доступных отчетов, который зависит от локализации. Таким образом, разные пользователи могут видеть в одной и той же модели разные типы отчетов, так как файлы генерирующие отчеты хранятся в среде, а не в модели. При необходимости можно включить отчеты в состав модели. Далее выбираем конкретный тип отчета для генерации (см. рис. 13) и указываем из каких конструкций его генерировать.

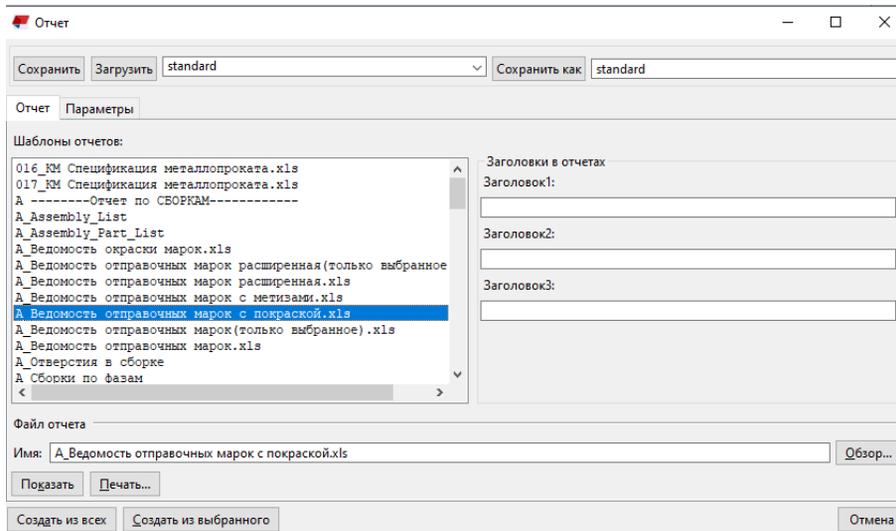


Рисунок 13. Выбор ведомости отправочных марок (из списка отчетов)
Figure 13. Choice reports folder (selection from the list of reports)

При этом создается каталог «Reports», где будут сохраняться все сгенерированные отчеты (см. рис. 14).

Имя	Дата изменения	Тип	Размер
V_Отчет по метизам1.files	14.10.2020 13:25	Папка с файлами	
A_Ведомость отправочных марок с ...	22.03.2021 10:06	Лист Microsoft Ex...	848 КБ
A_Ведомость отправочных марок с ...	09.10.2020 14:10	Лист Microsoft Ex...	30 КБ
A_Ведомость отправочных марок(...	09.10.2020 12:01	Лист Microsoft Ex...	1 281 КБ
V_Отчет по метизам	16.10.2020 16:26	Лист Microsoft Ex...	10 КБ
V_Отчет по метизам1	14.10.2020 13:25	Лист Microsoft Ex...	10 КБ
V_Отчет по метизам3	16.10.2020 16:31	Лист Microsoft Ex...	7 КБ
V_Отчет по метизам4	16.10.2020 16:34	Лист Microsoft Ex...	10 КБ
M_Ведомость металла	23.03.2021 9:43	Лист Microsoft Ex...	14 КБ
M_Ведомость металла2	22.09.2020 11:38	Лист Microsoft Ex...	17 КБ
M_Ведомость металлоагражд	07.10.2020 10:44	Лист Microsoft Ex...	4 КБ
P_Ведомость деталей	13.10.2020 13:07	Лист Microsoft Ex...	3 546 КБ
P_Ведомость деталей1	13.10.2020 12:54	Лист Microsoft Ex...	3 546 КБ
P_Ведомость деталей2	13.10.2020 12:55	Лист Microsoft Ex...	1 352 КБ
P_Ведомость деталей3	22.09.2020 11:40	Лист Microsoft Ex...	682 КБ
P_Ведомость деталейкмд1	13.10.2020 12:59	Лист Microsoft Ex...	1 347 КБ
P_Ведомость деталейкмд2	13.10.2020 13:03	Лист Microsoft Ex...	2 225 КБ
T_Технологическая картаMC	08.10.2020 8:48	Лист Microsoft Ex...	2 180 КБ

Рисунок 14. Папка отчетов Reports
Figure 14. Reports folder

Все отчеты представляют из себя файл со скриптом, разработанный в Trl Editor [20]. Каждый отчет — это одноименный файл с расширением *.RPT. При генерации отчета Tekla выдает только текстовые файлы. В качестве примера отчета приведена «Ведомость отправочных марок» (см. рис. 15).

При этом есть возможность изменения самих отчетов, добавление новых столбцов, новых переменных, изменения оформления и новых алгоритмов расчетов.

Таким образом, получаем готовый комплект рабочей документации, который состоит из альбома чертежей и отчетов.

	1	2	3	4	5	6	7	8
7								
8								
9								
10	Лист №	Отправочная марка	Наименование марки	Количество	Масса, кг	Площадь покрытия,		
11	16	Б1-1	Балка	1	243,2	243,2	6,417	6,417
12	17	Б1-2	Балка	1	213,4	213,4	5,6	5,6
13	18	Б1-3	Балка	1	190,2	190,2	5,012	5,012
14	19	Б1-4	Балка	1	207,5	207,5	5,473	5,473
15	20	Б1-5	Балка	1	203,9	203,9	5,346	5,346
16	21	Б1-6	Балка	1	220,3	220,3	5,772	5,772
17	22	Б1-7	Балка	1	178,3	178,3	4,704	4,704
18	23	Б1-8	Балка	1	226,6	226,6	5,736	5,736
19	24	Б1-9	Балка	1	200,2	200,2	5,318	5,318
20	25	Б1-10	Балка	1	205,6	205,6	5,431	5,431
21	26	Б1-11	Балка	1	199,8	199,8	5,2	5,2
22	27	Б1-12	Балка	1	228,5	228,5	5,52	5,52
23	28	Б1-13	Балка	1	207,9	207,9	5,214	5,214
24	29	Б1-14	Балка	1	178,8	178,8	4,711	4,711
25	30	Б1-32	Балка	1	197,7	197,7	5,228	5,228
26	31	Б2-10	Балка	2	192	384	6,24	12,48
27	32	Б2-11	Балка	2	191,1	382,2	6,195	12,39
28	33	Б2-29	Балка	2	191,1	382,2	6,195	12,39
29	34	Б2-30	Балка	2	192	384	6,24	12,48
30	35	Б3-6	Балка	4	399,6	1598,4	8,046	32,183
31	36	К1-1	Колонна	1	1828	1827,7	24,646	24,646

Рисунок 15. Ведомость отправочных марок

Figure 15. Assembly detail

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенная работа по созданию информационной модели промышленного одноэтажного каркасного здания с проверкой прочностных характеристик конструкций и их соединений показала, что в настоящее время наиболее эффективным средством проектирования зданий и сооружений является применение технологии информационного моделирования.

1. Рассмотренная технология повышает надежность проектируемых конструкций, так как позволяет оптимизировать эффективность расчетов и устранить ошибки в результате проверки проекта на коллизии.

2. Использование ТИМ позволяет сократить сроки проектирования за счет применения каталога типовых или ранее созданных компонентов.

3. Возможность генерировать по готовым чертежам спецификаций элементов, ведомостей расхода материалов и прочих отчетов значительно снижает трудозатраты проектировщиков.

4. Доступ к единой базе данных всех проектных отделов, а также заказчика, застройщика, экспертов, надзорных органов и других заинтересованных лиц облегчает и ускоряет процесс согласования. Технология информационного моделирования позволяет организовать совместную работу на любом этапе из любой точки мира.

5. BIM- технология является полезным инструментом на всех этапах жизненного цикла зданий и сооружений (проектирование, строительство, эксплуатация, реконструкция).

Перспективой дальнейшей разработки исследования является расширение использования технологии информационного моделирования для повышения надежности проектируемых промышленных зданий на основе интеграции в цифровую модель здания новых методик расчета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tamrazyan A., Alekseytsev A. Assessment of mechanical safety of cost-optimized reinforced concrete structures, В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 7. Сер. «VII International Scientific Conference «Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education», IPICSE 2020» 2021. С. 012035.
2. Tamrazyan A., Alekseytsev A. Evolutionary optimization of reinforced concrete beams, taking into account design reliability, safety and risks during the emergency loss of supports, В сборнике: E3S Web of Conferences. 22nd International Scientific Conference on Construction the Formation of Living Environment, FORM 2019. 2019. С. 04005.
3. Тамразян А.Г. Научные основы оценки риска и обеспечения безопасности железобетонных конструкций, зданий и сооружений при комбинированных особых воздействиях, Вестник НИЦ Строительство. 2018. № 1 (16). С. 106-114.

4. Тамразян А.Г. Методология анализа и оценки надежности состояния и прогнозирование срока службы железобетонных конструкций, Железобетонные конструкции. 2023. Т. 1. № 1. С. 5–18.
5. Дудина И.В., Тамразян А.Г. Обеспечение качества сборных железобетонных конструкций на стадии изготовления. Жилищное строительство, Journal of Biological Chemistry. 2018. № 3. С. 19.
6. Тамразян А.Г., Орлова М.А. Конечно-элементное исследование напряжённо-деформированного состояния железобетонных балок с нормальными трещинами, Научное обозрение. 2016. № 6. С. 8-11.
7. Zhou X., Ma C., Wang M., Guo M., Guo Z., Liang X., Han J. BIM product recommendation for intelligent design using style learning, Journal of Building Engineering. 2023. Volume 73. 106701. <https://doi.org/10.1016/j.job.2023.106701>.
8. Jiang S., Feng X., Zhang B., Shi J. Semantic enrichment for BIM: Enabling technologies and applications, Advanced Engineering Informatics. 2023. Volume 56. 101961. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2023.101961>.
9. Aziminezhad M., Taherkhani R. BIM for deconstruction: A review and bibliometric analysis, Journal of Building Engineering. 2023. Volume 73. 106683. <https://doi.org/10.1016/j.job.2023.106683>
10. Guignone G., Calmon J.L., Vieira D., Bravo A. BIM and LCA integration methodologies: A critical analysis and proposed guidelines, Journal of Building Engineering. 2023. Volume 73. 106780. <https://doi.org/10.1016/j.job.2023.106780>.
11. Arenas N.F., Shafique M. Recent progress on BIM-based sustainable buildings: State of the art review // Developments in the Built Environment. 2023. Volume 15. 100176. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100176>.
12. Chen S.-H., Xue F. Automatic BIM detailing using deep features of 3D views, Automation in Construction. 2023. Volume 148. 104780. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104780>.
13. Yilmaz G., Akcamete A., Demirors O. BIM-CAREM: Assessing the BIM capabilities of design, construction and facilities management processes in the construction industry, Computers in Industry. 2023. Volume 147. 103861. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2023.103861>.
14. Мустафин Н.Ш., Барышников А.А., Спрыжков А.М. Анализ возможности внедрения в строительство технологии информационного моделирования зданий программами вида BIM, Региональное развитие. 2015. №8. С. 9
15. Барановский М. Ю., Тарасов В. А., Зарубин П. Е. Tekla Structures – инновация для создания конструкций, Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. № 6 (11) С. 20-27.
16. Морина Е.А., Макаров А.И. BIM-технологии в мостовом проектировании, Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. № 6(57). С.30-46.
17. Ерофеев В.В., Кульневич В.Б. Конструктивно-технологические методы проектирования сварных соединений металлоконструкций машинно-тракторного парка. Вестник Челябинского агроинженерного университета. 2008. Т. 51. С. 83-95.
18. Никифоров И.Г. Исследование влияния параметров сварки на надежность и безопасность сварных соединений металлоконструкций. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2012. № S6. С. 169-172.
19. Малыгин В.И., Лобанов Н.В., Васильев А.В. Влияние качества резьбы на затяжку высоконагруженных болтовых соединений металлоконструкций. В сборнике: Инженерные системы - 2013. Труды VI Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию юбилею первого ректора РУДН профессора С.В. Румянцева. 2013. №1. С. 363-368.
20. Глебова Е. Tekla Structures Model Sharing - распределенное проектирование в один клик, САПР и графика. 2020. № 6 (284). С. 22-26.

REFERENCES

1. Tamrazyan A., Alekseytsev A. Assessment of mechanical safety of cost-optimized reinforced concrete structures. In the collection: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 7. Series. «VII International Scientific Conference «Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education», IPICSE 2020» 2021: 012035.
2. Tamrazyan A., Alekseytsev A. Evolutionary optimization of reinforced concrete beams, taking into account design reliability, safety and risks during the emergency loss of supports. In the collection: E3S Web of Conferences. 22nd International Scientific Conference on Construction the Formation of Living Environment, FORM 2019. 2019: 04005.
3. Tamrazyan A.G. Scientific basis of risk assessment and security of reinforced concrete constructors, buildings and structures under combined special impacts. *Vestnik NITs Stroitel'stvo [Bulletin of SIC Construction]*. 2018; 1(16): 106-114. (Rus.)

4. Tamrazyan A.G. Methodology for the Analysis and Assessment of the Reliability of the State and Prediction the Service Life of Reinforced Concrete Structures. *Reinforced Concrete Structures*. 2023; 1(1): 5–18. (Rus.)
5. Dudina I.V., Tamrazyan A.G. Quality assurance of precast reinforced concrete structures at the manufacturing stage. Housing Construction. *Journal of Biological Chemistry*. 2018; 3: 19. (Rus.)
6. Tamrazyan A.G., Orlova M.A. Finite element study of the stress-strain state of reinforced concrete beams with normal cracks. *Nauchnoe obozrenie [Science review]*. 2016; 6: 8-11. (Rus.)
7. Zhou X., Ma C., Wang M., Guo M., Guo Z., Liang X., Han J. BIM product recommendation for intelligent design using style learning. *Journal of Building Engineering*. 2023. Volume 73. 106701. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106701>.
8. Jiang S., Feng X., Zhang B., Shi J. Semantic enrichment for BIM: Enabling technologies and applications. *Advanced Engineering Informatics*. 2023. Volume 56. 101961. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2023.101961>.
9. Aziminezhad M., Taherkhani R. BIM for deconstruction: A review and bibliometric analysis. *Journal of Building Engineering*. 2023. Volume 73. 106683. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106683>
10. Guignone G., Calmon J.L., Vieira D., Bravo A. BIM and LCA integration methodologies: A critical analysis and proposed guidelines. *Journal of Building Engineering*. 2023. Volume 73. 106780. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106780>.
11. Arenas N.F., Shafique M. Recent progress on BIM-based sustainable buildings: State of the art review. *Developments in the Built Environment*. 2023. Volume 15. 100176. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100176>.
12. Chen S.-H., Xue F. Automatic BIM detailing using deep features of 3D views. *Automation in Construction*. 2023. Volume 148. 104780. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104780>.
13. Yilmaz G., Akcamete A., Demirors O. BIM-CAREM: Assessing the BIM capabilities of design, construction and facilities management processes in the construction industry. *Computers in Industry*. 2023. Volume 147. 103861. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2023.103861>.
14. Mustafin N.Sh., Baryshnikov A.A., Spryzhkov A.M. Analysis of the Possibility of Introducing in the Construction of Building Information Modeling "BIM" Software. *Regional'noe razvitie [Regional development]*. 2015; 8: 9. (Rus.)
15. Baranovskij M.Yu., Tarasov V.A., Zarubin P.E. Tekla Structures – is Innovation of Structures's Modelling. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzhenii [Construction of unique buildings and structures]*. 2013; 5 (10): 1-5. (Rus.)
16. Morina E.A., Makarov A.I. BIM-Technology in Bridge Design. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzhenii [Construction of unique buildings and structures]*. 2017; 6: 30-46. (Rus.)
17. Erofeev V.V., Kulnevich V.B. Structural and technological methods for designing welded joints of metal structures of the machine and tractor fleet. *Vestnik Chelyabinskogo agroinzhener'nogo universiteta [Bulletin of the Chelyabinsk Agroengineering University]*. 2008; 51: 83-95. (Rus.)
18. Nikiforov I.G. Effect of Welding Parameters on Reliability and Safety of Metalware Joint Welds. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' (nauchno-tehnicheskii zhurnal) [Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)]*. 2012; S6: 169-172. (Rus.)
19. Malygin V.I., Lobanov N.V., Vasiliev A.V. Influence of thread quality on the tightening of highly loaded bolted joints of metal structures. V sbornike: Inzhenernye sistemy – 2013 [In the collection: Engineering Systems - 2013. Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference dedicated to the 100th anniversary of the first rector of RUDN University, Professor S.V. Rummyantsev]. 2013; 1: 363-368. (Rus.)
20. Glebova E. Tekla Structures Model Sharing - distributed design in one click. *SAPR i grafika [CAD and graphics]*. 2020; 6 (284): 22-26. (Rus.)