

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 004.94

DOI: 10.22227/1997-0935.2024.3.469-477

Определение веса элемента с целью приоритизации исправления коллизий пересечения

Сергей Иванович Евтушенко, Роман Витальевич Осташев*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. Предлагается оптимизировать время высококвалифицированных инженеров, работающих с цифровой информационной моделью (ЦИМ) в процессе исправления коллизий пересечения за счет математического определения важности того или иного элемента в коллизиях пересечения.

Материалы и методы. За основу принят метод частотного анализа с использованием коэффициента качества ЦИМ. Коэффициент качества ЦИМ устанавливается исходя из данных о ЦИМ: количество элементов, объектов и коллизий. Вычисленные коэффициенты влияют на результаты, полученные с помощью метода частотного анализа. В итоге получаются уникальные значения весов важности для элементов ЦИМ.

Результаты. Найденные в ходе исследования веса элементов отсортированы по убыванию, первые 20 % элементов с наибольшим весом занимают элементы несущих конструкций, это говорит о том, что исправление коллизий с их участием должно быть в приоритете. Приоритет исправления коллизий с участием других, не несущих элементов ЦИМ, можно определить, назначив им веса исходя из элементов, участвующих в коллизиях.

Выводы. Результаты исследования помогут назначить приоритет найденным коллизиям пересечения, что даст возможность высококвалифицированным инженерам исправлять наиболее важные коллизии пересечения в приоритетном порядке, тем самым рациональнее используя свое время. Полученные значения весов элементов можно применять, экспортировав найденные в проекте коллизии в табличный формат данных. Используя табличные редакторы и функции сводных таблиц, можно назначить веса элементам и отсортировать коллизии.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: технологии информационного моделирования, BIM, ТИМ, цифровые информационные модели, коллизии, коллизии пересечения, вес элементов

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Евтушенко С.И., Осташев Р.В. Определение веса элемента с целью приоритизации исправления коллизий пересечения // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. Вып. 3. С. 469–477. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.3.469-477

Автор, ответственный за переписку: Роман Витальевич Осташев, lemon-noman@yandex.ru.

Determination of element weight for the purpose of prioritization of intersection collision correction

Sergey I. Evtushenko, Roman V. Ostashev*Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation*

ABSTRACT

Introduction. It is proposed to optimize the time of highly qualified engineers working with a building information model (BIM) during the correction of intersection collisions due to mathematical determination of importance of an element in intersection collisions.

Materials and methods. The method of frequency analysis is taken as a basis, using the quality coefficient of BIM. The quality coefficient of BIM is determined based on the data about the BIM itself: number of elements, objects and collisions. The calculated coefficients influence the results obtained using the frequency analysis method. As a result, unique values of importance weights for BIM elements are obtained.

Results. The weights of the elements found during the study are sorted in descending order, the first 20 % of the elements with the highest weight are the load-bearing structures, indicating that fixing collisions involving them should be a priority. The priority of correcting collisions involving other non-bearing elements of the BIM can be determined by assigning weights to them based on the elements involved in collisions.

Conclusions. The results of the study will help to assign priority to the intersection collisions found. This, in turn, will allow highly qualified engineers to fix the most important intersection collisions in a priority order, thereby using their time more efficiently. The resulting element weights can be applied by exporting the collisions found in the project to a tabular data format. Using tabular editors and pivot table functions, you can assign weights to elements and sort collisions.

KEYWORDS: building information model, BIM, digital information models, collisions, intersection collisions, element weights

FOR CITATION: Evtushenko S.I., Ostashev R.V. Determination of element weight for the purpose of prioritization of inter-section collision correction. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2024; 19(3):469-477. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.3.469-477 (rus.).

Corresponding author: Roman V. Ostashev, lemon-noman@yandex.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение качества принимаемых проектных решений — одна из задач цифровизации строительной отрасли, с которой сталкивается каждый проектный институт при переходе на технологии информационного моделирования, такие задачи называют BIM-сценарии (BIM use). Поиск коллизий пересечения (далее — коллизии) цифровых информационных моделей (ЦИМ) является одним из способов выполнения такого BIM-сценария.

С ростом размера объекта капитального строительства и увеличением числа разрабатываемых дисциплин количество внутри- и междисциплинарных коллизий увеличивается. Но не все коллизии между собой равны, есть те, исправление которых имеет больший приоритет, например, это могут быть коллизии с участием несущих элементов или сложного технологического оборудования, также существуют коллизии, на исправление которых уйдет в разы больше времени и денег, чем на исправление их на строительной площадке, например коллизии с метизами. Встает вопрос о сортировке коллизий и приоритизации их исправления специалистами.

Исследователи сходятся во мнении о необходимости таких проверок как внутри одной дисциплины, так и между дисциплинами [1–13].

Также много внимания уделяется коллизиям пересечения инженерных сетей как друг с другом, так и с архитектурно-конструктивными элементами [14–18]; коллизии конструктива и архитектуры в публикациях встречаются реже.

Цель исследования — определение методики математического нахождения веса элемента на основе выборки ЦИМ из открытых источников. Статья служит логическим продолжением предыдущей публикации [19].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исходные данные

Для получения исходных сведений необходимо как можно большее количество ЦИМ, которые будут проанализированы по описанным ниже формулам. Большее количество ЦИМ увеличит охват элементов и позволит получить более достоверные результаты.

В качестве исходных данных необходимо с помощью инструмента работы с ЦИМ и табличного редактора определить следующие переменные:

- 1) C_j — количество коллизий в j -й ЦИМ;
- 2) E_j — количество элементов в j -й ЦИМ;
- 3) O_j — количество объектов в j -й ЦИМ (элементы состоят из объектов);

4) F_{ij} — частота i -го элемента в коллизиях j -й ЦИМ.

В первую очередь следует установить k_j — коэффициент объективного качества j -й ЦИМ, поскольку коллизии из более проработанной и детализированной ЦИМ (по-другому — более качественной ЦИМ) должны иметь больший вес в итоговом результате, по сравнению с менее качественными ЦИМ. Коэффициент качества ЦИМ определяется математически из первых трех переменных для каждой ЦИМ в отдельности.

Также качество ЦИМ можно оценивать и субъективно, например, с помощью метода экспертной оценки (в данном случае не используется).

Определение коэффициента качества ЦИМ

Для определения объективного коэффициента качества ЦИМ необходимо определить \overline{Q}_j — среднее значение отношения между количеством элементов и объектов к количеству найденных коллизий в j -й ЦИМ (формула (3)) и D — детализацию j -й ЦИМ (формула (4)).

Количество элементов на коллизию в j -й ЦИМ устанавливается по формуле:

$$Q_e = E_j / C_j, \quad (1)$$

где E_j — количество элементов в j -й ЦИМ; C_j — количество коллизий в j -й ЦИМ.

Количество объектов на коллизию в j -й ЦИМ определяется по выражению:

$$Q_o = O_j / C_j, \quad (2)$$

где O_j — количество объектов в j -й ЦИМ.

Среднее значение j -й ЦИМ определяется по формуле (3). Значение \overline{Q}_j показывает зрелость ЦИМ, чем больше количество элементов и объектов на коллизию, тем ЦИМ более проработана:

$$\overline{Q}_j = \frac{Q_e + Q_o}{2} = \frac{E_j + O_j}{2C_j}. \quad (3)$$

Детализация представляет собой отношение количества объектов к количеству элементов j -й ЦИМ.

Детализация j -й ЦИМ рассчитывается по выражению (4). Значение D показывает детализацию модели, сколько объектов используется в элементах ЦИМ:

$$D = \frac{O_j}{E_j}. \quad (4)$$

Коэффициент качества j -й ЦИМ устанавливается по формуле (5). Значение k_j показывает качество проектных решений и качество моделирования ЦИМ:

$$k_j = \overline{Q}_j \cdot D. \quad (5)$$

Коэффициент k_j рассчитывается для каждой ЦИМ, которая участвует в определении весов элементов.

Определение веса элемента

Для расчета веса элемента требуется найти U_{ij} — однотипность j -й ЦИМ по i -му элементу. Поскольку в ЦИМ могут преобладать определенные типы элементов, с помощью выявления однотипности можно понизить приоритет таких однотипных ЦИМ.

Однотипность j -й ЦИМ по i -му элементу рассчитывается по формуле (6). Значение U_{ij} показывает отношение количества i -го элемента, найденного в коллизиях, к количеству всех элементов j -й ЦИМ:

$$U_{ij} = \frac{E_i}{E_j},$$

(6)

где E_i — количество i -го элемента, найденного в коллизиях j -й ЦИМ.

Вес i -го элемента в j -й ЦИМ рассчитывается следующим образом:

$$W_{ij} = k_j \frac{F_{ij}}{U_{ij}},$$

(7)

где F_{ij} — частота i -го элемента, найденного в коллизиях j -й ЦИМ.

Итоговый вес i -го элемента находится так:

$$W_i = \sum_{k=1}^n W_{ij},$$

(8)

где n — количество ЦИМ, в коллизиях которых найден i -й элемент.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В рамках исследования было проанализировано 24 ЦИМ из открытых источников, определение их коэффициента качества представлено в табл. 1.

Из полученных значений видно, что коэффициенты качества у ЦИМ под номерами 11 и 19 несоразмерно большие, а у 3 и 5 несоразмерно малы, необходимо выполнить процедуру проверки крайних значений на высказивание. Проверка основана на оценке соотношения «расстояния» крайних

Табл. 1. Определение коэффициента качества ЦИМ

Table 1. Determination of the quality coefficient of BIM

Номер ЦИМ BIM Number	C_j	E_j	O_j	$\overline{Q_j}$	D	k_j
1	7112	151 295	527 457	47,72	3,49	166,36
2	28	4439	11 832	290,55	2,67	774,46
3	3465	17 314	18 596	5,18	1,07	5,57
4	299	909	2631	5,92	2,89	17,13
5	1572	25 583	16 950	13,53	0,66	8,96
6	127	22 869	12 282	138,39	0,54	74,32
7	7	128	245	26,64	1,91	51,00
8	1915	13 596	71 877	22,32	5,29	117,98
9	152	8195	10 931	62,91	1,33	83,92
10	90	16 284	31 736	266,78	1,95	519,93
11	7	6090	42 593	3477,36	6,99	24 320,37
12	5	121	120	24,10	0,99	23,90
13	20	1649	2969	115,45	1,80	207,87
14	103	5688	9230	72,42	1,62	117,51
15	429	15 793	24 821	47,34	1,57	74,39
16	249	5994	8172	28,45	1,36	38,78
17	289	4490	8764	22,93	1,95	44,76
18	11	1586	796	108,27	0,50	54,34
19	2	163	6421	1646,00	39,39	64 840,28
20	19	240	528	20,21	2,20	44,46
21	13	1251	2769	154,62	2,21	342,23
22	225	37 151	25 891	140,09	0,70	97,63
23	261	7586	11 507	36,58	1,52	55,48
24	7464	150 756	96 350	16,55	0,64	10,58

значений и ближайших к ним и размаха всех значений [20]. Выполняется сортировка по убыванию коэффициента качества (табл. 2).

Вычисляется шесть τ -критериев для проверки высказывающих значений:

1) τ_1^h -критерий при подозрении в высказывании большего значения вычисляется по формуле:

$$\tau_1^h = \frac{x_n - x_{n-1}}{x_n - x_1} > \tau_1^{cr}, \tag{9}$$

где x_n — наибольшее значение, подозреваемое в высказывании; x_{n-1} — значение перед наибольшим в сторону убывания; x_1 — наименьшее значение; τ_1^{cr} — критическое значение (табличное [15]), для списка из 24 элементов при 1 %-ном уровне значимости $\tau_1^{cr} = 0,367$, при 5 %-ном уровне значимости $\tau_1^{cr} = 0,281$;

Табл. 2. Отсортированные по убыванию коэффициенты качества

Table 2. Quality coefficients sorted in descending order

Номер ЦИМ Number BIM	k_j
19	64 840,28
11	24 320,37
2	774,46
10	519,93
21	342,23
13	207,87
1	166,36
8	117,98
14	117,51
22	97,63
9	83,92
15	74,39
6	74,32
23	55,48
18	54,34
7	51,00
17	44,76
20	44,46
16	38,78
12	23,90
4	17,13
24	10,58
5	8,96
3	5,57

2) τ_2^h -критерий при подозрении в высказывании и большего, и наименьшего значения (вычисляется по наибольшему значению):

$$\tau_2^h = \frac{x_n - x_{n-1}}{x_n - x_2} > \tau_2^{cr}, \tag{10}$$

где x_2 — значение после наименьшего в сторону увеличения; τ_2^{cr} — критическое значение (табличное [15]), для списка из 24 элементов при 1 %-ном уровне значимости $\tau_2^{cr} = 0,400$, при 5 %-ном уровне значимости $\tau_2^{cr} = 0,309$;

3) τ_3^h -критерий при подозрении в высказывании двух наибольших значений:

$$\tau_3^h = \frac{x_n - x_{n-2}}{x_n - x_1} > \tau_3^{cr}, \tag{11}$$

где x_{n-2} — значение после второго наибольшего в сторону уменьшения; τ_3^{cr} — критическое значение (табличное [15]), для списка из 24 элементов при 1 %-ном уровне значимости $\tau_3^{cr} = 0,347$, при 5 %-ном уровне значимости $\tau_3^{cr} = 0,434$;

4) τ_1^s -критерий при подозрении в высказывании наименьшего значения вычисляется следующим образом:

$$\tau_1^s = \frac{x_2 - x_1}{x_n - x_1} > \tau_1^{cr}; \tag{12}$$

5) τ_2^s -критерий при подозрении в высказывании двух наименьших значений рассчитывается по формуле (13) (вычисляется по наименьшему значению):

$$\tau_2^s = \frac{x_2 - x_1}{x_n - x_2} > \tau_2^{cr}; \tag{13}$$

6) τ_3^s -критерий при подозрении в высказывании двух наименьших значений вычисляется по выражению:

$$\tau_3^s = \frac{x_3 - x_1}{x_n - x_1} > \tau_3^{cr}, \tag{14}$$

где x_3 — значение после второго наименьшего в сторону увеличения.

Вычисленные значения τ -критериев представлены в табл. 3.

Вычисленные τ -критерии $\tau_1^h > \tau_1^{cr}$, $\tau_2^h > \tau_2^{cr}$ и $\tau_3^h > \tau_3^{cr}$ как с 1 %-ным, так и с 5 %-ным уровнем значимости, следовательно, значения k_j для 11 и 19 ЦИМ являются высказывающими и не должны учитываться в дальнейшем.

Вычисленные τ -критерии $\tau_1^s < \tau_1^{cr}$, $\tau_2^s < \tau_2^{cr}$ и $\tau_3^s < \tau_3^{cr}$ как с 1 %-ным, так и с 5 %-ным уровнем значимости, следовательно, значения k_j для 3 и 5 ЦИМ не являются высказывающими и должны учитываться в дальнейшем.

В итоге коэффициенты качества ЦИМ выглядят, как показано на рис. 1.

После определения коэффициента качества устанавливается W_{ij} — вес i -го элемента в j -й ЦИМ

Табл. 3. Вычисление τ-критериев

Table 3. Calculation of the τ-criteria

τ-критерий τ-criterion	τ	$\tau_n^{cr} (1 \%)$	$\tau_n^{cr} (5 \%)$	$\tau - \tau_n^{cr} (1 \%)$	$\tau - \tau_n^{cr} (5 \%)$
τ_1^h	0,625	0,367	0,281	0,258	0,344
τ_2^h	0,625	0,400	0,309	0,225	0,316
τ_3^h	0,988	0,347	0,434	0,641	0,554
τ_1^s	$0,524 \cdot 10^{-4}$	0,367	0,281	-0,367	-0,281
τ_2^s	$0,524 \cdot 10^{-4}$	0,400	0,309	-0,400	-0,309
τ_3^s	$0,773 \cdot 10^{-4}$	0,347	0,434	-0,347	-0,434

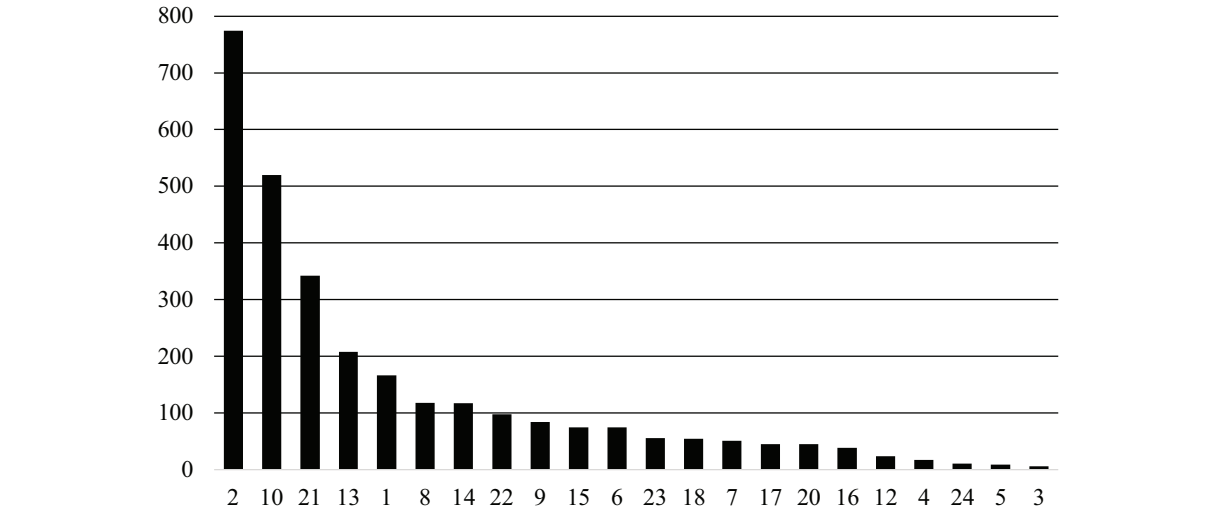


Рис. 1. Коэффициенты качества ЦИМ после исключения выпадающих значений

Fig. 1. Quality coefficients of BIM after exclusion of drop-down values

Табл. 4. Часть таблицы расчета веса элемента

Table 4. Part of the element weight calculation table

Класс IFC IFC class	F_{ij}	E_i	E_j	U_{ij}	k_j	W_{ij}
IfcBeam	9	541	4439	0,122	774,46	57 191,22
IfcColumn	20	80	4439	0,018	774,46	859 456,99
IfcSlab	27	20	4439	0,005	774,46	4 641 067,72
IfcColumn	14	349	16 284	0,021	519,93	339 631,98
IfcCovering	2	598	16 284	0,037	519,93	28 316,19
IfcDoor	9	435	16 284	0,027	519,93	175 169,80
IfcFurnishingElement	5	201	16 284	0,012	519,93	210 610,45
IfcMember	16	7039	16 284	0,432	519,93	19 244,87
IfcPlate	22	2690	16 284	0,165	519,93	69 243,08
IfcRailing	1	89	16 284	0,005	519,93	95 129,66
IfcSlab	5	24	16 284	0,001	519,93	1 763 862,53
IfcStair	1	60	16 284	0,004	519,93	141 109,00
...

Табл. 5. Веса элементов
Table 5. Weights of elements

Номер Number	Класс IFC IFC class	Наименование Name	W_i
1	IfcSlab	Перекрытие / Slab	387,779
2	IfcBeam	Балка / Beam	201,622
3	IfcColumn	Колонна / Column	144,481
4	IfcWall	Стена / Wall	107,183
5	IfcStair	Лестница / Stair	93,303
6	IfcRoof	Крыша / Roof	29,827
7	IfcFooting	Фундамент / Footing	4,960
8	IfcDoor	Дверь / Door	4,866
9	IfcDuctSegment	Воздуховод / Duct segment	4,329
10	IfcUnitaryEquipment	Оборудование / Unitary equipment	3,300
11	IfcWindow	Окно / Window	2,540
12	IfcRailing	Перилла / Railing	2,502
13	IfcRampFlight	Пролет пандуса / Ramp flight	2,256
14	IfcSanitaryTerminal	Сантехническое оборудование / Sanitary terminal	1,613
15	IfcStairFlight	Лестничный марш / Stair flight	1,601
16	IfcFurnishingElement	Мебель / Furnishing element	1,392
17	IfcDuctFitting	Фитинг для воздуховодов / Duct fitting	1,152
18	IfcCableSegment	Кабель / Cable segment	1,011
19	IfcCovering	Отделка / Covering	0,951
20	IfcPump	Насос / Pump	0,753
21	IfcPlate	Пластина / Plate	0,731
22	IfcPipeSegment	Труба / Pipe segment	0,653
23	IfcPipeFitting	Фитинг для труб / Pipe fitting	0,491
24	IfcDistributionElement	Элемент распределения / Distribution element	0,276
25	IfcDistributionControlElement	Элемент автоматизации здания / Distribution control element	0,229
26	IfcMember	Метизы / Member	0,168
27	IfcRamp	Пандус / Ramp	0,027
28	IfcCurtainWall	Навесная стена / Curtain wall	0,004

(формула (7)). Поскольку элементов и ЦИМ много, то в табл. 4 представлена только часть расчета.
Далее по формуле (8) определяется W_i — вес каждого i -го элемента. Веса элементов представлены в табл. 5 и на рис. 2. Для удобства дальнейшей работы абсолютные веса W_i приведены в относительном виде от общей суммы весов (общая сумма весов принята за 1000).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

После проведенного анализа видно, что наибольшим приоритетом обладают архитектурные и несущие конструктивные элементы: перекрытие, балка, колонна, стена, лестница и крыша. Используя значения данных весов, можно выполнить сортировку коллизий и определить приоритет их исправления, что увеличит рацио-

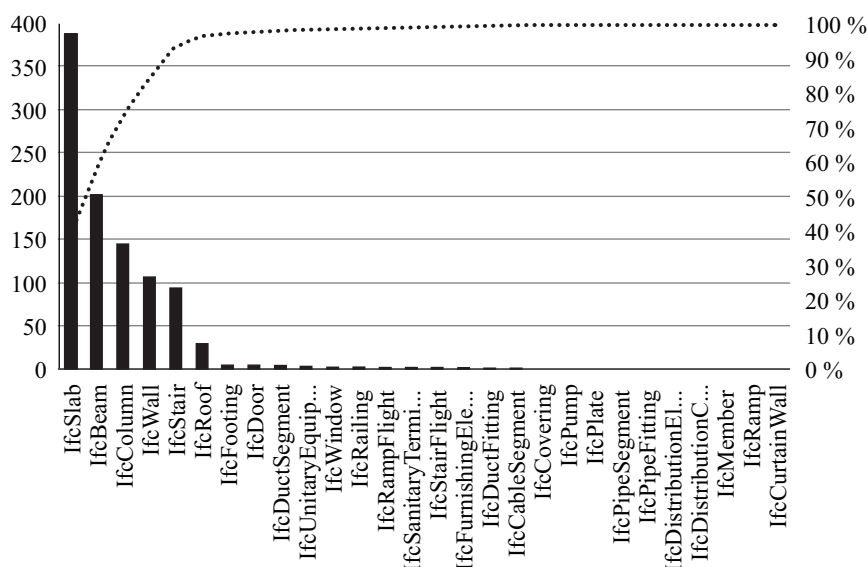


Рис. 2. Распределение весов элементов

Fig. 2. Distribution of weights of elements

нальность использования времени высококвалифицированных инженеров, занятых в работе над проектом.

С целью улучшения качества полученных данных необходимо увеличить выборку ЦИМ, применяемую в анализе, и при возможности использовать проклассифицированные модели. Использование класса IFC в качестве уникального кода типа элемента не удовлетворяет точности, например, элементы с высоким приоритетом — перекрытие и стена, могут быть как архитектурными, так и не-

сущими. С помощью проклассифицированных моделей возможно более точно распределить веса элементов для их приоритизации.

Для направлений дальнейшего исследования можно выделить: улучшение методики определения коэффициента качества ЦИМ и весов элементов, проведение экспертного анализа и сравнение его с данными, полученными математическим путем, следует также попробовать выделить в группы элементы с малым приоритетом.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Захарова Ю., Шишкина М. Автоматические проверки на коллизии в Pilot-BIM // САПР и графика. 2021. № 6 (296). С. 30–36. EDN NQPPDK.
2. Как BIM помогает выявлять коллизии: опыт пользователя системы Renga // САПР и графика. 2022. № 6 (308). С. 14–17. EDN TCXRKB.
3. Субботина М. Российские BIM-технологии: CADLib Модель и Архив как инструмент BIM-менеджера // САПР и графика. 2022. № 1 (303). С. 41–45. EDN WTFNYE.
4. Алиева Д.Н. Разработка алгоритма поиска коллизий при построении BIM-модели // Строительство — формирование среды жизнедеятельности. XXI Международная научная конференция : сб. мат. семинара «Молодежные инновации». 2018. С. 8–10. EDN USLUBL.
5. Алиева Д.Н. Автоматизация поиска коллизий при построении BIM-модели // Дни студенческой науки : сб. докл. науч.-техн. конф. 2018. С. 323–325. EDN XSYKUP.
6. Реммельг Я.А., Шиянов М.А., Кучеренко А.С. Автоматизированные проверки на коллизии в про-

- грамме Pilot-BIM // Образование. Наука. Производство : сб. докл. XIV Междунар. молодежного форума. 2022. С. 223–227. EDN JEUFWA.
7. Лопухина В.П., Михалева Е.А. Концепция BIM-технологии при проектировании, или технологии в BIM-проектировании // XVI Ежегодная научная сессия аспирантов и молодых ученых : мат. Всерос. науч. конф. 2023. С. 189–191. EDN IZJDCK.
8. Юдаева Д.Е. BIM-технологии и экспертиза проектной документации // Мат. Всерос. науч.-практ. конф. аспирантов, докторантов и молодых ученых. 2020. С. 69–73. EDN IRWTCU.
9. Ostashev R. Automated verification of information models for capital construction projects to mitigate environmental impact // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 383. P. 04073. DOI: 10.1051/e3sconf/202338304073
10. Strug B., Ślusarczyk G. Reasoning about accessibility for disabled using building graph models based on BIM/IFC // Visualization in Engineering. 2017. Vol. 5. Issue 1. Pp. 1–12. DOI: 10.1186/s40327-017-0048-z. EDN ZJVJNP.

11. Lu Y., Zhang C. Dynamic data monitoring of building information of nano-modified building steel structure materials using BIM Model // *Integrated Ferroelectrics*. 2021. Vol. 216. Issue 1. Pp. 197–213. DOI: 10.1080/10584587.2021.1911269. EDN LMDDTI.

12. Alamedy Sh.G.H. Execution quality of construction projects with building information modeling BIM-technology // *Engineering Journal of Don*. 2023. No. 4 (100). Pp. 661–683. EDN LQAWPY.

13. Емельянов Е.Г. Современные технологии информационного моделирования — building information modeling (BIM) // *Инженерные и социальные системы : сб. науч. тр. инженерно-строительного института ИВГПУ*. 2018. С. 181–183. EDN XVODFZ.

14. Червова Н.А., Лепешкина Д.О. Коллизии инженерных систем при проектировании в BIM платформах // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2018. № 3 (66). С. 19–29. DOI: 10.18720/CUBS.66.2. EDN XTYVNZ.

15. Червова Н.А., Лепешкина Д.О. Инструменты поиска коллизий инженерных систем при работе в BIM-платформах // *Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки : электронный сб. ст. по мат. LXIV студ. междунар. науч.-практ. конф.* 2018. С. 22–29. EDN XONKXJ.

16. Кочкарева М.Б. Преимущества BIM-технологий при решении проблемных вопросов реновации и реконструкции инженерных сетей // *Инновационные методы организации строительного производства : мат. II Всерос. науч.-практ. конф.* 2023. С. 126–131. EDN ZRIJDW.

17. Иванов А.Ю., Ливанов В.А. BIM-модели: борьба с коллизиями при проектировании инженерных систем // *АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика*. 2023. № 5. С. 52–64. EDN YJRKUS.

18. Курас М.В., Исламгадиева Д.Р., Нурисламова Р.К. Управление инженерными сетями здания с помощью BIM-модели // *Актуальные проблемы технических, естественных и гуманитарных наук : мат. Междунар. науч.-техн. конф.* 2021. С. 17–21. EDN NPZCBO.

19. Евтушенко С.И., Осташеев Р.В. Сортировка коллизий пересечения // *Строительство и архитектура*. 2023. Т. 11. № 3. С. 10. DOI: 10.29039/2308-0191-2023-11-3-10-10. EDN KFKUHU.

20. Ашмарин И.П., Воробьев А.А. Статистические методы в микробиологических исследованиях. Л. : Медгиз, 1962. 180 с.

Поступила в редакцию 1 декабря 2023 г.

Принята в доработанном виде 8 декабря 2023 г.

Одобрена для публикации 12 января 2024 г.

ОБ АВТОРАХ: **Сергей Иванович Евтушенко** — доктор технических наук, профессор кафедры информационных систем, технологий и автоматизации строительства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 510652, Scopus: 57190962075, ResearcherID: C-5249-2013, ORCID: 0000-0003-3708-380X; evtushenkosi@mgsu.ru;

Роман Витальевич Осташеев — аспирант кафедры информационных систем, технологий и автоматизации строительства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 9659-3199, ORCID: 0009-0002-8737-3813; lemon-noman@yandex.ru.

Вклад авторов:

Евтушенко С.И. — научное руководство, написание и редактирование текста.

Осташеев Р.В. — разработка методики, написание и редактирование текста статьи.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Zakharova Yu., Shishkina M. Automatic collision checks in Pilot-BIM. *CAD and Graphics*. 2021; 6(296):30-36. EDN NQPPDK. (rus.).

2. How BIM helps to identify collisions: user experience of the Renga system. *CAD and Graphics*. 2022; 6(308):14-17. EDN TCXRKB. (rus.).

3. Subbotina M. Russian BIM technologies: CADLib Model and Archive as a BIM manager tool. *CAD and Graphics*. 2022; 1(303):41-45. EDN WTFNYE. (rus.).

4. Alieva D.N. Development of an algorithm for finding collisions when building a BIM model. Construction is the formation of a living environment. *XXI International Scientific Conference : collection of materials from the seminar "Youth Innovations"*. 2018; 8-10. EDN USLUBL. (rus.).

5. Alieva D.N. Automating the search for collisions when building a BIM model. *Days of Student Science : collection of reports of a scientific and technical conference*. 2018; 323-325. EDN XSYKUP. (rus.).

6. Remmelg Ya.A., Shiyanov M.A., Kucherenko A.S. Automated checks for collisions in the Pilot-BIM program. *Education. Science. Production : collection of reports of the XIV International Youth Forum*. 2022; 223-227. EDN JEUFWA. (rus.).
7. Lopukhina V.P., Mikhaleva E.A. The concept of BIM technology in design, or technologies in BIM design. *XVI Annual scientific session of graduate students and young scientists : materials of the All-Russian Scientific Conference*. 2023; 189-191. EDN IZJDCK. (rus.).
8. Yudaeva D.E. BIM technologies and expertise of project documentation. *Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference of graduate students, doctoral students and young scientists*. 2020; 69-73. EDN IRWTCU. (rus.).
9. Ostashev R. Automated verification of information models for capital construction projects to mitigate environmental impact. *E3S Web of Conferences*. 2023; 383:04073. DOI: 10.1051/e3sconf/202338304073
10. Strug B., Ślusarczyk G. Reasoning about accessibility for disabled using building graph models based on BIM/IFC. *Visualization in Engineering*. 2017; 5(1):1-12. DOI: 10.1186/s40327-017-0048-z. EDN ZJVJNP.
11. Lu Y., Zhang C. Dynamic data monitoring of building information of nano-modified building steel structure materials using BIM model. *Integrated Ferroelectrics*. 2021; 216(1):197-213. DOI: 10.1080/10584587.2021.1911269. EDN LMDDTI.
12. Alamedy Sh.G.H. Execution quality of construction projects with building information modeling BIM-technology. *Engineering Journal of Don*. 2023; 4(100):661-683. EDN LQAWPY.
13. Emelyanov E.G. Modern technologies of information modeling — building information modeling (BIM). *Engineering and Social systems : collection of scientific papers of the Institute of Civil Engineering of the IVSPU*. 2018; 181-183. EDN XVODFZ. (rus.).
14. Chervova N.A., Lepeshkina D.O. Collisions of general utilities designing through the use of BIM-platforms. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2018; 3(66):19-29. DOI: 10.18720/CUBS.66.2. EDN XTYVNZ. (rus.).
15. Chervova N.A., Lepeshkina D.O. Tools for finding collisions of engineering systems when working in BIM platforms. Scientific community of students of the XXI century. *Technical Sciences : electronic collection of articles based on the materials of the LXIV student International Scientific and Practical Conference*. 2018; 22-29. EDN XONKXJ. (rus.).
16. Kochkareva M.B. Advantages of BIM technologies in solving problem issues of renovation and reconstruction of external utilities. *Innovative methods of organizing construction production : materials of the II All-Russian Scientific and Practical Conference*. 2023; 126-131. EDN ZRIJDW. (rus.).
17. Ivanov A.Yu., Livanov V.A. BIM-models: the fight against collisions in the design of engineering systems. *AVOK*. 2023; 5:52-64. EDN YJRKUS. (rus.).
18. Kuras M.V., Islamgalieva D.R., Nurislamova R.K. Management of building engineering networks using a BIM model. *Actual problems of technical, natural and humanitarian sciences : proceedings of the International Scientific and Technical Conference*. 2021; 17-21. EDN NPZCBO. (rus.).
19. Evtushenko S., Ostashev R. Sorting of intersection collisions. *Construction and Architecture*. 2023; 11(3):10. DOI: 10.29039/2308-0191-2023-11-3-10-10. EDN KFKUHU. (rus.).
20. Ashmarin I.P., Vorobyev A.A. *Statistical methods in microbiological research*. Leningrad, Medgiz Publ., 1962; 180. (rus.).

Received December 1, 2023.

Adopted in revised form on December 8, 2023.

Approved for publication on January 12, 2024.

B I O N O T E S : **Sergey I. Evtushenko** — Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Information Systems, Technology and Automation of Construction; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 510652, Scopus: 57190962075, ResearcherID: C-5249-2013, ORCID: 0000-0003-3708-380X; evtushenkosi@mgsu.ru;

Roman V. Ostashev — postgraduate student of the Department of Information Systems, Technology and Automation of Construction; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 9659-3199, ORCID: 0009-0002-8737-3813; lemon-noman@yandex.ru.

Contribution of the authors:

Sergey I. Evtushenko — scientific guidance, writing and editing of the text.

Roman V. Ostashev — development of methodology, writing and editing of the text of the article.

The authors declare that there is no conflict of interest.