

## Исследования возможностей BIM-моделирования в области проектирования систем вентиляции

*В.А. Ермакова, А.С. Саламатина*

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет*

**Аннотация:** Исследования возможностей BIM-моделирования в области проектирования систем вентиляции показывают, что современный уровень развития BIM-технологий позволяет производить аэродинамический расчет. Примером программного обеспечения с такими возможностями является Autodesk Revit. В данной статье производится сравнительный анализ двух способов расчета: по стандартной методике и формуле Коулбрука, рассчитанной на ПО Revit. Погрешность расчетов составила 14,08%, что не превышает допустимое значение 15%. Таким образом, показана перспективность использования программы Revit для выполнения аэродинамического расчета.

**Ключевые слова:** BIM-моделирование, системы вентиляции, 3D-проектирование, Autodesk Revit, аэродинамический расчет, BIM-технологии, информационное моделирование.

### Введение

В настоящее время происходит революция в проектировании, а именно - переход к информационному моделированию и использованию для этих целей специального программного обеспечения [1-3]. Данный переход коснулся не только проектирования зданий и сооружений, как конструкций или архитектурных объектов, но и составляющих инженерных систем, например, систем вентиляции. Программы, предназначенные для проектирования внутренних инженерных систем, способствуют увеличению эффективности работы за счет сокращения времени проектирования, уменьшения ошибок, связанных с человеческим фактором, а также сочетают в себе возможности расчета конкретных показателей инженерных систем, а именно - аэродинамического расчета [4, 5]. Однако расчеты, выполняемые в

имеющихся на сегодняшний день программах ВМ-моделирования, имеют погрешность. В связи с этим требуется подтверждение полученного результата путем сравнения расчета, выполненного вручную специалистом и автоматического расчета, выполненного в программном комплексе [6]. Данный вопрос имеет большую актуальность, так как анализ и дальнейшая минимизация погрешностей расчетов значительно упростит работу инженеров-проектировщиков.

Объектом данного исследования является процесс аэродинамического расчета, произведенный двумя способами. Предметом исследования будут потери давления в системе. Целью исследования является анализ возможности перехода на современный уровень выполнения аэродинамического расчета.

Для достижения сформулированной цели необходимо последовательно решить следующие задачи:

1. Произвести аэродинамический расчет по стандартной методике;
2. Выполнить аэродинамический расчет в программе Autodesk Revit;
3. Провести анализ полученных результатов и сделать выводы об эффективности выполнения расчета в программе.

### **Аэродинамический расчет по стандартной методике**

Аэродинамический расчет системы вентиляции является важным и сложным этапом проектирования систем вентиляций зданий и сооружений. Целью расчета является определение размеров сечения воздухопроводов и потерь давления в системе. Согласно полученным данным, в дальнейшем производится подбор оборудования.

Для выполнения расчета необходимо вычертить в масштабе аксонометрические схемы вентиляционных систем объекта, затем разбить всю систему на части воздуховода с постоянным расходом воздуха и

---

размером поперечного сечения, называемые участками. На каждом участке необходимо указать значение длины участка воздуховода и необходимое количество удаляемого или приточного воздуха (для примера взята механическая вытяжная система, представленная на рис. 1).

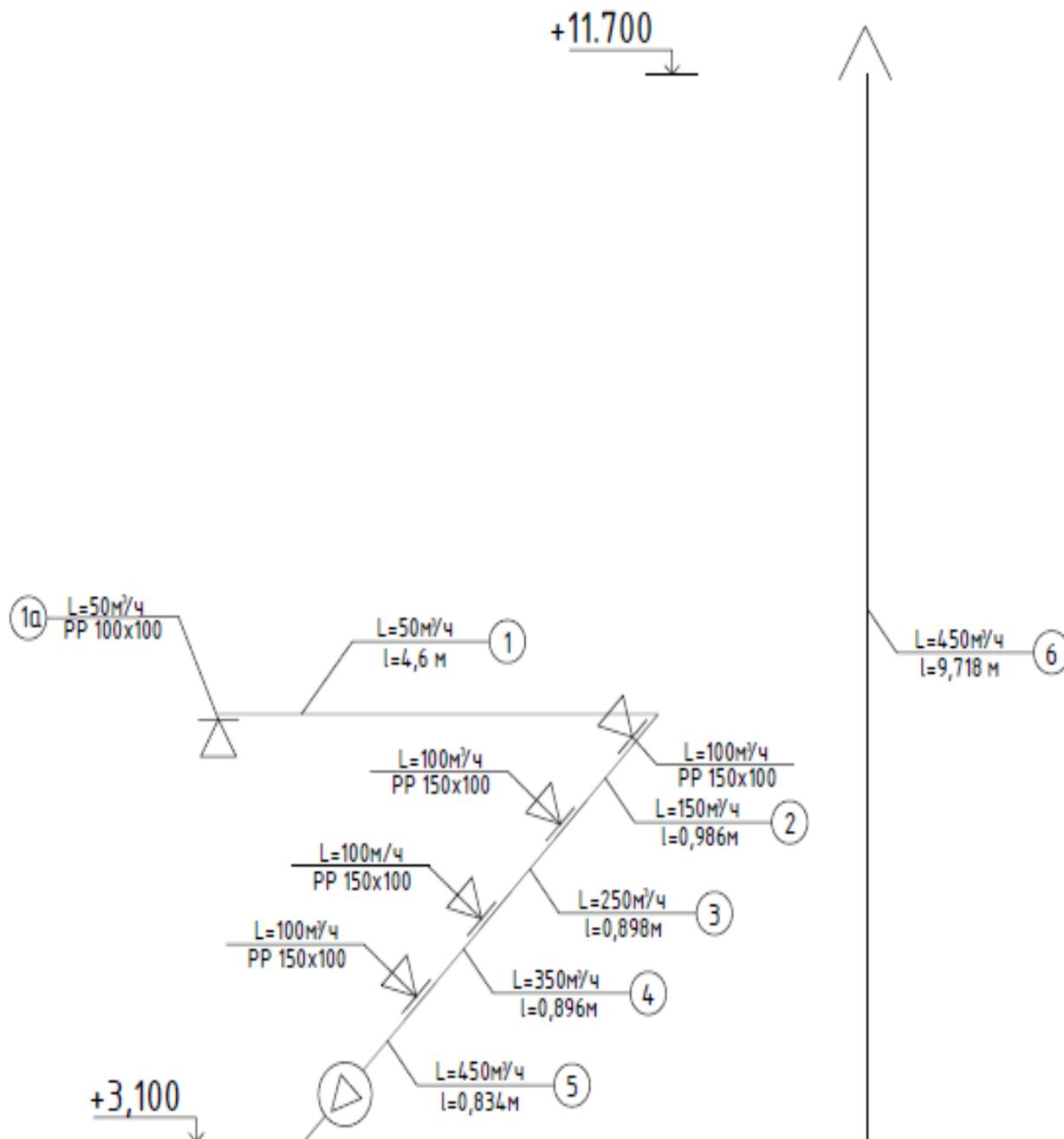


Рис.1. Расчетная аксонометрическая схема механической вытяжной системы вентиляции

Далее задается скорость в воздуховоде, которая в соответствии с справочником проектировщика составляет 2-6 м/с. Далее определяем расчетную площадь сечения воздуховода, которая определяется по формуле:

$$F = \frac{L}{3600 \cdot v}, \quad (1)$$

где  $L$  – расход воздуха на участке, м<sup>3</sup>/ч,  $v$  – скорость воздуха на участке.

По рассчитанной площади определяем поперечные размеры сечения воздуховода, соответствующие ведомственным строительным нормам. Затем необходимо уточнить скорость движения воздуха, дабы она не превышала допустимую 6 м/с. Выполняем проверку по следующей формуле:

$$v = \frac{L}{3600 \cdot F_{\phi}}, \quad (2)$$

где  $F_{\phi}$  – фактическая площадь сечения воздуховода.

Следующим шагом определяем эквивалентный диаметр воздуховода по формуле:

$$d_{\text{экв}} = \frac{2ab}{a + b}, \quad (3)$$

где  $a$  и  $b$  – стороны прямоугольного воздуховода.

Зная эквивалентный диаметр воздуховода и скорость воздуха на участке, определяем удельные потери на трение ( $R$ ) в таблице 12.17 в справочнике проектировщика. Определение поправочного коэффициента на шероховатость стенок воздуховода также по справочнику проектировщика в таблице 12.13. Далее необходимо определить полные потери на трение по формуле:

$$\Delta P_{\text{тр}} = R \cdot l \cdot n, \quad (4)$$

где  $l$  – длина участка, м;

$n$  – шероховатость,  $n = 1$ .

Затем выполняем расчет потерь давления в местных сопротивлениях по формуле:

$$z = \frac{\sum \xi v^2 \rho}{2g}, \quad (5)$$

где  $\sum \xi$  – сумма коэффициентов местных сопротивлений на участке;

$\rho$  – плотность подаваемого или удаляемого воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

На следующем этапе необходимо вычислить полные потери давления на участке, которые определяются как сумма полных потерь и потерь давления в местных сопротивлениях по формуле:

$$\Delta P_{\text{полн}} = R \cdot l \cdot n + z \quad (6)$$

Расчет сведен в таблицу 1, в которой определены все вышеперечисленные характеристики для каждого участка рассчитываемой системы.

Таблица 1

Аэродинамический расчет механической вытяжной системы В1

№ участка	L, м3/ч	l, м	v, м/с	F, м2	axb	дэкв
1а	50	решетка	2,24	-	100x100	-
1	50	4,6	1,39	0,01	100x100	100
2	150	0,986	2,78	0,015	100x150	120
3	250	0,898	3,09	0,0225	150x150	150
4	350	0,896	3,24	0,03	200x150	171,4
5	450	0,834	4,17	0,03	200x150	171,4
6	450	9,718	4,17	0,03	200x150	171,4

Продолжение таблицы 1.

№ участка	n	R	$\sum \xi$	Rln	$v^2\rho/2g$	z	Rln+z
1а	-	-	1,20	-	0,305352	0,366423	1,20
1	1	0,052	6,09	0,2392	0,117392	0,71492	6,3292
2	1	0,183	0,45	0,180438	0,46957	0,211306	0,630438
3	1	0,139	0,27	0,124822	0,579716	0,156523	0,394822
4	1	0,117	0,21	0,104832	0,639137	0,134219	0,314832
5	1	0,176	0,25	0,146784	1,056532	0,264133	0,396784
6	1	0,176	1,38	1,710368	1,056532	1,458015	3,090368
						Сумма:	12,36

По описанному алгоритму произведены расчеты для объекта и определены поперечные размеры воздуховодов для каждого участка системы: 100x100, 100x150, 150x150, 200x150, а также потери давления в системе, которые составляют 12,36 Па.

### Аэродинамический расчет в Autodesk Revit

Для проведения анализа необходимо выполнить аэродинамический расчет в программном комплексе Autodesk Revit [7, 8]. Выбранная программа имеет возможность производить расчет тремя методами:

- Уравнение Халанда;
- Формула Альтшуля-Цаля;
- Формула Коулбрука;

Независимо от того, какой способ расчета выбран, результаты будут идентичны. На панели инструментов необходимо найти вкладку *Управление*

[9]. Инструмент «Настройки MEP» позволяет задать параметры для системы ОВК, механической и электрической систем, а также настройки для расчета указанных систем. В диалоговом окне «Настройки ОВиВК» выбираем нужный метод. Для примера выбран расчет с помощью формулы Коулбрука.

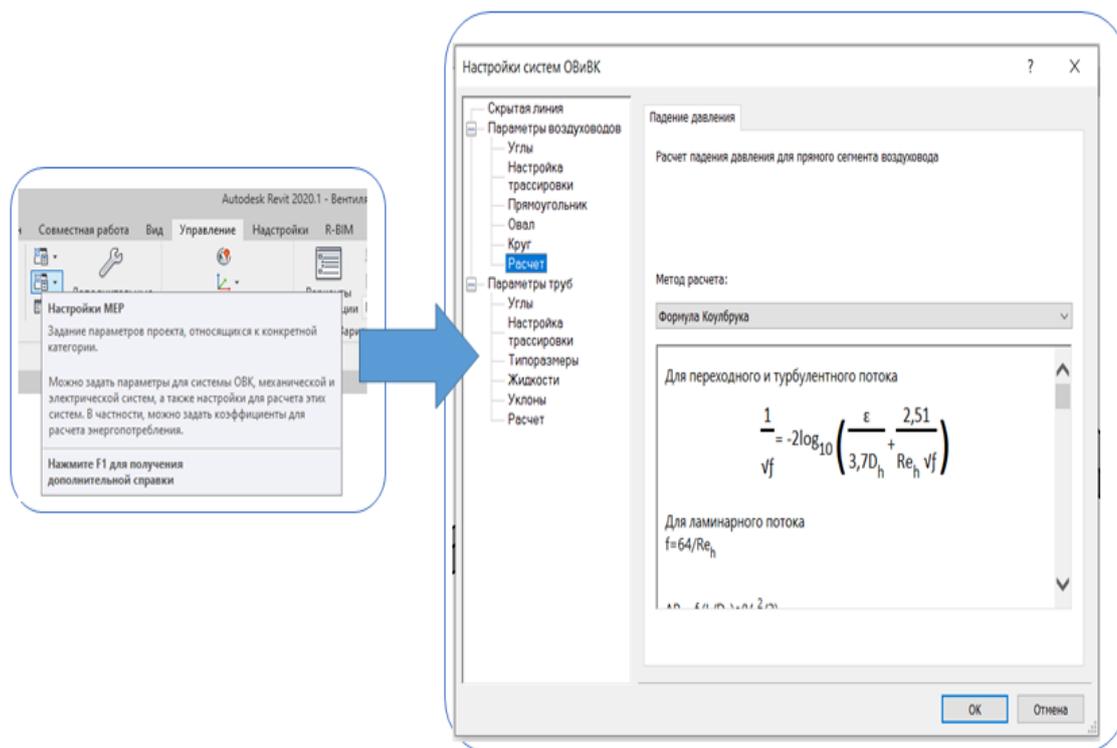


Рис.2. Процесс выбора расчета в программном комплексе Autodesk Revit

Выполнение расчета в программном комплексе начинается с построения искомой системы.

Для того, чтобы программа выполнила расчет, необходимо подгрузить воздуховоды, то есть задать объем воздуха, удаляемого через воздуховод.

В программном комплексе Autodesk Revit реализованы три способа определения потерь на местных сопротивлениях: с использованием американских коэффициентов ASHRAE [10, 11], путем задания определенного



Рис.3. 3D модель вытяжной механической системы

коэффициента, для соответствующего местного сопротивления, по справочнику, либо по удельным потерям. В данной статье применен метод задания конкретного коэффициента, который определяется по-разному для каждого типа местного сопротивления (отвод, тройник, переход и т.д.). Применение именно этого метода обусловлено тем, что в этом случае полученный результат будет иметь высокую сходимость с расчетом, полученным по стандартной методике.

После выполнения подготовительных работ производится непосредственный расчет. Для этого на панели инструментов необходимо найти вкладку «Анализ» и выбрать инструмент «Отчет о потерях давления в воздуховоде», затем в появившемся диалоговом окне выбрать систему, для которой необходимо выполнить расчет и загрузить его в формате html [12].

Путем автоматического расчета в программном комплексе было определено значение потери полного давления, равное 14,1 Па.

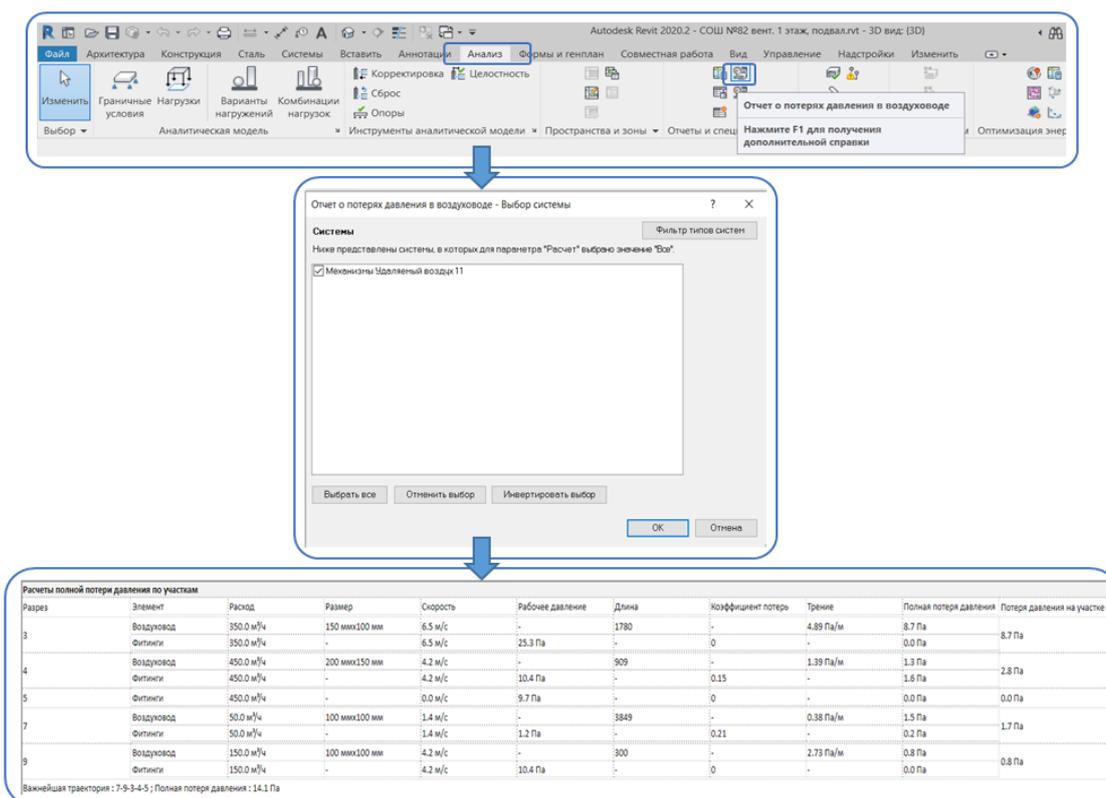


Рис.4. Последовательность действий при выполнении расчета в программном комплексе Autodesk Revit

### Заключение

Полученные результаты аэродинамического расчета по стандартной методике и в программном комплексе Autodesk Revit, а также расчет погрешности, представлены в таблице 2.

Таблица 2

Сравнительный анализ методов выполнения аэродинамического расчета

Метод	Полные потери давления, Па
Стандартная методика	12,36
Формула Коулбрука (Revit)	14,10
Погрешность, %:	14,08

Формула определения процента погрешности:

$$\delta = \frac{\Delta P_{\text{полн}}^{\text{Revit}} - \Delta P_{\text{полн}}^{\text{станд}}}{\Delta P_{\text{полн}}^{\text{станд}}} \cdot 100\%, \quad (7)$$

где  $\Delta P_{\text{полн}}^{\text{Revit}}$  – потери давления, полученные при расчете в программе Revit;

$\Delta P_{\text{полн}}^{\text{станд}}$  – потери давления, полученные при расчете по стандартной методике.

$$\delta = \frac{14,10 - 12,36}{12,36} \cdot 100\% = 14,08 \%$$

Согласно справочнику проектировщика [6], методика и инструмент применимы, если погрешность составляет до 15%. Полученное значение погрешности входит в допустимый диапазон. Однако, значение 14,08% довольно близко к 15%. Согласно ежегодным цифровым опросам NBS, современные методы строительства сейчас на подъеме [13], поэтому преимущества выполнения аэродинамического расчета в программном обеспечении Autodesk Revit очевидны, в совокупности с тем, что значение погрешности все-таки в пределах нормы, и позволяют применять программу Revit для выполнения аэродинамического расчета.

### Литература

1. Старцев Р.К. Уровни внедрения BIM-технологий // Научный аспект, 2020. том 8, №4. С. 1028-1032.
2. Елин Д.А., Макаров А.Д., Мышков Е.С. Революция в строительном проектировании // Инженерные и социальные системы: сборник научных трудов института архитектуры, строительства и транспорта ИВГПУ. – Иваново: Ивановский государственный политехнический университет, 2020. – С. 32-36.



3. Ермакова В.А., Саламатина А.С. BIM-моделирование в системах вентиляции // Инженерный вестник Дона, 2022, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2022/7390](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2022/7390).
  4. Гнедых В.С., Демшина Д.А. Интеграция программных комплексов информационного моделирования зданий в области отопления и вентиляции // BIM-Моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы II Международно-практической конференции; СПб. – СПбГАСУ, 2019 – С. 257-261.
  5. Зеленцов Л.Б., Цапко К.А., Беликова И.Ф., Пирко Д.В. Совершенствование процесса строительства с использованием BIM-технологий // Инженерный вестник Дона, 2020, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2020/6346](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2020/6346).
  6. Суханова И.И., Гнедых В.С., Демшина Д.А. Анализ гидравлического и аэродинамического расчётов систем отопления и вентиляции на основе BIM-моделирования // Инженерный вестник Дона, 2019, №9. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2019/6220](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2019/6220).
  7. Егоров А.В., Черова Н.А., Мишаров С.И. Аналитическая модель в Autodesk Revit // Синергия наук, 2017, №12 – С. 739-753.
  8. Кречко И.К., Турук Ю.В., Колесниченко И.Е. Преимущества Revit над AUTOCAD при строительном проектировании // Современные прикладные исследования: материалы четвертой национальной научно-практической конференции, Шахты, 16-18 марта 2020 года. – Новочеркасск: Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, 2022. – С. 100-104.
  9. Справка Autodesk Revit 2020. URL: [help.autodesk.com/view/RVT/2020/RUS/](http://help.autodesk.com/view/RVT/2020/RUS/).
  10. Ashrae®handbook, Heating, ventilating, and air-conditioning applications, Tullie Circle, N.E., Atlanta, 2001. – 857 с.
-



11. Watson, T. Расширение горизонтов ASHRAE // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2013. – № 3. – С.66-72.
12. Подобед Екатерина Расчет аэродинамических линейных потерь воздуха на примере программного комплекса Autodesk Revit. URL: [infars.ru/blog/pro-ayerodinamicheskie-lineynye-poteri-v-revit/](http://infars.ru/blog/pro-ayerodinamicheskie-lineynye-poteri-v-revit/).
13. Hamil S. What is BIM? URL: [thenbs.com/knowledge/what-is-building-information-modelling-bim](http://thenbs.com/knowledge/what-is-building-information-modelling-bim).

### References

1. Starcev R.K. Urovni vnedrenija BIM-tehnologij [Levels of BIM technologies implementation]. Nauchnyj aspekt. 2020. pp 1028-1032.
  2. Elin D.A., Makarov A.D., Myshkov E.S. Revoljucija v stroitel'nom proektirovanii [Revolution in building design]. Inzhenernye i social'nye sistemy: sbornik nauchnyh trudov instituta arhitektury, stroitel'stva i transporta IVGPU. Ivanovo, Ivanovskij gosudarstvennyj politehnicheskij universitet, 2020. pp. 32-36.
  3. Ermakova V.A., Salamatina A.S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022. №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2022/7390](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2022/7390).
  4. Gnedyh V.S., Demshina D.A. Integracija programmnyh kompleksov informacionnogo modelirovanija zdaniy v oblasti otopenija i ventiljicii [Integration of software systems of information modeling of buildings in the field of heating and ventilation]. BIM-Modelirovanie v zadachah stroitel'stva i ahitektury. Materialy II Mezhdunarodno-prakticheskoj konferencii. Sankt-Peterburg. Sankt-Peterburgskij arhitekturno-stroitel'nyj universitet, 2019, pp. 257-261.
  5. Zelencov L.B., Capko K.A., Belikova I.F., Pirko D.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2020, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2020/6346](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2020/6346).
  6. Suhanova I.I., Gnedyh V.S., Demshina D.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, №9. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2019/6220](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2019/6220).
-



7. Egorov A.V., Cherova N.A., Misharov S.I. Sinergija nauk, 2017, №12, pp. 739-753.
8. Krechko I.K., Turuk Ju.V., Kolesnichenko I.E. Preimushhestva Revit nad AUTOCAD pri stroitel'nom proektirovanii [Benefits Revit over AUTOCAD when building design]. Sovremennye prikladnye issledovaniya: materialy chetvertoj nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii, Shahty, 16-18 marta 2020 goda. Novocherkassk, Juzhno-Rossijskij gosudarstvennyj politehnicheskij universitet (NPI) imeni M.I. Platova, 20220. pp. 100-104.
9. Spravka Autodesk Revit 2020. [Synopsis Autodesk Revit 2020]. URL: [help.autodesk.com/view/RVT/2020/RUS/](http://help.autodesk.com/view/RVT/2020/RUS/).
10. Ashrae®handbook, Heating, ventilating, and air-conditioning applications, Tullie Circle, N.E., Atlanta, 2001. 857 p.
11. Watson, T. Rasshirenie gorizontov ASHRAE [Expanding ASHRAE Horizons]. ABOK: Ventiljacija, otoplenie, kondicionirovanie vozduha, teplosnabzhenie i stroitel'naja teplofizika, 2013. № 3. pp.66-72.
12. Podobed Ekaterina Raschet ajerodinamicheskikh linejnyh poter' vozduha na primere programmnoho kompleksa Autodesk Revit [Calculation of aerodynamic linear air losses on the example of the Autodesk Revit software package]. URL: [infars.ru/blog/pro-ayerodinamicheskie-lineynye-poteri-v-revit/](http://infars.ru/blog/pro-ayerodinamicheskie-lineynye-poteri-v-revit/).
13. Hamil S. What is BIM? URL: [thenbs.com/knowledge/what-is-building-information-modelling-bim](http://thenbs.com/knowledge/what-is-building-information-modelling-bim).