



**НИЦ ЦПС**

НАУЧНО-ИНЖЕНЕРНЫЙ ЦЕНТР ЦИФРОВИЗАЦИИ  
И ПРОЕКТИРОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

# ЦИФРОВОЙ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПРИМЕНЕНИЕ В РАМКАХ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ПРОВЕРКИ ИМ ОКС

ВЛАДИМИР ВОЛКОДАВ

НИЦ ЦПС

СПб, 2021



## Существующая проблематика

Отсутствие действенных методик представления и перевода положений нормативно-технической документации (в строительстве) в специализированный формат представления данных, обеспечивающий возможность эффективной реализации автоматизированных проверок BIM-моделей на предмет соответствия требованиям существующей нормативной документации.

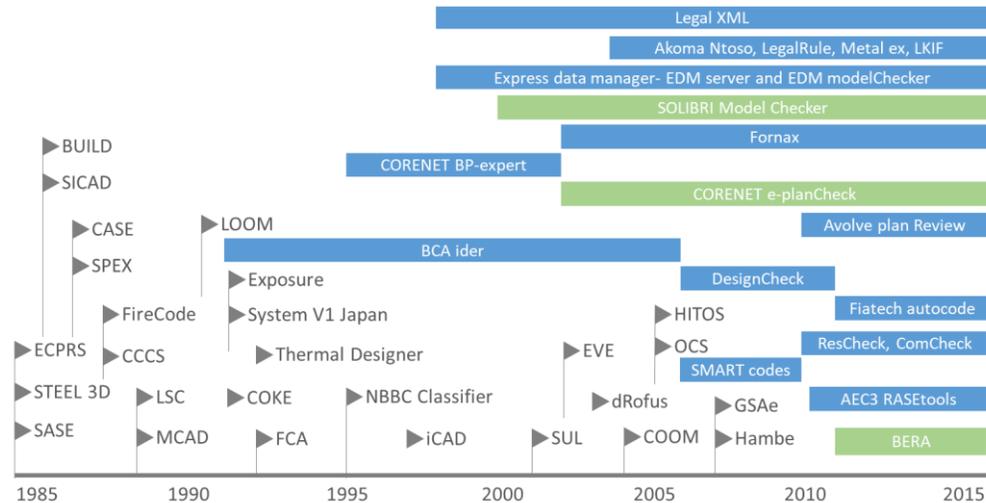


## Основные противоречия/предпосылки исследования

1. Технология представления проектной информации (в строительстве) за последние 30 лет претерпела сильные изменения (от бумажного представления к трехмерной параметрической модели с атрибутивным составом), в то время, как технология представления информации, представляющей собой нормативные требования за последнее время не претерпела никаких кардинальных изменений (от бумажного представления к электронному документу).
3. База НТД в строительстве на данный момент представлена посредством неструктурированных (слабоструктурированных) данных, работу с которыми крайне сложно автоматизировать.
4. Проверки BIM-моделей на предмет соответствия требованиям НТД на данный момент происходят «вручную», автоматизация процесса крайне затруднительна из-за «бумажного» представления НТД.

# Обзор существующей практики и источников

Обзор существующей практики формализации требований НТД в строительстве



- Autodesk Navisworks
- SOLIBRI Model Checker
- Express Data Manager – EDMServer & EDMModelChecker
- UpCodes AI

|   |   |
|---|---|
| Lee, J. K.  | Building Environment Rule and Analysis (BERA) language and its application for evaluating building circulation and spatial program. Ph.D. Thesis, Georgia Institute of Technology                                 |
| Lee, J. K., Eastman, C. M., and Lee, Y.C.                                 | Implementation of a BIM domain-specific language for the Building Environment Rule and Analysis   |
| Liebich, T. and Wix, J.   | International Energy Conservation Code. Modeling Support Group, International Alliance of Interoperability (IAI), International Code Council (ICC), Munich, Germany   |
| Mazairac, W. and Beetz, J.  | BIMQL: An open query language for building information models. Advanced Engineering Informatics   |
| Nawari, N.  | Automating codes conformance. Journal of Architectural Engineering  |
| Nawari, N.O. and Alsaffar, A.   | Understanding computable building codes. Journal of Civil Engineering and Architecture  |
| Smith, B. and Bordenaro, M.   | BIMXML: Stepping forward onto proven ground. Journal of Building Information Modeling (JBIM)  |
| Delis, E. and Delis, A.   | Automatic fire-code checking using expert-system technology   |
| Dimyadi, J. and Amor, R.  | Automated building code compliance checking: Where is it? In S. Kajewski, K. Manley, and K. Hampson   |
| Eastman, C., Lee, J., Jeong, Y., and Lee, J.-K.                           | Automatic rule-based checking of building designs. Automation in Construction   |
| Eastman, C., Lee, J.-M., Jeong, Y.-S., and Lee, J.-K.                     | Automatic rule-based checking of building designs   |
| Fenfes, S. J., Garrett, J. H., Killicote, H., Law, K. H., and Reed, K. A. | Computer representations of design standards and building codes: U.S. perspective   |
| Fenfes, S., Goel, S., and Gaylord, E.                                     | Decision Table Formulation of the 1969 AISC Specification   |
| Frye, M., Olynick, D., and Pinkney, R.                                    | Development of an expert system for the fire protection requirements of the national building code of Canada  |
| Garrett, J. H., Jr. and Fenfes, S. J.                                     | A knowledge-based standard processor for structural component design  |
| Hakim, M. and Garret, J.  | A description logic approach for representing engineering design standards  |
| Han, C., Kunz, J., and Law, K.  | A hybrid prescriptive/performance based approach to automated building code checking  |
| Han, C., Law, K., Latombe, J., and Kunz, J.                               | A performance-based approach to wheelchair accessible route analysis  |
| Hjelseth, E.  | Converting performance-based regulations into computable rules in BIM based model-checking software. In G. Gudnason and R. Scherer (Ed.)  |
| Hjelseth, E. and Nisbet, N.   | Exploring semantic based model checking. The Proceedings of the 2010 27th CIB W78 International Conference  |
| Hjelseth, E. and Nisbet, N.   | Overview of concepts for model checking. The Proceedings of the 2010 27th CIB W78 International Conference  |
| Hjelseth, E. and Nisbet, N.   | Capturing normative constraints by use of the semantic mark-up (RASE) methodology. Proceedings of CIB W78-W102 International Conference   |
| Huuskonen, P. and Kaarela, K.   | Explaining plant design knowledge through means-end modelling. In Y. Anzai, K. Ogawa, and H. Mori (Ed.), Symbiosis of Human and Artifact  |
| Jaeger, S. and Hareluk, L.  | Automation of the building code compliance. National Bureau of Standards Special Report. US Department of Commerce  |
| Kahkonen, K., and Björk, B.-C.  | Computerization of Building Standards. Espoo, Finland: Technical Research Centre of Finland   |
| Khemliani, L.   | CORENET e-PlanCheck: Singapore's automated code checking. AECbytes: Building the Future   |
| Kiyavitskaya, N., Zeni, N., Mich, L., Cordy, J. and Mylopoulos, J.        | Text mining through semi-automatic semantic annotation. 6th International Conference  |
| Lopez, L., Elam, S., and Reed, K.   | Software concept for checking engineering designs for conformance with codes and standards  |
| Moulin, B.  | Automated generation of rules from the national building code text.   |
| Mugridge, W., Hosking, J., and Amor, R.                                   | Adding a Code Conformance Tool to an Integrated Building Design Environment. Auckland, New Zealand  |
| Noland, J. L., and Bedell, R.   | Automated Checking of Simply Supported Prismatic Reinforced Concrete Beams for Compliance with Code Requirements. National Bureau of Standards Special Report   |
| SMC   | Automated code checking for accessibility. Solibri  |
| Turk, Z. and Vanier, D.   | Tools and models for the electronic delivery of building codes and standards  |
| Rosenman, M.A., Gero, J.S., and Oxman, J.                                 | An expert system for design codes and design rules. B. Sriram, R. Adey (Eds.), Applications of artificial intelligence in engineering problems  |
| Vanier, D.  | Computerized building regulations. Proceedings of the International Conference on Municipal Code Administration Building Safety and the Computer  |
| Yabuki, N. and Law, K. H.   | An integrated framework for design standards processing. Technical Report   |
| Zhang, J. and El-Gohary, N.   | Automated information extraction from construction related regulatory documents for automated compliance checking. Proceedings of the   |
| Zhang, J. and El-Gohary, N.   | Extraction of construction regulatory requirements from textual documents using natural language processing techniques. In R. Issa and I. Flood (Ed.), International Conference on Computing in Civil Engineering |
| Zhang, J. and El-Gohary, N.   | Semantic NLP-based information extraction from construction regulatory documents for automated compliance checking. J. Comput. Civ. Eng.  |



|   |   |
|---|---|
| Условие эксплуатации конструкций зданий                     | Толщина защитного слоя бетона, мм, не менее |
| В закрытых помещениях при нормальной и пониженной влажности | 20  |

```

public static List<Column> ProtectLayer(Bulding bld)
{
    List <Columns> result = new List<Columns>();
    foreach (Column clmn in bld.Columns)
    {
        if (clmn.protectin_layer < 20) result.Add(clmn);
    }
    return result;
}
    
```

### Специализированные языки программирования

BERA  
 BIMQL  
 SSQL

ИВС 1005.2 «При проектировании конструкций ниже уровня земли необходимо учитывать боковое давление на прилегающий грунт. Если грунтовые нагрузки не указаны в отчете об инженерно-геологических изысканиях, утвержденном соответствующим компетентным органом, то в качестве минимальных расчетных боковых нагрузок должны использоваться грунтовые нагрузки, указанные в таблице 3.2-1. Должна учитываться возможная нагрузка от неподвижных или подвижных нагрузок. В тех случаях, когда часть или весь прилегающий грунт находится ниже поверхности свободной воды, расчеты должны основываться на массе грунта, уменьшенной под действием плавучести, и на условиях полного гидростатического давления. Боковое давление грунта должно быть увеличено, если на участке присутствует группа с потенциалом расширения, определенным в результате геотехнического исследования.»

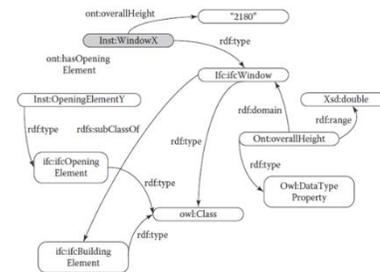
Сигнатура FOL

```

Vx Structure(x) ^ BelowGrade(x) →
    Required(x, lateral pressure) Vx →
    SoilReport(x) → Required(x,
    Table 3.2.1) Vx Structure(x) ^
    BelowGrade(x) ^
    BlelowWaterSurface(x) →
    (Required(x, lateral pressure
    submerged) ^ Required(x, hydrostatic
    pressure)) Vx Structure(x) ^
    BelowGrade(x) ^ ExpansiveSoil(x) →
    Required(x, increase lateral pressure)
    
```

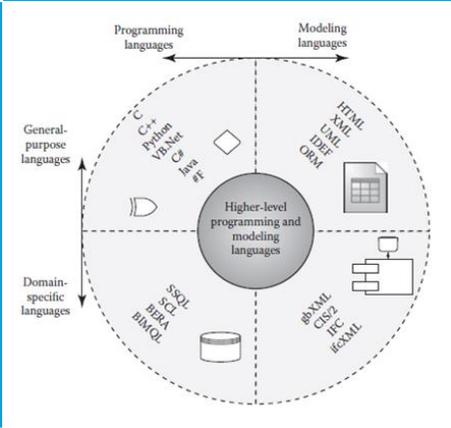
### Расширяемый язык разметки

XML  
 DL  
 Legal XML  
 RASE methodology



### Метод «прямого» кодирования

Python  
 C++  
 .NET  
 Java



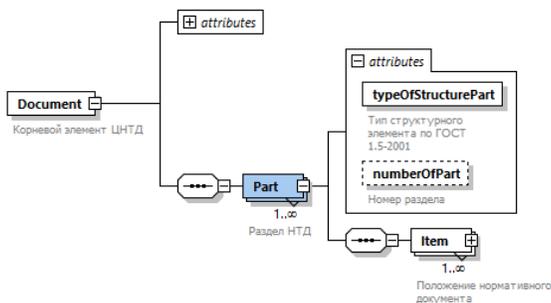
### Логика первого порядка

FOL  
 Экспертные системы  
 Машины логического вывода

| Форма представления     | Представление  |
|-------------------------|--|
| Текстовое представление | $x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$   |
| MathML                  | <pre> &lt;?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?&gt; &lt;element xmlns="http://www.w3.org/1998/Math/MathML" display="block"&gt; &lt;mi&gt;x&lt;/mi&gt; &lt;mo&gt;= &lt;/mo&gt; &lt;mfrac&gt; &lt;mrow&gt; &lt;mo&gt;-&lt;/mo&gt; &lt;mi&gt;b&lt;/mi&gt; &lt;mo&gt;-&lt;/mo&gt; &lt;mi&gt;b&lt;/mi&gt; &lt;mo&gt;+&lt;/mo&gt; &lt;msqrt&gt; &lt;msup&gt;&lt;mi&gt;b&lt;/mi&gt;&lt;/msup&gt;&lt;/msqrt&gt; &lt;mo&gt;-&lt;/mo&gt; &lt;mi&gt;a&lt;/mi&gt; &lt;mo&gt;+&lt;/mo&gt; &lt;/mrow&gt; &lt;/mfrac&gt; &lt;/mrow&gt; &lt;/element&gt;                     </pre> |

### Семантические технологии WEB

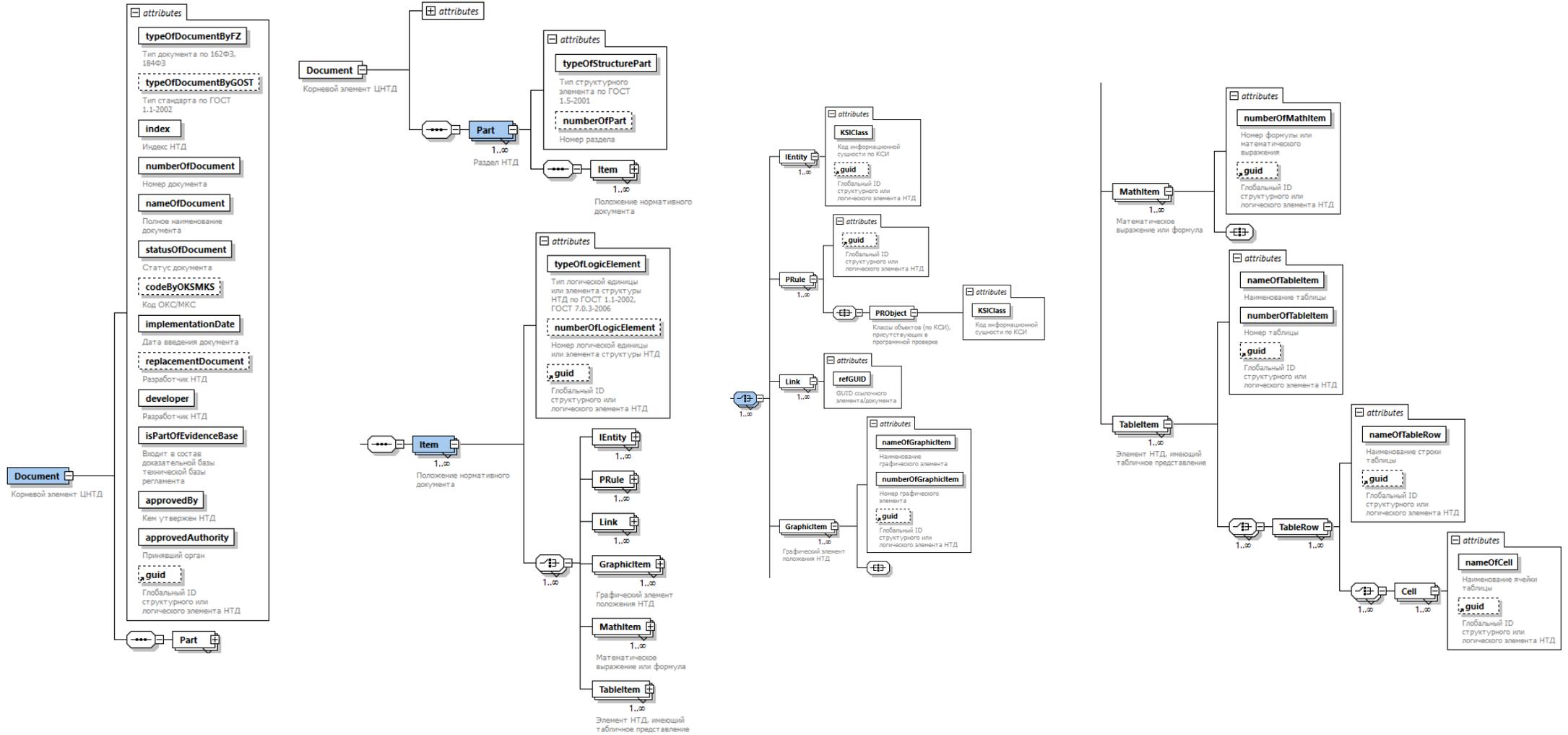
Semantic WEB  
 OWL  
 RIF/SWRL  
 SPARQL



|  | Технология / стандарт   |
|--|---|
| Текстовые данные                             | Расширяемый язык разметки XML   |
| Схема данных                                 | XML Schema  |
| Формула                                      | Язык математической разметки MathML   |
| Диаграмма<br>Номограмма<br>Рисунок<br>График | Язык разметки масштабируемой векторной графики SVG  |
| Проверяемые логические единицы               | Операторы сравнения (<;>;=;!<;<=;>=)<br>Простейшие арифметические операции (+,-)<br>Синтаксис выражений согласно методике кодирования КСИ |
| Перечень типов элементов, значений атрибутов | Классы из КСИ   |
| Хранение данных НТД                          | Файл в формате XML<br>Таблица БД (1 логическая единица – 1 запись)  |
| Извлечение данных                            | Язык запросов XQuery  |

# Разработка схемы данных XML для ЦНТД

Структура ЦНТД в формате XML Schema

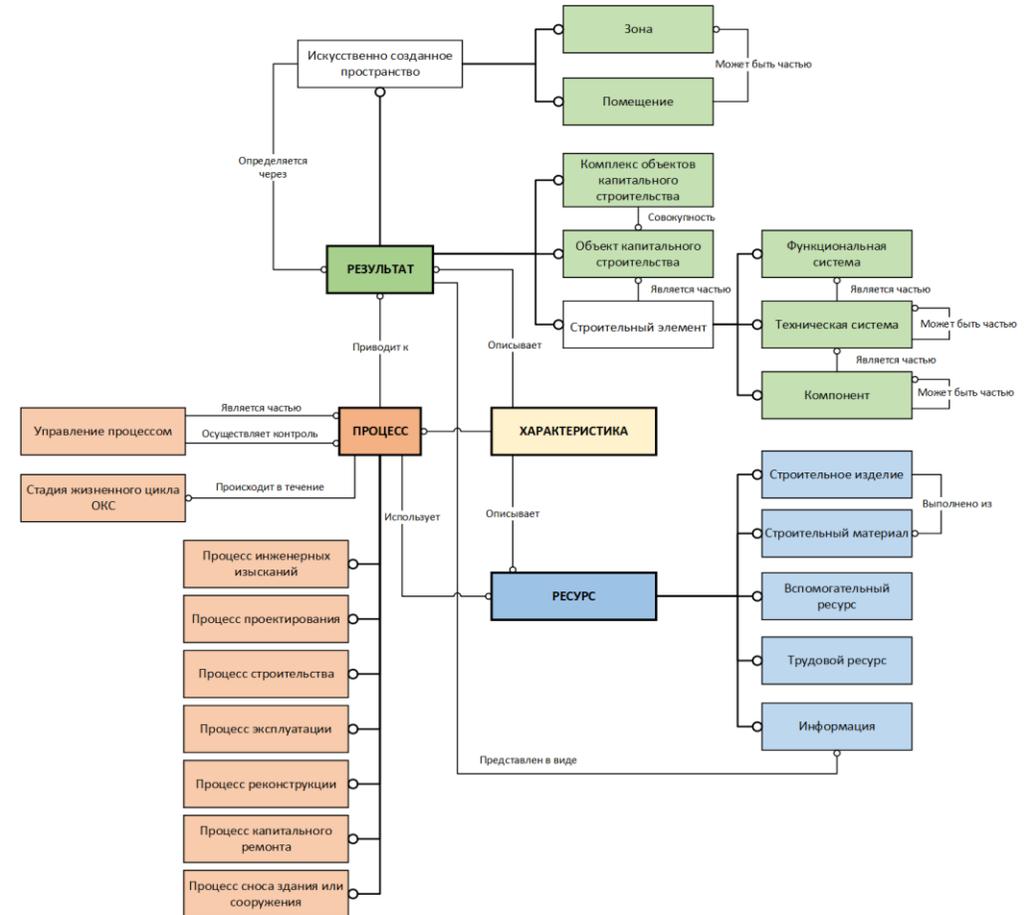


# Структура и состав КСИ

Классы строительной информации и состав КСИ (классификационные таблицы)

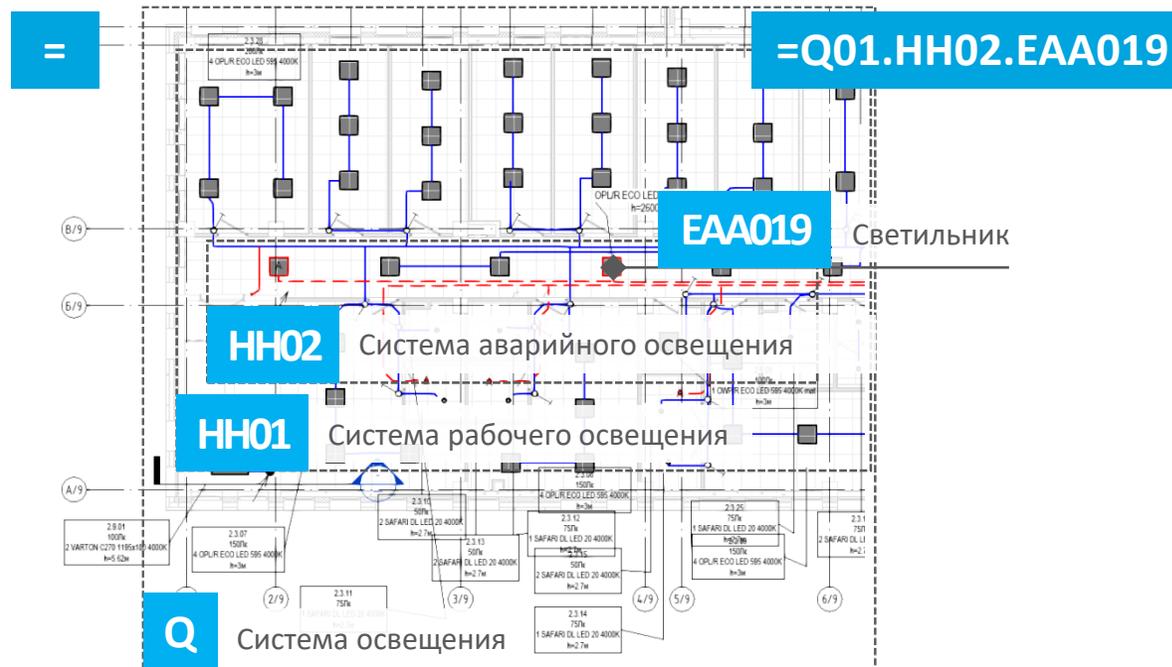
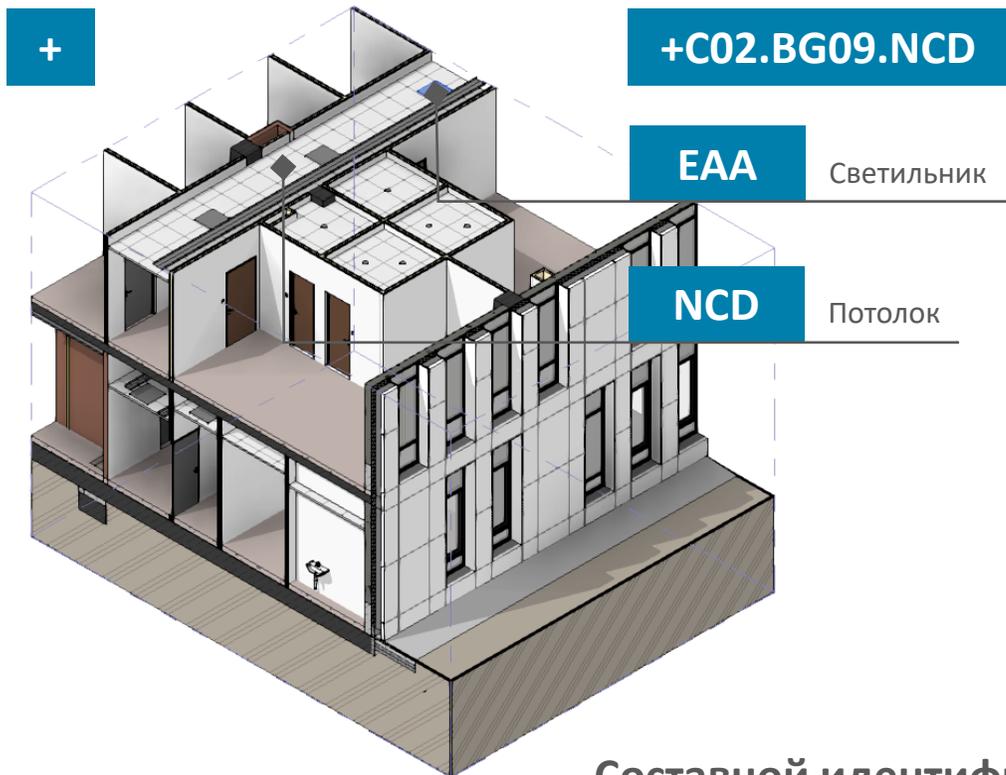


| Номер КТ | Код КТ (Рус / Eng) | Наименование КТ   |
|----------|--------------------|---|
| 1        | ПЗо / RZo          | Помещения и зоны  |
| 2        | КОС / CCo          | Комплексы объектов капитального строительства               |
| 3        | ОКС / CEn          | Объекты капитального строительства                          |
| 4        | ФНС / FnS          | Функциональные системы                                      |
| 5        | ТхС / TeS          | Технические системы   |
| 6        | Ком / Com          | Компоненты  |
| 7        | УПр / Mng          | Управление процессами                                       |
| 8        | СЖЦ / LCS          | Стадии жизненного цикла объектов капитального строительства |
| 9        | ПИИ / PER          | Процессы инженерных изысканий                               |
| 10       | ППр / PDe          | Процессы проектирования                                     |
| 11       | ПСт / PCo          | Процессы строительства                                      |
| 12       | ПЭк / PMn          | Процессы эксплуатации                                       |
| 13       | ПРк / PRe          | Процессы реконструкции                                      |
| 14       | ПКР / PRf          | Процессы капитального ремонта                               |
| 15       | ПСЗ / PUt          | Процессы сноса зданий или сооружений                        |
| 16       | СТИ / CPr          | Строительные изделия  |
| 17       | СтМ / CMa          | Строительные материалы                                      |
| 18       | ВсР / ARe          | Вспомогательные ресурсы                                     |
| 19       | ТрР / Hre          | Трудовые ресурсы  |
| 20       | Инф / Inf          | Информация  |
| 21       | Хрк / Prp          | Характеристики  |



## КСИ. Кодирование СИ

Классификация и кодирование элемента ЭОМ «Светильник аварийной системы освещения»



Составной идентификационный код для элемента «Светильник»

**<L> = Q01.HH02.EAA019 / + C02.BG09.NCD / ++ 09.02.ABV007**

Предметная область

Аспект продукта

Разделитель

Аспект месторасположения (точка установки)

Разделитель

Аспект местоположения (в пространстве)

# Пример представления положений НТД / 1 /

Пример представления проверяемых ЛЕ из СП 17.13330.2017 Кровли. Акт. редакция СНиП II-26-76)



## Текстовое представление

4.3 Уклоны кровель в зависимости от применяемых материалов приведены в таблице 4.1; в ендовах уклон кровли принимают в зависимости от расстояния между воронками, но не менее 0,5%.

## XML

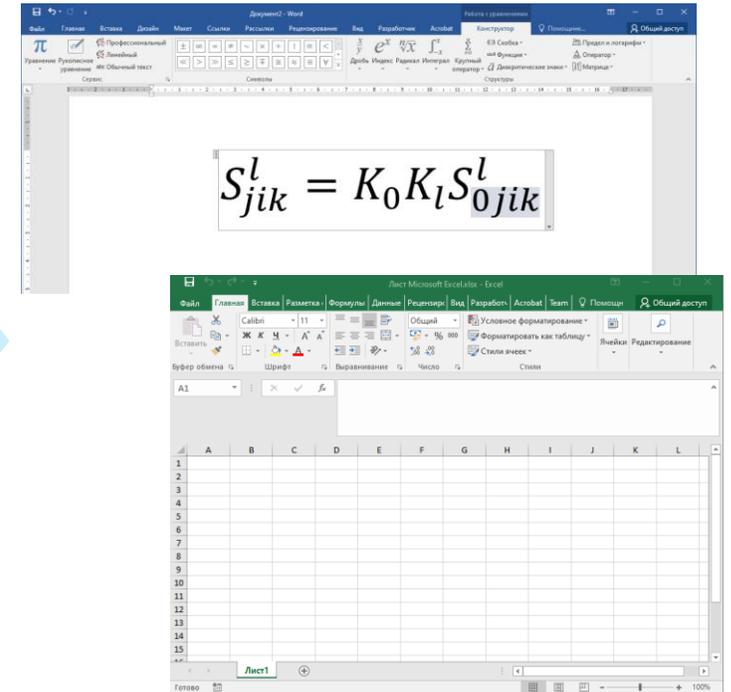
```
<? xml version="1.0" encoding = "UTF-8" ?>
...
<item number="4.3" guid="17.13330.2017-i4.3"
type="requirement" object="[Com]NCE"
properties="[Prp]SPG_0002"
refid="17.13330.2017-t4.1">
...
<element type="reference" refid="17.13330.2017-t4.1">
в таблице 4.1
</element>
<element type="rule">
[Com]NCE{SPG_0002}>=0.5}
</element>
...
</item>
...
```

КСИ + СК

- Autodesk Navisworks
- SOLIBRI Model Checker
- UpCodes AI



|  |  |
|--|--|
| <p>Текстовое представление<br/>+<br/>формула</p> | <p>5.19 Расчетная сейсмическая нагрузка для здания и сооружения определяется по формулам:</p> $S_{jik}^l = K_0 K_l S_{0jik}^l$   |
| <p>Math ML</p>                                   | <pre> ... &lt;math xmlns="http://www.w3.org/1998/Math/MathML"&gt; &lt;mstyle displaystyle="true"&gt; &lt;mrow class="MJX-TeXAtom-ORD"&gt; &lt;msubsup&gt; &lt;mi&gt;S&lt;/mi&gt; &lt;mrow class="MJX-TeXAtom-ORD"&gt; &lt;mi&gt;j&lt;/mi&gt; &lt;mi&gt;i&lt;/mi&gt; &lt;mi&gt;k&lt;/mi&gt; &lt;/mrow&gt; &lt;mrow class="MJX-TeXAtom-ORD"&gt; &lt;mi&gt;l&lt;/mi&gt; &lt;/mrow&gt; &lt;/msubsup&gt; &lt;mo&gt;=&lt;/mo&gt; &lt;msub&gt; &lt;mi&gt;K&lt;/mi&gt; &lt;mrow class="MJX-TeXAtom-ORD"&gt; &lt;mn&gt;0&lt;/mn&gt; &lt;/mrow&gt; &lt;/msub&gt; &lt;msub&gt; &lt;mi&gt;K&lt;/mi&gt; &lt;mrow class="MJX-TeXAtom-ORD"&gt; &lt;mi&gt;l&lt;/mi&gt; &lt;/mrow&gt; &lt;/msub&gt; &lt;msubsup&gt; &lt;mi&gt;S&lt;/mi&gt; &lt;mrow class="MJX- TeXAtom-ORD"&gt; &lt;mn&gt;0&lt;/mn&gt; &lt;mi&gt;j&lt;/mi&gt; &lt;mi&gt;i&lt;/mi&gt; &lt;mi&gt;k&lt;/mi&gt; &lt;/mrow&gt; &lt;mrow class="MJX- TeXAtom-ORD"&gt; &lt;mi&gt;l&lt;/mi&gt; &lt;/mrow&gt; &lt;/msubsup&gt; &lt;/mrow&gt; &lt;/mstyle&gt; &lt;/math&gt; ... </pre> |



# Пример представления положений НТД / 3 /

Пример представления графических данных из СП 14.13330.2018 Строительство в сейсмических районах



Текстовое  
представление  
+  
Рисунок

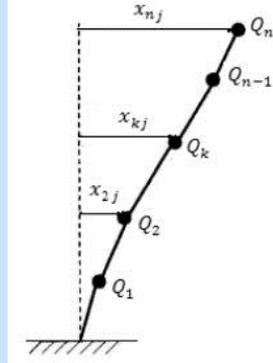


Рисунок 5.2 – Консольная РДМ

SVG

```
<svg id="Layer_1" data-name="Layer 1" xmlns="http://www.w3.org/2000/svg" viewBox="0 0 227.64 270.71"><defs><style>.cls-1,.cls-5,.cls-6,.cls-7{fill:#231f20;.cls-1,.cls-2,.cls-3,.cls-4{stroke:#231f20;stroke-miterlimit:10;.cls-2,.cls-3,.cls-4{fill:none;.cls-2{stroke-width:2px;.cls-4{stroke-dasharray:3.95 3.95;.cls-5{font-size:18px;.cls-5,.cls-7{font-family:TimesNewRomanPS-ItalicMT, Times New Roman;.cls-5,.cls-6,.cls-7{font-style:italic;.cls-6{font-size:9px;font-family:Arial-ItalicMT, Arial;.cls-7{font-size:12px;</style></defs><title>Drawing_1</title><circle class="cls-1" cx="161.81" cy="25.19" r="6"><circle class="cls-1" cx="142.47" cy="63.86" r="6"><circle class="cls-1" cx="113.81" cy="112.19" r="6"><circle class="cls-1" cx="56.14" cy="219.19" r="6"><line class="cls-2" x1="40.67" y1="264.36" x2="56.14" y2="219.19"><line class="cls-2" x1="56.14" y1="219.19" x2="76.81" y2="170.19"><line class="cls-2" x1="76.81" y1="170.19" x2="113.81" y2="112.19"><line class="cls-2" x1="113.81" y1="112.19" x2="142.47" y2="63.86"><line class="cls-2" x1="142.47" y1="63.86" x2="161.81" y2="25.19"><line class="cls-3" x1="40.67" y1="264.36" x2="40.67" y2="262.36"><line class="cls-4" x1="40.67" y1="258.41" x2="40.67" y2="23.17"><line class="cls-3" x1="40.67" y1="21.19" x2="40.67" y2="19.19"><line class="cls-3" x1="161.81" y1="25.19" x2="40.67" y2="25.19"><line class="cls-3" x1="113.81" y1="112.19" x2="40.67" y2="112.19"><line class="cls-3" x1="76.81" y1="170.19" x2="40.67" y2="170.19"><line class="cls-3" y1="264.36" x2="84.33" y2="264.36"><text class="cls-5" transform="translate(82.81 14.96)"></text><text class="cls-6" transform="translate(92.64 15.64)">nj</text><text class="cls-6" transform="translate(80.64 98.55)">kj</text><text class="cls-7" transform="translate(170.47 24.43)">Q</text><text class="cls-6" transform="translate(180.31 26.3)">n</text><text class="cls-7" transform="translate(151.72 69.59)">Q</text><text class="cls-6" transform="translate(161.56 71.47)">n-1</text><text class="cls-7" transform="translate(123.56 118.68)">Q</text><text class="cls-6" transform="translate(133.39 120.55)">k</text><text class="cls-7" transform="translate(86.97 173.68)">Q</text><text class="cls-6" transform="translate(96.81 175.55)">2</text><text class="cls-7" transform="translate(65.89 223.22)">Q</text><text class="cls-6" transform="translate(75.72 225.09)">1</text><text class="cls-6" transform="translate(59.4 161.82)">2j</text><line class="cls-3" x1="1.48" y1="270.44" x2="5.35" y2="264.36"><line class="cls-3" x1="8.65" y1="270.44" x2="12.52" y2="264.36"><line class="cls-3" x1="15.82" y1="270.44" x2="19.69" y2="264.36"><line class="cls-3" x1="23.45" y1="270.44" x2="27.33" y2="264.36"><line class="cls-3" x1="30.62" y1="270.44" x2="34.5" y2="264.36"><line class="cls-3" x1="37.79" y1="270.44" x2="41.67" y2="264.36"><line class="cls-3" x1="45.35" y1="270.44" x2="49.23" y2="264.36"><line class="cls-3" x1="52.52" y1="270.44" x2="56.4" y2="264.36"><line class="cls-3" x1="59.69" y1="270.44" x2="63.57" y2="264.36"><line class="cls-3" x1="67.33" y1="270.44" x2="71.2" y2="264.36"><line class="cls-3" x1="74.5" y1="270.44" x2="78.37" y2="264.36"><text class="cls-5" transform="translate(71.47 95.96)"></text><text class="cls-5" transform="translate(49.75 159.36)">x</text></svg>
```



# Пример проверки ИМ

Реализация программного правила в среде Autodesk Navisworks



## СП 118.13330.2012

4.14.1 По условиям учебного процесса ширина лестничных маршей между этажами в учебном, учебно-лабораторном и лекционно-аудиторном корпусах высших учебных заведений, где на каждом соседнем этаже расчетная численность студентов на этаже более 200, должна быть не менее 1,5 м.

**GET [CHECK]** <L>{-} = \*.XSB.\*

**WHERE**

<E> = АНС

<S>{CNT} > 200

**CONDITION**

<P>{WDT}{MM} >= 1500



Спасибо



ВЛАДИМИР ВОЛКОДАВ

vva@niccps.ru