Интернет-журнал «Транспортные сооружения» https://t-s.today
Russian journal of transport engineering

2018, №4, Том 5 / 2018, No 4, Vol 5 https://t-s.today/issue-4-2018.html

URL статьи: https://t-s.today/PDF/16SATS418.pdf

DOI: 10.15862/16SATS418 (http://dx.doi.org/10.15862/16SATS418)

Статья поступила в редакцию 18.10.2018; опубликована 08.12.2018

**Ссылка для цитирования этой статьи:**
Гарибов Р.Б., Овчинников И.И., Овчинников И.Г. Сравнительная оценка безопасности опор освещения, установленных около автомобильной дороги, при действии наезжающего на них автомобиля // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2018 №4, https://t-s.today/PDF/16SATS418.pdf (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/16SATS418

**For citation:**
Garibov R.B., Ovchinnikov I.I., Ovchinnikov I.G. (2018). Comparative assessment of the safety of lighting pillars installed near the road under the action of a car driving over them. *Russian journal of transport engineering*, [online] 4(5). Available at: https://t-s.today/PDF/16SATS418.pdf (in Russian). DOI: 10.15862/16SATS418

**УДК 624.04:539.3**

**Гарибов Рафаил Баширович**
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Балаковский инженерно-технологический институт (филиал), Балаково, Россия
Профессор
Доктор технических наук, доцент
E-mail: garibovr@mail.ru

**Овчинников Илья Игоревич**
ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Саратов, Россия
ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: bridgeart@mail.ru

**Овчинников Игорь Георгиевич**
ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия
ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, Россия
ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Саратов, Россия
Доктор технических наук, профессор
E-mail: bridgesar@mail.ru

# Сравнительная оценка безопасности опор освещения, установленных около автомобильной дороги при действии наезжающего на них автомобиля

**Аннотация.** Рассматривается задача сравнительной оценки безопасности опор освещения, установленных около автомобильной дороги при действии наезжающего на них легкового автомобиля. Отмечается, что исследований, посвященных расчету и моделированию поведения опор освещения при действии на них ударных нагрузок, вызванных наездом автомобиля весьма мало.

Моделируется ситуация съезда условного автомобиля (LADA PRIORA SEDAN) с проезжей части дороги на обочину с последующим наездом на металлическую или железобетонную опору наружного электроосвещения. Скорость автомобиля равна 60 км/ч.

Расчет выполняется методом конечных элементов. Приведены эпюра сжимающих усилий, изгибающего момента, поперечной силы, перемещений.

В результате анализа установлено, что от наезда условного автомобиля на опору наружного электроосвещения в опоре из железобетона возникают усилия, близкие к допускаемым, что при небольших отклонениях от расчетных параметров (например, превышении предельной скорости, возможных дефектах и повреждениях опоры освещения) может привести к обрушению конструкции, в том числе и к возможному падению ее автотранспортное средство.

Следовательно, опора наружного электроосвещения из металла при наезде условного автомобиля по параметрам безопасности и прочности предпочтительней опоры наружного электроосвещения из железобетона.

**Ключевые слова:** опора освещения; пассивная безопасность; металлическая опора; железобетонная опора; композитная опора; наезд на опору; расчет опоры освещения

## Введение

Как известно, безопасность движения транспортных средств на автомобильных дорогах Российской Федерации, да других стран зависит от уровня подготовки, а также мастерства водителей, от технического состояния транспортных средств и самой дороги, и искусственных сооружений на ней, от степени насыщенности автомобильных дорог средствами регулирования движения, от уровня освещенности автомобильных дорог и искусственных сооружений на них и т. д.

Следует сразу же отметить, что все указанные факторы напрямую зависят от экономических возможностей страны, от согласованности и эффективности действий различных ведомств и организаций, от которых зависит и состояние дорог, и организация дорожного движения.

К сожалению, и в нашей стране, и за рубежом требования и к транспортному комплексу, и к конструктивному решению транспортных средств, и к участию водителя в процессе движения по автомобильным дорогам совершенствовались в основном путем улучшения систем активной безопасности. Следует отметить, что ввиду значительной протяженности автомобильных дорог в России, причем построенных по старым нормативным требованиям и находящихся не всегда в хорошем состоянии, в настоящее время, по всей видимости, более эффективным является применение методов активной безопасности, как менее капиталоемких. Но при этом следует добиваться повышения и пассивной безопасности автомобильных дорог.

Идея пассивной безопасности транспортных сооружений заключается в снижении тяжести и последствий дорожно-транспортных происшествий изменением траектории движения транспорта, потерявшего управляемость, в снижении нагрузок на транспортное средство при его ударе о препятствие в виде элемента дорожно-транспортного сооружения, в применении различных защитных приспособлений и устройств.

Такими опасными препятствиями в зоне автомобильных дорог могут быть опоры освещения, опоры линий связи, опоры дорожных знаков, опоры путепроводов. Повысить пассивную безопасность таких препятствий можно отодвигая их от проезжей части дорог, применяя более безопасные конструкции элементов транспортных сооружений или используя какие-либо меры их защиты.


Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Интересно, что наезды на опасные препятствия в большинстве происходят в населенных пунктах, где действует ограничение скорости движения, причем чем крупнее населенный пункт, тем этих наездов меньше.

Причем большее количество наездов наблюдается в холодные периоды года, когда состояние покрытия и обочин неудовлетворительное, повышается скользкость, на них образуется гололед, для борьбы с которым используются различные противогололедные средства. При увеличении скользкости покрытий водители транспортных средств для того, чтобы избежать более тяжелых последствий наезда, нередко предпочитают наезд на прочное, но менее опасное препятствие, в качестве которого осенью и зимой нередко выступают опоры освещения, размещающиеся на обочинах автомобильных дорог или на разделительных полосах. Как ни странно, летом наезду чаще подвергаются стволы деревьев, растущих в полосе отвода автодороги.

Наезд на массивные малоэнергоемкие элементы, такие как опоры освещения (особенно железобетонные) приводит к появлению особенно тяжелых травм. Статистика показывает, что наезд легковых автомобилей на жесткие массивные опоры освещения приводит к увеличению смертельных случаев в четыре раза по сравнению с наездами на ограждающие устройства.

В связи со сказанным представляет интерес провести сравнительную оценку безопасности опор освещения, установленных около автомобильной дороги при действии наезжающего на них легкового автомобиля.

## Состояние проблемы

Опоры стационарного электрического освещения бывают, в основном, трех видов: металлические, железобетонные и полимерные композитные[1].

Металлические опоры эксплуатируются в зонах с среднемесячной минимальной температурой воздуха до минус 40 градусов. Железобетонные же опоры применяются при расчетной температуре воздуха до минус 55 градусов.

Металлические опоры могут иметь или круглое, или многогранное поперечное сечение и по длине иметь либо цилиндрическую, либо коническую форму.

Железобетонные опоры могут иметь поперечное сечение различной формы: круглое с внутренней полостью; круглое сплошное; прямоугольное с внутренней полостью; прямоугольное сплошное; многогранное с внутренней полостью; многогранное сплошные. По длине форма железобетонных опор может быть конической, пирамидальной, цилиндрической, призматической.

Более детальные требования к указанным видам опор приведены в стандарте[1].

К сожалению, что наши попытки найти и проанализировать работы, посвященные расчету и моделированию поведения опор освещения при действии на них различных нагрузок, оказались не очень эффективными. Поэтому кратко рассмотрим те работы, которые удалось обнаружить.

Существует определенное количество учебных пособий, посвященных расчету и конструированию не столько опор освещения, сколько опор линий электропередачи [1, 2, 3, 4].

---

[1] Дороги автомобильные общего пользования. Опоры стационарного электрического освещения. Технические требования. Межгосударственный стандарт ГОСТ 32947-2014. 23 с.

Недавно была защищена кандидатская диссертация, посвященная неразрушающему контролю деревянных опор линий электропередачи методом свободных колебаний [5]. Рассмотрению этих вопросов посвящены статьи [6, 7].

Вопросы диагностики железобетонных опор линий электропередач рассмотрены в статье [8, 9, 10, 11].

Определенный интерес представляет статья [12], в которой рассмотрены характеристики новых опор из полимерных композитных материалов в сравнении с железобетонными опорами. В качестве преимуществ полимерных композитных опор отмечаются: повышенная долговечность от 65 до 125 лет (справедливости ради следует сказать, что это только слова, ибо такая долговечность только декларируется, но экспериментально ничем не подтверждается); хорошая сопротивляемость действию коррозионных процессов; легкость и компактность и как следствие этого, удобство транспортировки и монтажа; возможность подобрать необходимую цветовую гамму и поддерживать ее в процессе эксплуатации; большая устойчивость к действию ветровых нагрузок, обледенению, налипанию снега из-за большей энергоемкости. Однако стоимость опор из полимерных композитных материалов более чем в 3 раза превышает стоимость железобетонных опор.

Следует также отметить, что полимерные композитные опоры освещения применяются в Европе более десяти лет, и на расширение сферы их применения большое влияние оказал стандарт пассивной безопасности EN 12767:2000, ибо опоры из полимерных композитных материалов при наезде автомобилей деформируются, гася энергию удара и защищая жизнь водителя и пассажиров этих автомобилей.

Однако наличие металлических элементов в конструкции полимерных композитных опор несколько снижает их эффективность с точки зрения противодействия коррозии.

Поэтому интерес представляет исследование [13], в котором предложены методы определения коррозионного состояния [14] железобетонных опор контактной сети. Эти же вопросы анализируются в статье [15].

Авторами статьи [16] численно исследовано изменение несущей способности центрифугированных опор линий электропередач при изменении прочности бетона. Вопросы применения высокопрочного бетона для изготовления опор линий электропередач рассмотрены в работах [17, 18, 19].

Могут представлять также интерес стандарты организации, в которых рассматриваются опоры металлические наружного освещения[2].

К сожалению, в доступной авторам литературе не удалось найти достаточно корректного расчетного анализа взаимодействия опор освещения с автомобилем при его наезде на опору.

## 1. Постановка задачи

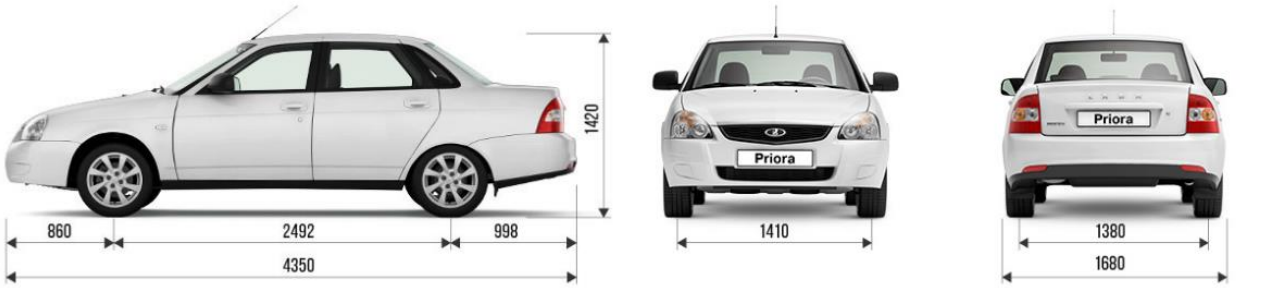
Моделируется ситуация съезда условного автомобиля (LADA PRIORA SEDAN) с проезжей части дороги на обочину с последующим наездом на опору наружного

[2] Стандарт организации СТО 05765820-03-2015. Опоры металлические наружного освещения и контактной сети городского электрического транспорта. Технические условия. АО «Комплексный технический центр «Металлоконструкция». Ульяновск. 2015. 64 с.

Стандарт организации СТО 15868508-001-2018. Металлические опоры для наружного освещения. Технические условия. Общество с ограниченной ответственностью «ТОЧИНВЕСТШЗМК». Шадринск. 2018. 44 с.

электроосвещения. При этом необходимо произвести сравнительную оценку безопасности металлической и железобетонной опор наружного электроосвещения при наезде на них условного автомобиля. Моделирование ситуации происходило при допущении максимально разрешенной скорости в населенных пунктах согласно Правилам Дорожного Движения РФ, равной 60 км/ч.

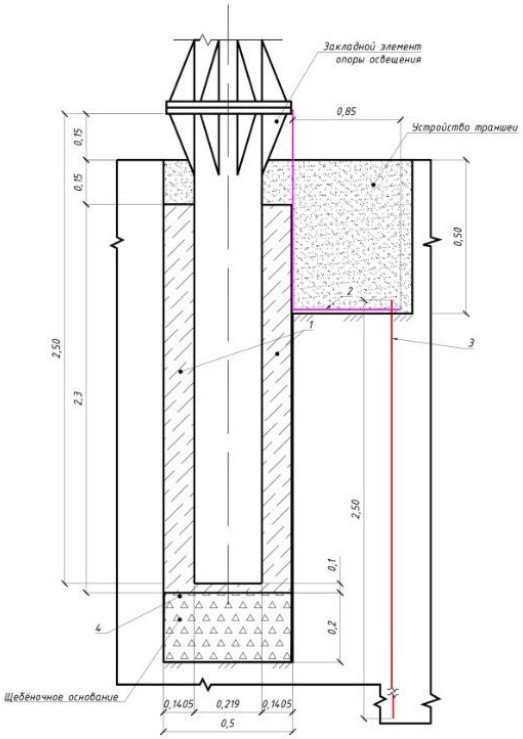
Ниже представлены исходные данные:




| Масса | |
|---|---|
| Снаряженная масса, кг | 1163...1185 |
| Технически допустимая максимальная масса, кг | 1578 |
| Максимальная масса прицепа без тормозной системы / с тормозной системой, кг | 500 / 800 |
| Объем топливного бака, л | 43 |

***Рисунок 1.1.*** *Технические параметры условного автомобиля (LADA PRIORA SEDAN) (составлен авторами)*

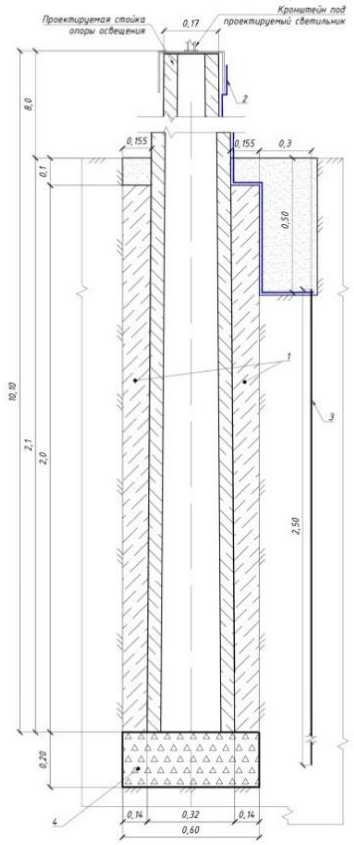
***Рисунок 1.2.*** *Общий вид железобетонной опоры наружного электроосвещения (составлен авторами)*




СПЕЦИФИКАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ, ИЗДЕЛИЙ И МАТЕРИАЛОВ
(на устройство фундамента и заземления 1 стойки СФГ-400(90)-8,0-01-ц)

| Поз. | Обозначение | Наименование | Кол. | Масса ед. кг | Приме-чание |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | ГОСТ 26633-91* | Монолитный бетон В15,F100,W6 | 0,37 | | $м^3$ |
| 2 | ГОСТ 103-78 | Полоса стальная оцинкованная сечением 4х25 мм | 1,5 | | пог. м |
| 3 | ГОСТ 2590-88 | Арматура из круглой оцинкованной стали ВСт3пс5-1, Ф18 AIII, L=2500 мм | 1 | | |
| 4 | ГОСТ8267-93 | Щебень фр. 20-40, М400 | 0,04 | | $м^3$, коэф. на уплот. 1,3 |
| Земляные работы (профильный объём) | | | | | |
| | | Выемка грунта (при бурении) | 0,52 | | $м^3$ |
| | | Обратная засыпка (вручную) | 0,03 | | $м^3$ |
| | | Выемка/засыпка траншеи (вручную) | 0,13 | | $м^3$ |

***Рисунок 1.3.*** *Схема установки железобетонной опоры (составлен авторами)*




СПЕЦИФИКАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ, ИЗДЕЛИЙ И МАТЕРИАЛОВ
(на устройство фундамента и заземления 1 стойки С 2.55/10.1)

| Поз. | Обозначение | Наименование | Кол. | Масса ед. кг | Приме-чание |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | ГОСТ 26633-2015 | Монолитный бетон В15, F100, W6 | 0,4 | | $м^3$ |
| 2 | ГОСТ 103-2006 | Полоса стальная сечением оцинкованная 4х25 мм | 8,9 | | пог. м |
| 3 | ГОСТ 2590-2006 | Арматура из круглой углеродистой стали оцинкованная ВСт3пс5-1, Ф18 AIII, L=2500 мм | 1 | | шт. |
| 4 | ГОСТ 8267-93 | Щебень, фр.20-40, М800 | 0,06 | | $м^3$(коэф. на уплотн. 1,02) |
| Земляные работы (профильный объём) | | | | | |
| | | Выемка грунта (при бурении) | 0,65 | | $м^3$ |
| | | Обратная засыпка (вручную) | 0,013 | | $м^3$ |
| | | Выемка/засыпка траншеи (вручную) | 0,05 | | $м^3$ |

***Рисунок 1.4.*** *Схема установки стальной опоры (составлен авторами)*

| Наименование опоры | Наименование закладного элемента фундамента | Масса*, кг | Обозначение установочного места кронштейна | P, кг | Размеры, мм | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | H | H1 | h1 | Dн | Dв | S | d | n | A | Б |
| СФГ-400(90)-8,0-01**-ц | ЗФ-24/8/Д310-2,5-6 | 140 | Ф4, Ф5 | 400 | 8000 | 8000 | 2500 | 207 | 90 | 4 | M24 | 8 | 400 | 310 |
| СФГ-400(90)-9,0-01**-ц | ЗФ-24/8/Д310-2,5-6 | 158 | Ф4, Ф5 | 400 | 9000 | 8000 | 2500 | 210 | 90 | 4 | M24 | 8 | 400 | 310 |
| СФГ-400-10,0-01**-ц | ЗФ-24/8/Д310-2,5-6 | 178 | Ф4, Ф5 | 400 | 10 000 | 9000 | 2500 | 220 | 90 | 4 | M24 | 8 | 400 | 310 |
| СФГ-700(90)-8,0-01**-ц | ЗФ-30/8/Д380-2,5-6 | 191 | Ф4, Ф5 | 700 | 8000 | 7000 | 2500 | 230 | 90 | 5 | M30 | 8 | 495 | 380 |
| СФГ-700(90)-9,0-01**-ц | ЗФ-30/8/Д380-2,5-6 | 223 | Ф4, Ф5 | 700 | 9000 | 8000 | 2500 | 250 | 90 | 5 | M30 | 8 | 495 | 380 |
| СФГ-700-10,0-01**-ц | ЗФ-30/8/Д380-2,5-6 | 275 | Ф6, Ф7, Ф16 | 700 | 10 000 | 9000 | 2500 | 250 | 120 | 5 | M30 | 8 | 495 | 380 |
| СФГ-1000-8,0-01**-ц | ЗФ-30/12/Д440-3,0-6 | 288 | Ф6, Ф7, Ф16 | 1000 | 8000 | 8000 | 3000 | 275 | 120 | 6 | M30 | 12 | 540 | 440 |
| СФГ-1000-9,0-01**-ц | ЗФ-30/12/Д440-3,0-6 | 344 | Ф6, Ф7, Ф8, Ф16 | 1000 | 9000 | 9000 | 3000 | 300 | 130 | 6 | M30 | 12 | 540 | 440 |
| СФГ-1000-10,0-01-ц | ЗФ-30/12/Д440-3,0-6 | 396 | Ф6, Ф7, Ф8, Ф16 | 1000 | 10 000 | 10 000 | 3000 | 320 | 130 | 6 | M30 | 12 | 540 | 440 |
| СФГ-1300-8,0-01**-ц | ЗФ-30/12/Д440-3,0-6 | 313 | Ф6, Ф7, Ф16 | 1300 | 8000 | 8000 | 3000 | 320 | 120 | 6 | M30 | 12 | 540 | 440 |
| СФГ-1300-9,0-01**-ц | ЗФ-30/12/Д470-3,0-6 | 392 | Ф9, Ф10, Ф15 | 1300 | 9000 | 9000 | 3000 | 340 | 150 | 6 | M30 | 12 | 580 | 470 |
| СФГ-1300-10,0-01**-ц | ЗФ-30/12/Д500-3,0-6 | 451,5 | Ф9, Ф10, Ф15 | 1300 | 10 000 | 10 000 | 3000 | 364 | 150 | 6 | M30 | 12 | 610 | 500 |
| СФГ-1800-9,0-01**-ц | ЗФ-36/12/Д520-3,0-6 | 448 | Ф19 | 1800 | 9000 | 9000 | 3000 | 395 | 180 | 6 | M36 | 12 | 650 | 520 |
| СФГ-1800-10,0-01**-ц | ЗФ-36/12/Д540-3,0-6 | 511 | Ф19 | 1800 | 10 000 | 10000 | 3000 | 420 | 180 | 6 | M36 | 12 | 670 | 540 |
| СФГ-2000-9,0-01**-ц | ЗФ-36/12/Д540-3,0-6 | 476 | Ф19 | 2000 | 9000 | 9000 | 3000 | 420 | 180 | 6 | M36 | 12 | 670 | 540 |
| СФГ-2000-10,0-01**-ц | ЗФ-36/12/Д560-3,0-6 | 546 | Ф19 | 2000 | 10 000 | 10 000 | 3000 | 445 | 180 | 6 | M36 | 12 | 690 | 560 |

P – максимальное горизонтальное усилие в точке опоры на высоте H1
H – высота надземной части опоры
H1 – высота приложения к опоре максимального горизонтального усилия P
h1 – высота закладного элемента фундамента
Dн – диаметр в нижней части опоры
Dв – диаметр в верхней части опоры
S – толщина стенки опоры
d – номинальный диаметр резьбы крепежных изделий
n – количество отверстий во фланце
A – габаритный размер фланца
Б – межосевое расстояние крепежных деталей во фланце

* Указана полная расчетная масса металлоконструкции опоры с учетом покрытия.
** Способ подвода питающего кабеля: 01 – воздушный (базовое исполнение), 02 – внутренний (увеличение указанной массы на 5 кг).

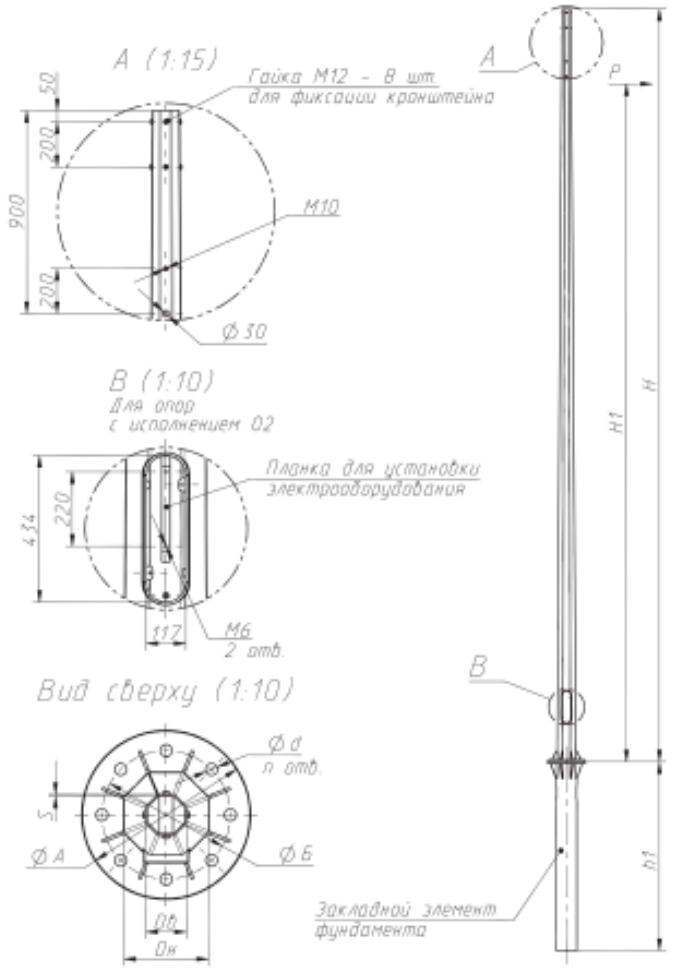



***Рисунок 1.5.*** *Общий вид металлической опоры наружного электроосвещения (составлен авторами)*


Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Железобетонная опора наружного освещения обладает следующими прочностными и геометрическими параметрами:

- изгибающий момент, воспринимаемый сечением, нормальным к продольной оси стойки при образовании трещин $M_т$, **25,5 кН*м** или **2,55 т*м**; масса опоры: **770 кг**; высота опоры: **10,1 м**; диаметр верхней части опоры: **170 мм**; диаметр нижней части опоры: **320 мм**; класс бетона: **В40**.

Металлическая опора наружного освещения обладает следующими прочностными и геометрическими параметрами:

- максимальное горизонтальное усилие в точке опоры на высоте 8,0 м: 400 кг; масса опоры: 140 кг; высота опоры: 8 м; диаметр верхней части опоры: 90 мм; диаметр нижней части опоры: 207 мм; толщина стенки опоры: 4 мм; количество отверстий в фланце: 8 шт.; диаметр отверстий в фланце: М24; межосевое расстояние крепежных деталей во фланце: 310 мм; габаритный размер фланца: 400 мм; посадочное место кронштейна фланец: Ф4, Ф5.

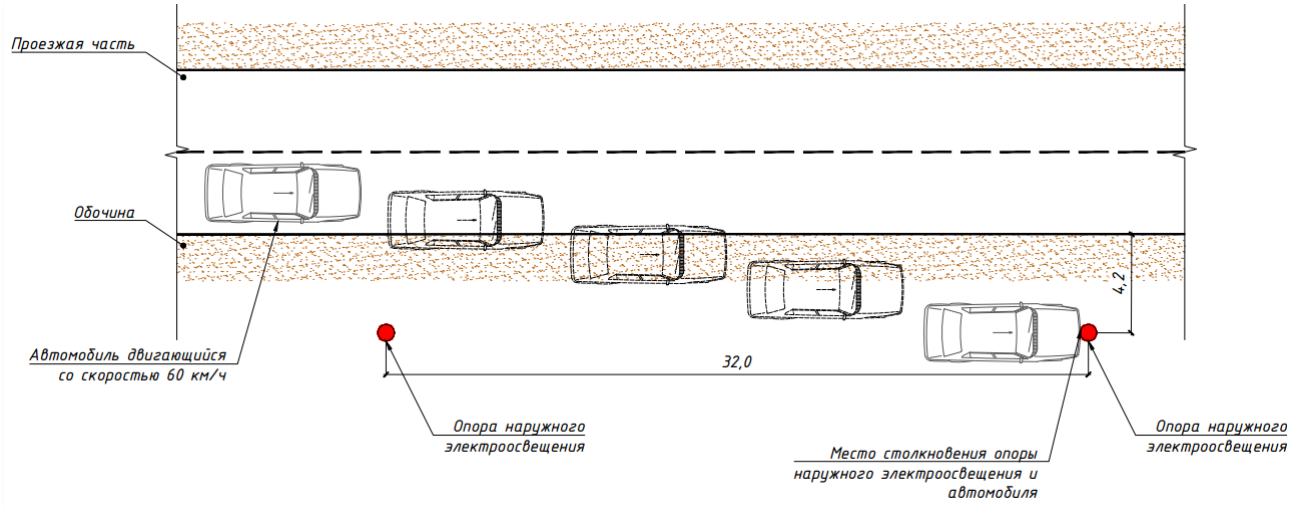



***Рисунок 5.*** *Схема съезда условного автомобиля с проезжей части дороги на обочину и наезда на опору освещения (составлен авторами)*

## 2. Физическое моделирование процесса

Согласно второму закону Ньютона (основному закону динамики):

$$F = m \cdot a, \tag{1}$$

где $m$ = 1578 кг – масса снаряженного условного автомобиля (LADA PRIORA);

$a$ (м/с$^2$) – ускорение условного автомобиля в момент наезда на опору;

$F$ – сила удара автомобиля по поре при наезде его на опору.

Так как известно, что после наезда на столб условный автомобиль полностью остановится, то, применив уравнение движения тела $S = V \cdot \mathrm{t} + \frac{a \cdot t^2}{2}$, найдем ускорение условного автомобиля в момент наезда на опору:

$$a = \frac{2 \cdot (S - V \cdot \mathrm{t})}{t^2}, \tag{2}$$


Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

где S = 1,2 м и 1,5 м – длина зоны деформации при использовании металлической и железобетонной опор соответственно (по данным краштестов на сайте www.testauto.ru); V = 60 км/ч = 16,66 м/с – максимально разрешенная скорость в населенных пунктах согласно Правилам Дорожного Движения РФ; t = 1 с – время до полной остановки условного автомобиля (по данным краштестов на сайте www.testauto.ru).

Подставив указанные данные в формулу (2) получим:

- ускорение для варианта с металлической опорой:

$$a_1 = \frac{2\cdot(S_1 - V\cdot \mathrm{t})}{t^2} = \frac{2\cdot(1{,}2\ \text{м} - 16{,}66\text{м/с}\cdot 1\ \text{с})}{(1\ \text{с})^2} = -30{,}92\ \text{м/с}^2;$$

- ускорение для варианта с железобетонной опорой:

$$a_2 = \frac{2\cdot(S_1 - V\cdot \mathrm{t})}{t^2} = \frac{2\cdot(1{,}5\ \text{м} - 16{,}66\text{м/с}\cdot 1\ \text{с})}{(1\ \text{с})^2} = -30{,}32\ \text{м/с}^2.$$

Подставив полученные значения ускорений в формулу (1) получим:

- значение силы удара условного автомобиля на металлическую опору:

$F_1 = m \cdot a_1$ = 1578 кг ·30,92 м/с$^2$ = 48791,76 Н = 4879,1 кг = **4,879 т**;

- значение силы удара условного автомобиля на железобетонную опору:

$F_2 = m \cdot a_2$ = 1578 кг ·30,32 м/с$^2$ = 47844,96 Н = 4784,4 кг = **4,784 т**.

## 3. Конечно-элементное моделирование процесса наезда на опору

При выполнении расчётного анализа сравниваемых опор с помощью метода конечных элементов были смоделированы конструкции опор освещения, выполненных из:

- железобетонной конической стойки С2.55-10.1 (вариант 1);
- металлической силовой фланцевой граненой опоры СФГ-400(90)-8,0-01 (вариант 2).

Конечно-элементная модель каждой опоры содержит 34 стержневых элемента и 37 узлов.

Глобальные оси «X» и «Y» взаимно перпендикулярны и лежат в горизонтальной плоскости. Ось «Z» направлена вверх и перпендикулярна плоскости «XY».

### 3.1 Предпосылки расчета

При проведении расчета использовались следующие исходные данные, предпосылки и допущения:

1. При выполнении расчетов опора освещения рассматривалась как единая однородная конструкция, моделирование которой выполнялось с использованием стержневых конечных элементов.
2. Каждому стержневому конечному элементу модели заданы граничные условия в соответствии с фактическим закреплением конструкций.
3. Предполагалось, что каждая опора жестко заделана в грунт нижним концом как в стакан, и на изгиб при ударе работает только верхняя часть опоры, располагающаяся выше грунта. Грунт считается абсолютно жестким для обоих

типов опор. Конечно, элементное моделирование выполнялось для всей длины опоры, включая и заглубленную в грунт часть.

4. Бетон считался линейно упругим, одинаково работающим на растяжение и сжатие.

5. Нагрузка от удара автомобиля прикладывалась на высоте 0.6 м от уровня грунта.

### 3.2 Расчетный анализ железобетонной опоры (вариант 1)

Рассмотрим расчетные параметры опоры освещения по варианту 1 – железобетонная коническая стойка С2.55-10.1.

На рисунках 3.8-3.14 приведены результаты компьютерного расчета усилий в железобетонной опоре.

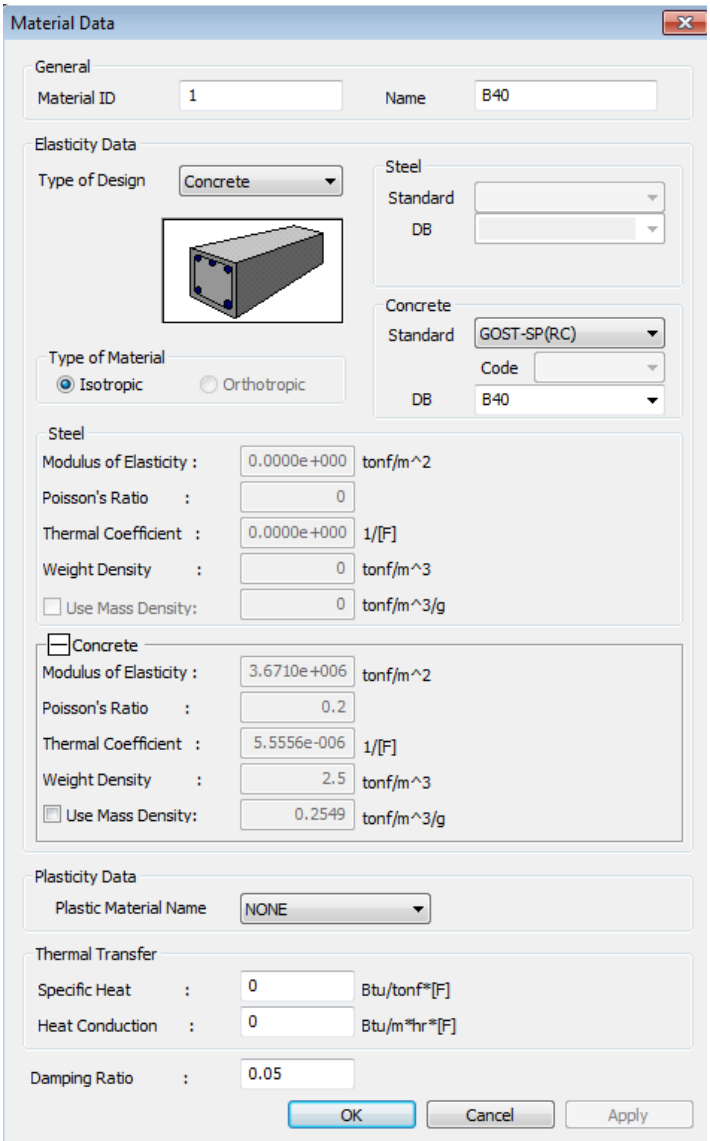



***Рисунок 3.1.*** *Механические характеристики материала опоры по варианту 1 (составлен авторами)*


Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

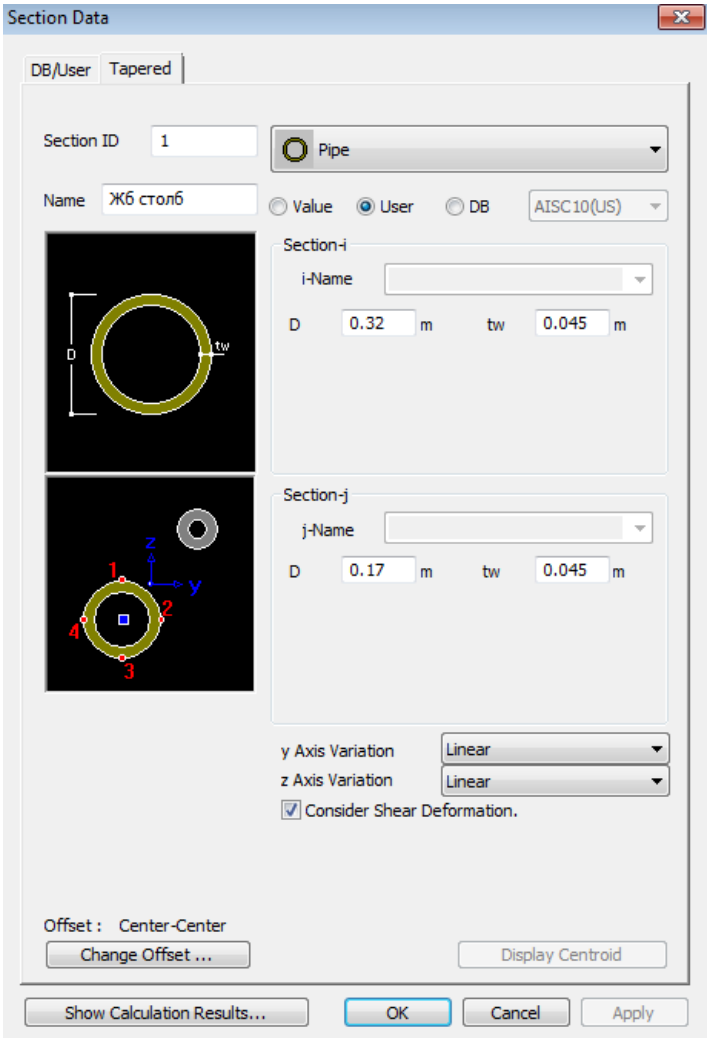



***Рисунок 3.2.*** *Геометрические характеристики опоры освещения (1 вариант – железобетонная коническая стойка С2.55-10.1) (составлен авторами)*

***Рисунок 3.3.*** *Фрагмент несущих элементов конструкции опоры (составлен авторами)*

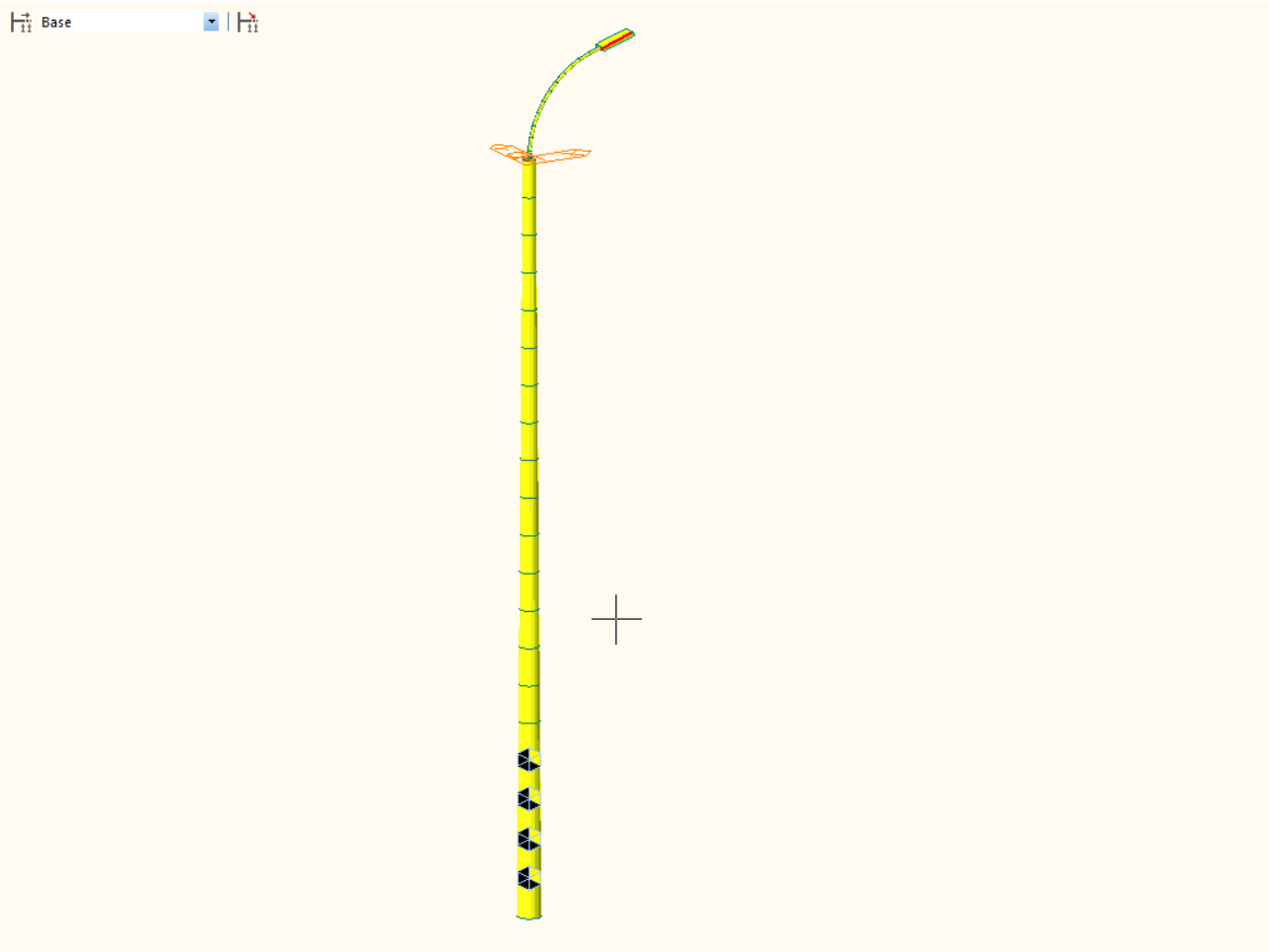



***Рисунок 3.4.*** *Модель рассчитываемой железобетонной опоры (составлен авторами)*

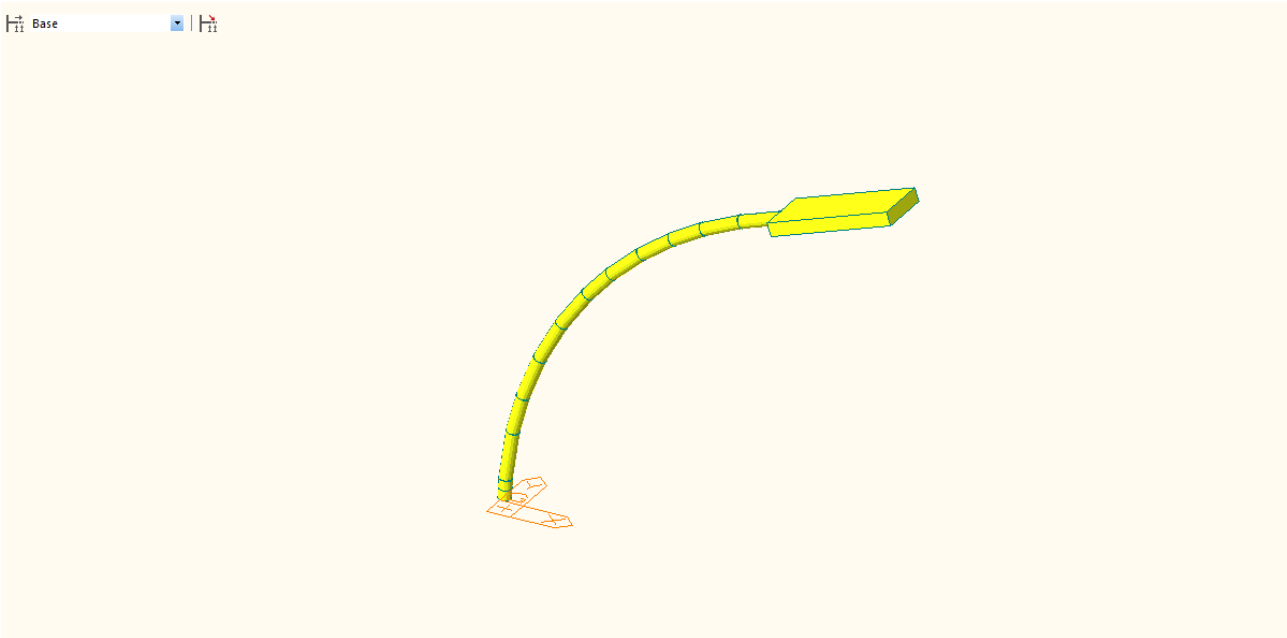



***Рисунок 3.5.*** *Кронштейн для крепления ламп освещения (составлен авторами)*

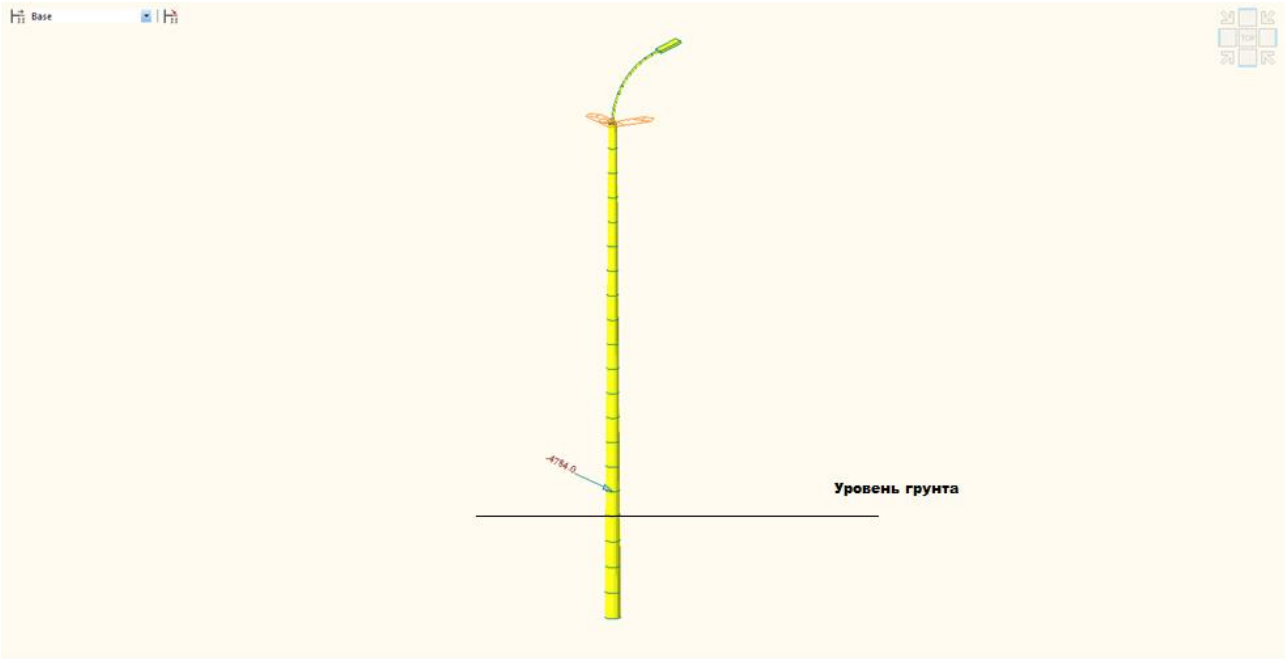



***Рисунок 3.6.*** *Схема приложения нагрузки к опоре от удара расчетного автомобиля (составлен авторами)*

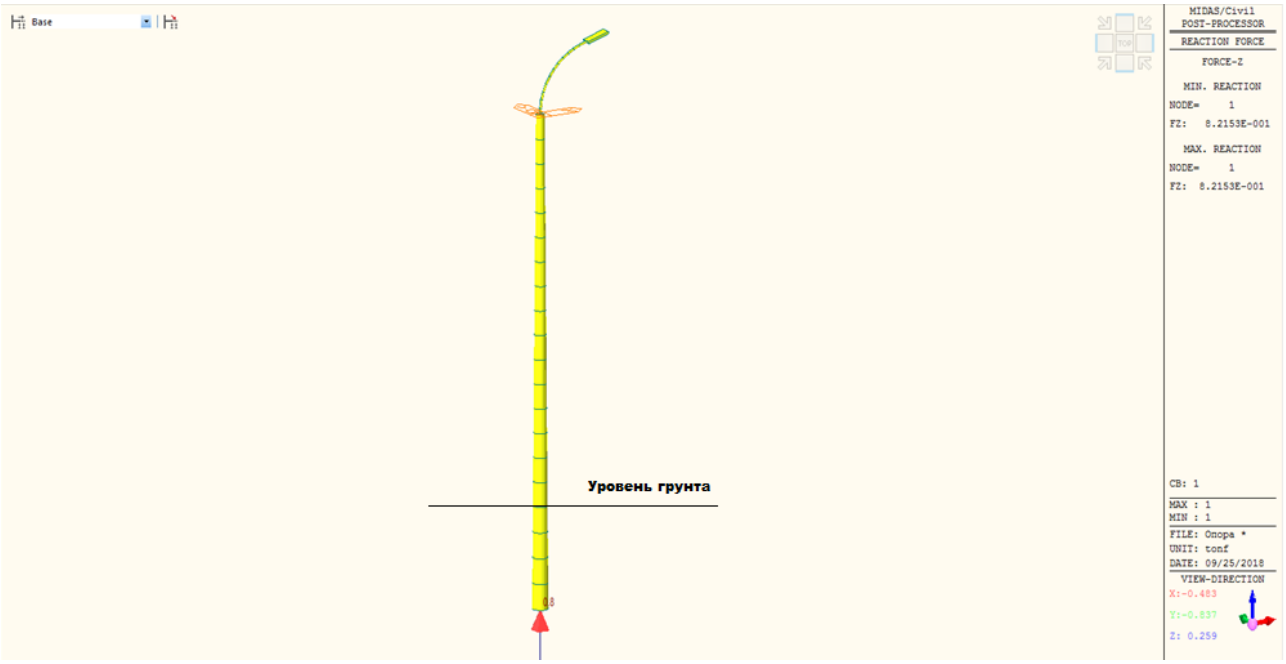



***Рисунок 3.7.*** *Опорная реакция от собственного веса железобетонной конической опоры (наибольшее значение в элементе 1 – 0.82 т*с) (составлен авторами)*

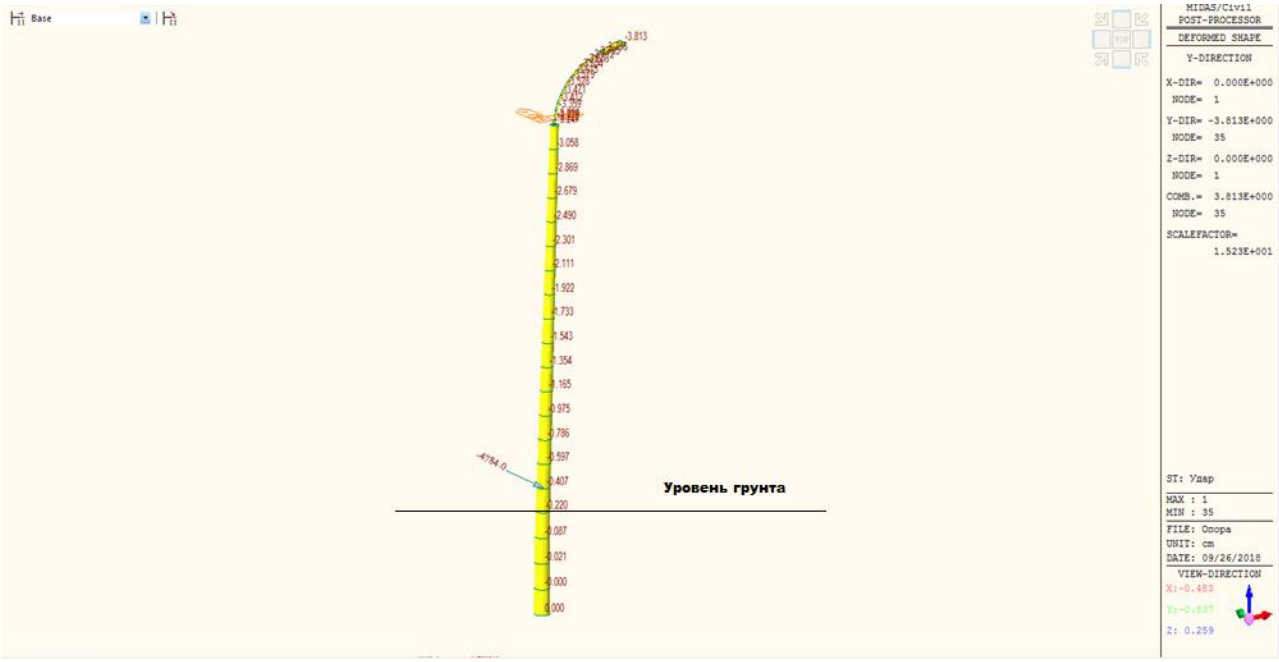



***Рисунок 3.8.*** *Перемещения железобетонной конической опоры от постоянных нагрузок и расчетного удара автомобиля (наибольшее знчение в элементе 35 – 3.2 см) (составлен авторами)*

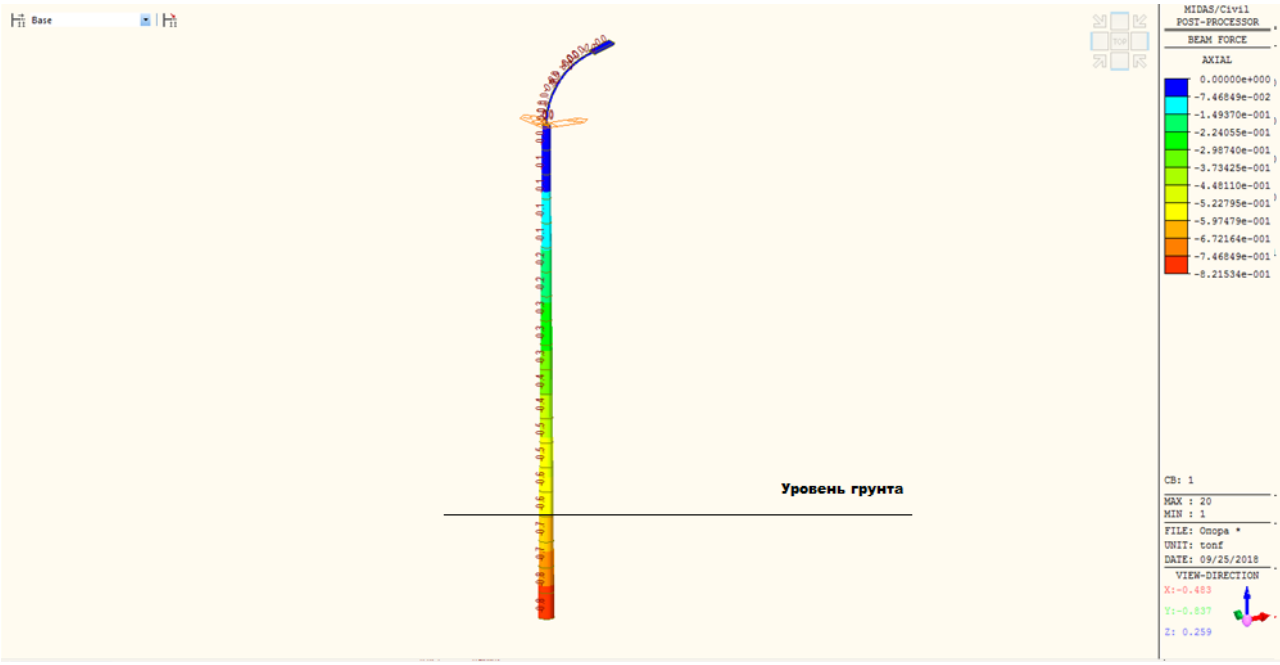



***Рисунок 3.9.*** *Распределение сжимающих усилий N в элементах опоры освещения от постоянных нагрузок и расчетного удара автомобиля (наибольшее усилие в элементе 1 равно 0.82 т*с) (составлен авторами)*

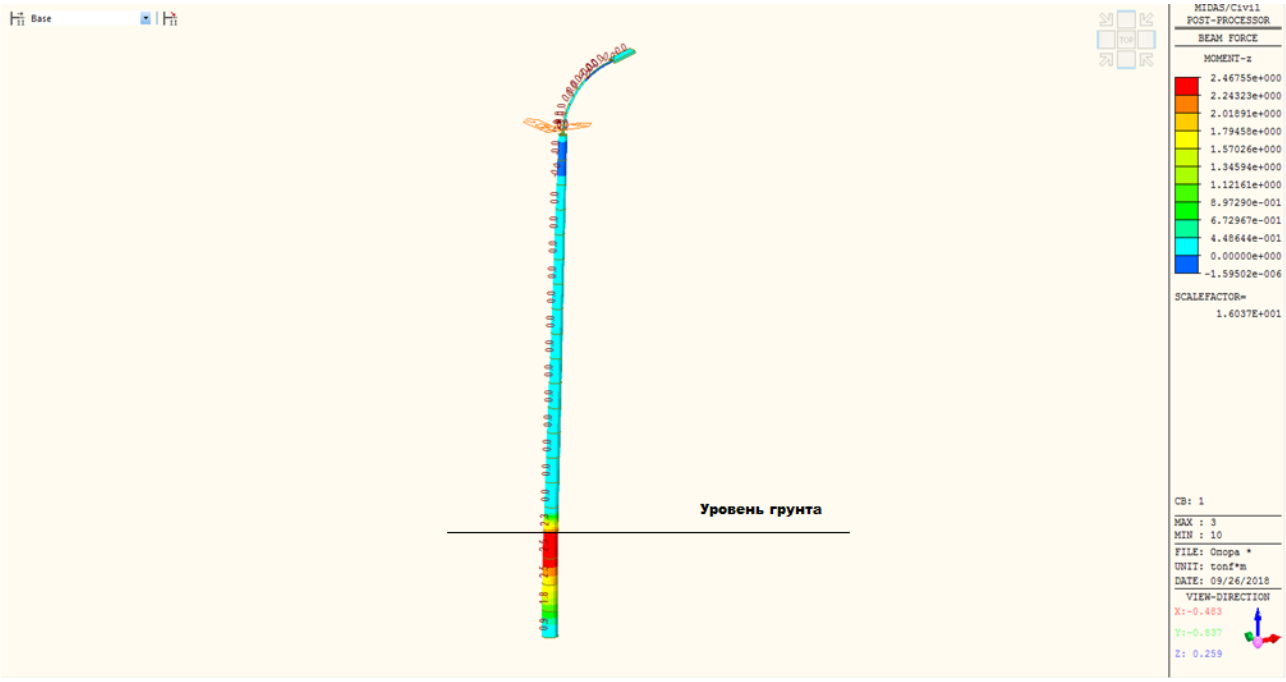



***Рисунок 3.10.*** *Распределение изгибающего момента $M_y$ в элементах опоры освещения от постоянных нагрузок и расчетного удара автомобиля (наибольшее усилие в элементе 3 равно 2.47 тс*м) (составлен авторами)*

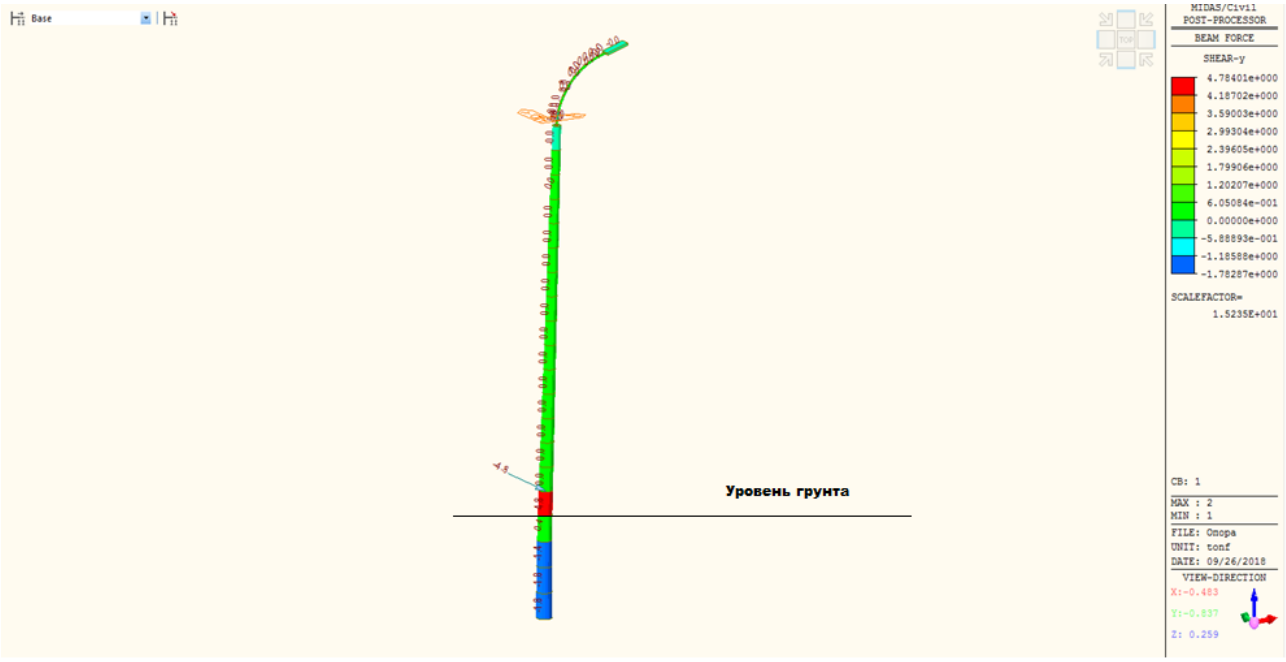



***Рисунок 3.11.*** *Распределение перерезывающих усилий Q в элементах опоры освещения от постоянных нагрузок и расчетного удара автомобиля (наибольшее усилие в элементе 2 равно 4.78 тс) (составлен авторами)*

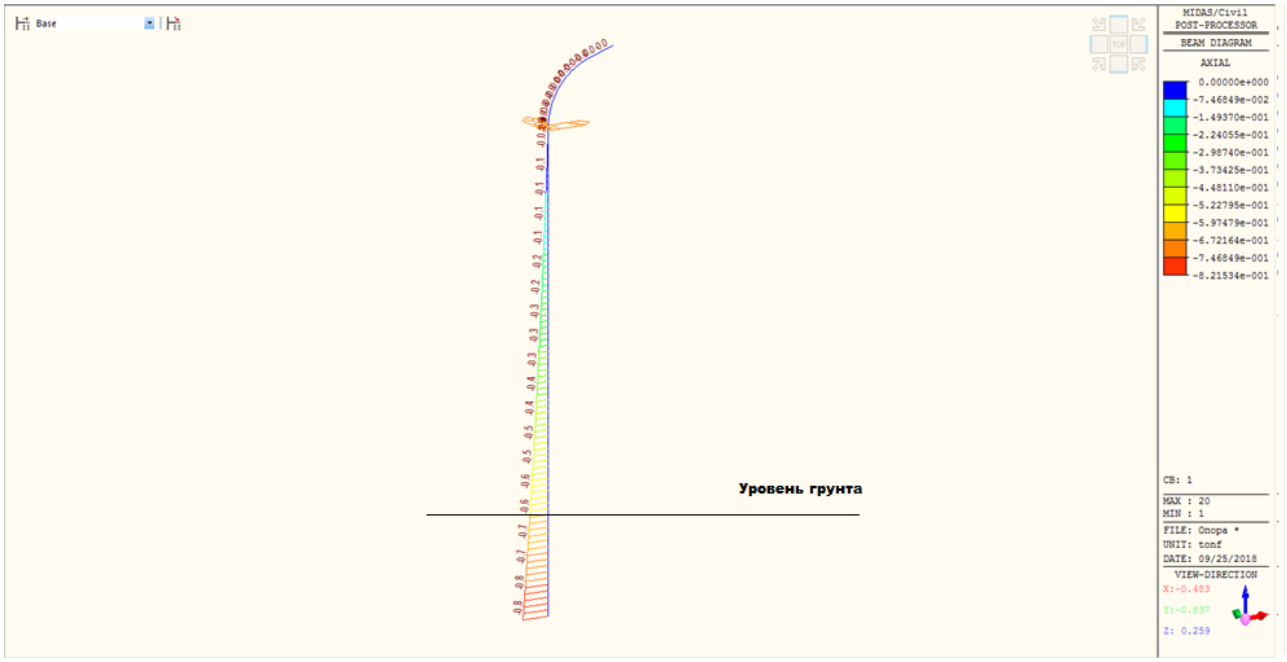



***Рисунок 3.12.*** *Эпюра продольных усилий N в элементах опоры освещения от постоянных нагрузок и расчетного удара автомобиля (наибольшее усилие в элементе 1 равно 0.82 тс) (составлен авторами)*

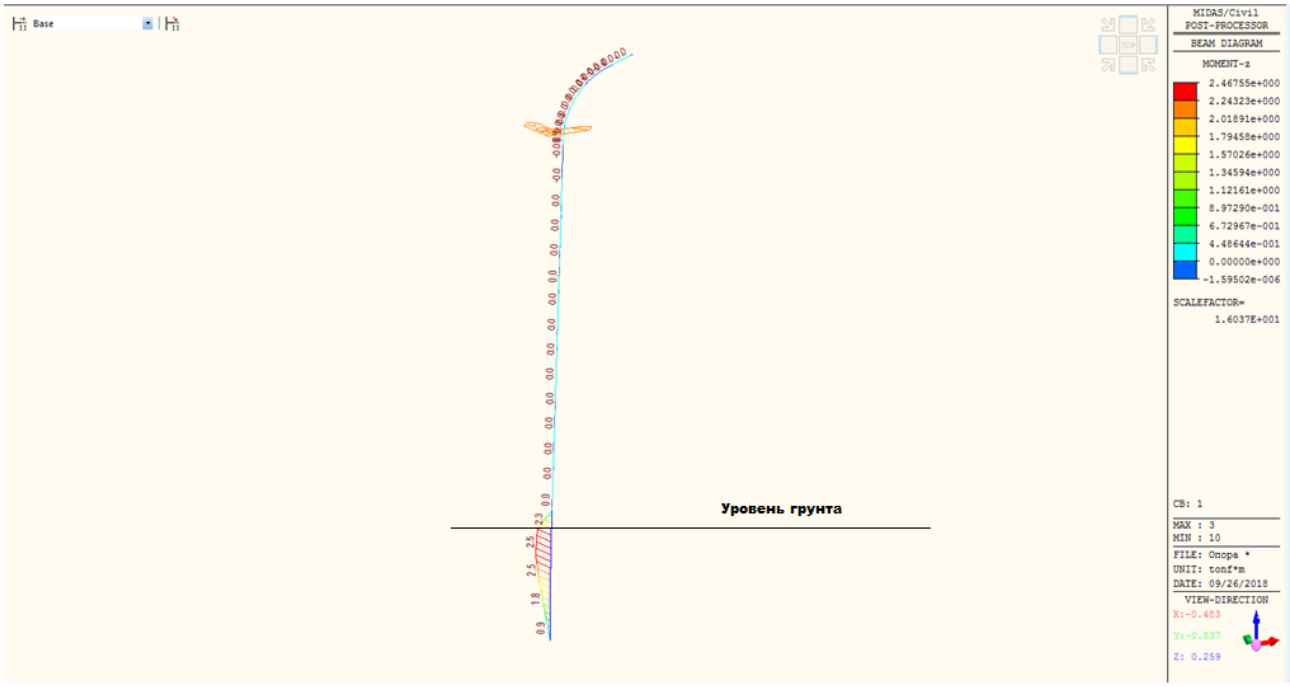



***Рисунок 3.13.*** *Эпюра изгибающего момента $M_y$ в элементах опоры освещения от постоянных нагрузок и расчетного удара автомобиля (наибольшее усилие в элементе 3 равно 2.47 тс*м) (составлен авторами)*


Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

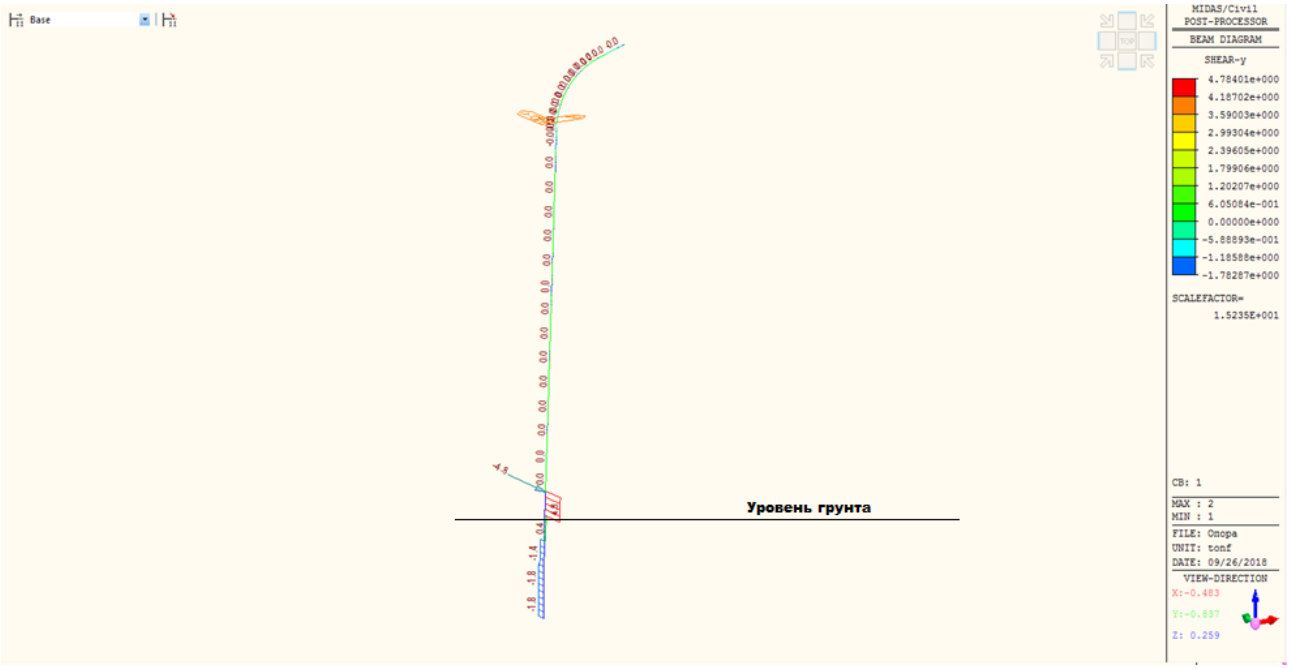



***Рисунок 3.14.*** *Эпюра перерезывающих усилий Q в элементах опоры освещения от постоянных нагрузок и расчетного удара автомобиля (наибольшее усилие в элементе 2 – 4.78 тс) (составлен авторами)*

### 3.3 Расчетный анализ металлической опоры (вариант 2)

Рассмотрим расчетные параметры опоры освещения по варианту 2 – силовая фланцевая граненая опора СФГ-400(90)-8,0-01.

На рисунках 3.20-3.27 приведены результаты компьютерного расчета усилий в железобетонной опоре.

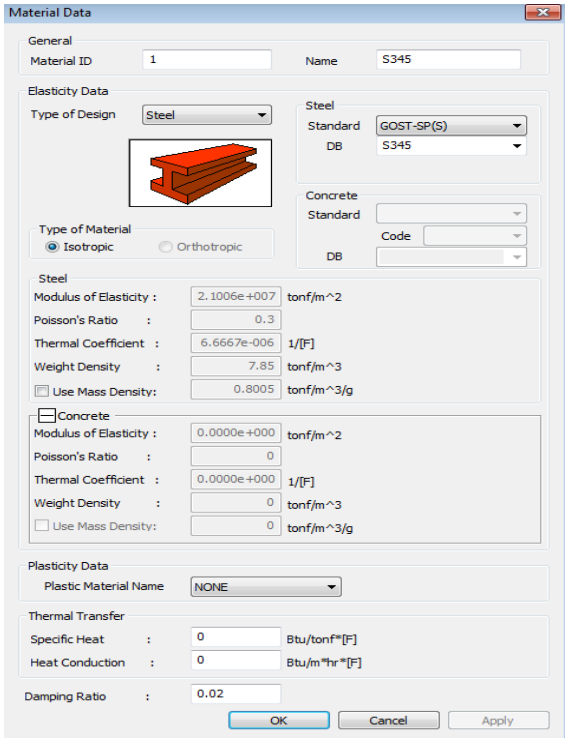



***Рисунок 3.15.*** *Механические характеристики материала опоры (составлен авторами)*

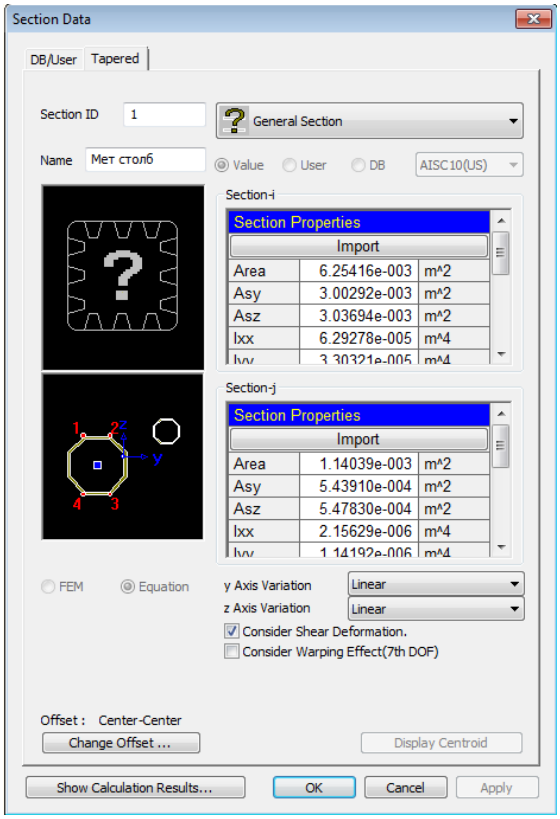



***Рисунок 3.16.*** *Геометрические характеристики сечения опоры освещения (2 вариант – силовая фланцевая граненая опора СФГ-400(90)-8,0-01) (составлен авторами)*

***Рисунок 3.17.*** *Расчетная модель металлической опоры (составлен авторами)*

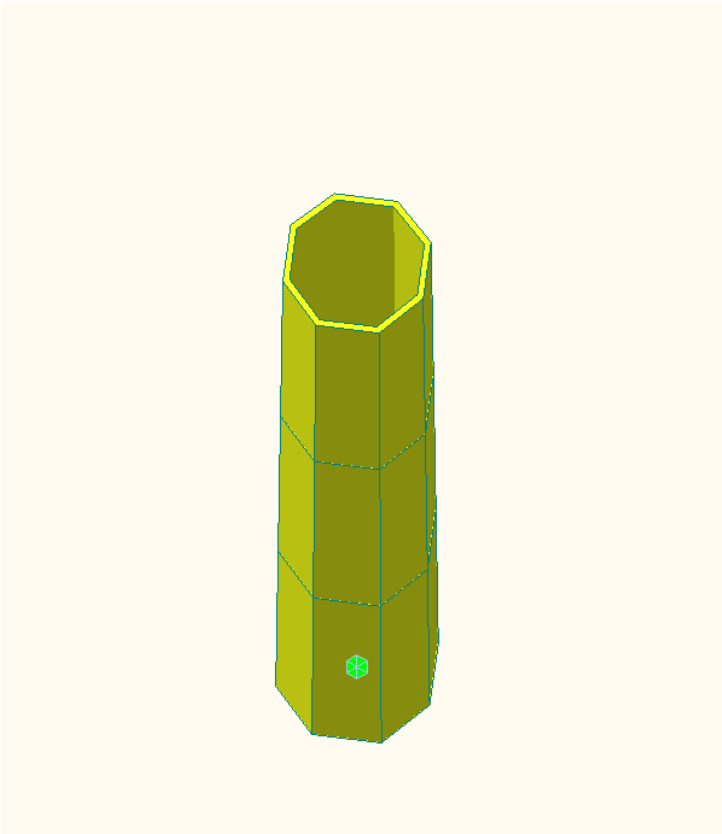


***Рисунок 3.18.*** *Фрагмент несущих элементов конструкции опоры (составлен авторами)*

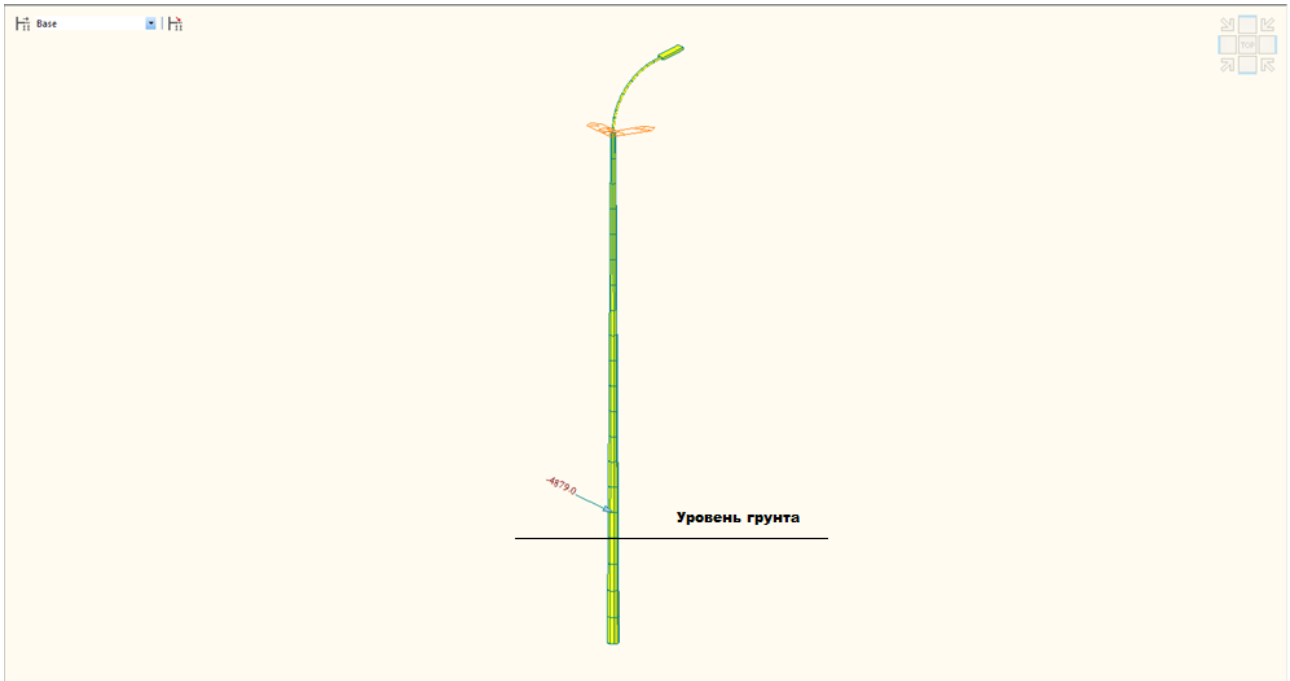



***Рисунок 3.19.*** *Схема приложения нагрузки от удара расчетного автомобиля (составлен авторами)*

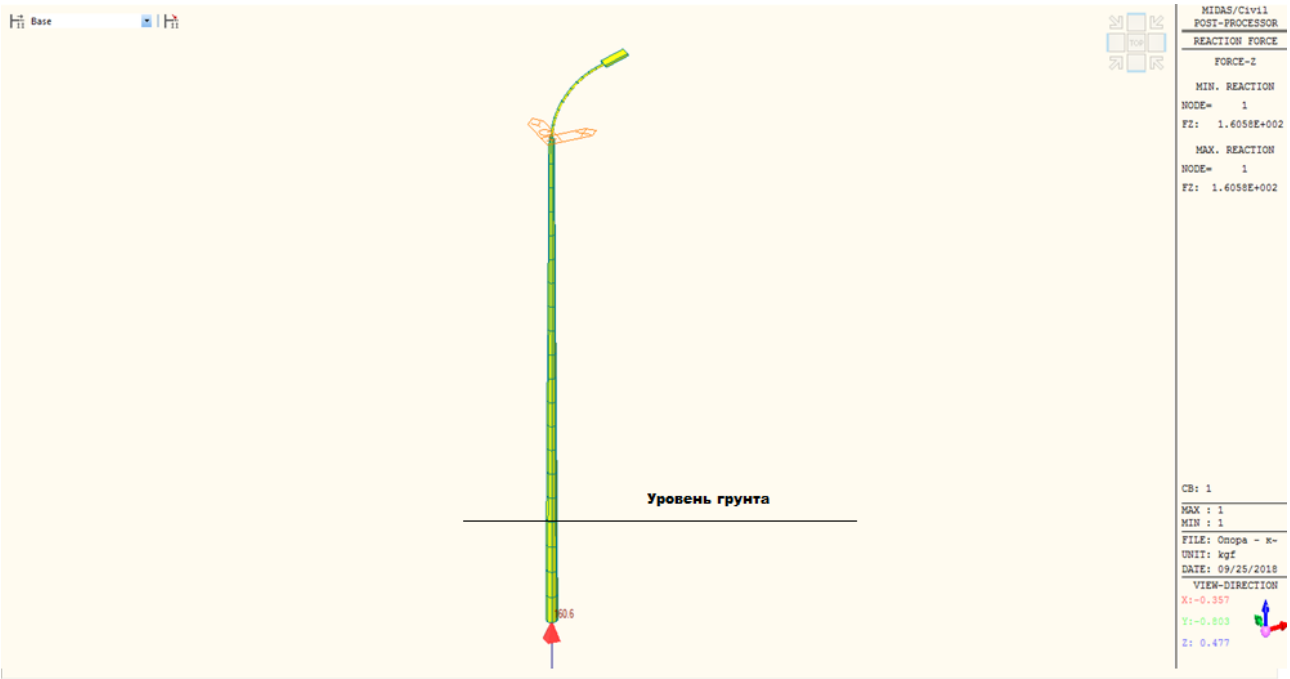



***Рисунок 3.20.*** *Опорная реакция от собственного веса железобетонной конической опоры (наибольшее знчение в элементе 1 – 0.16 тс) (составлен авторами)*

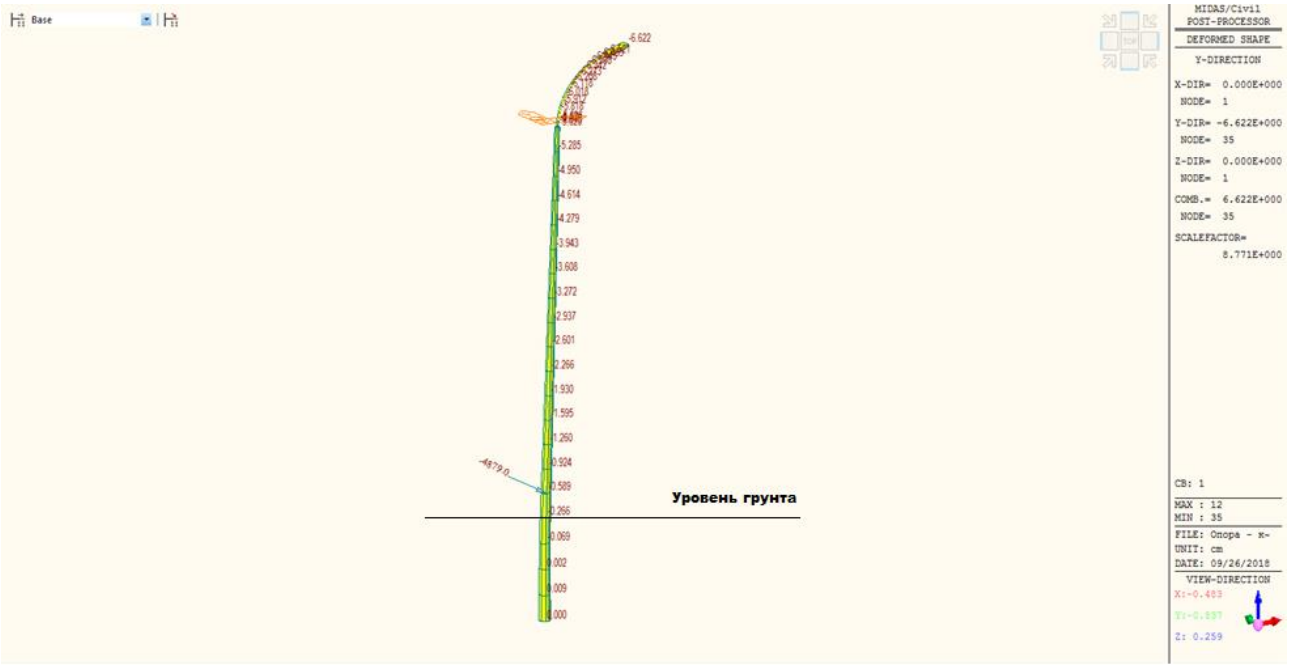



***Рисунок 3.21.*** *Перемещения железобетонной конической опоры от постоянных нагрузок и расчетного удара автомобиля (наибольшее знчение в элементе 35 – 5.62 см) (составлен авторами)*

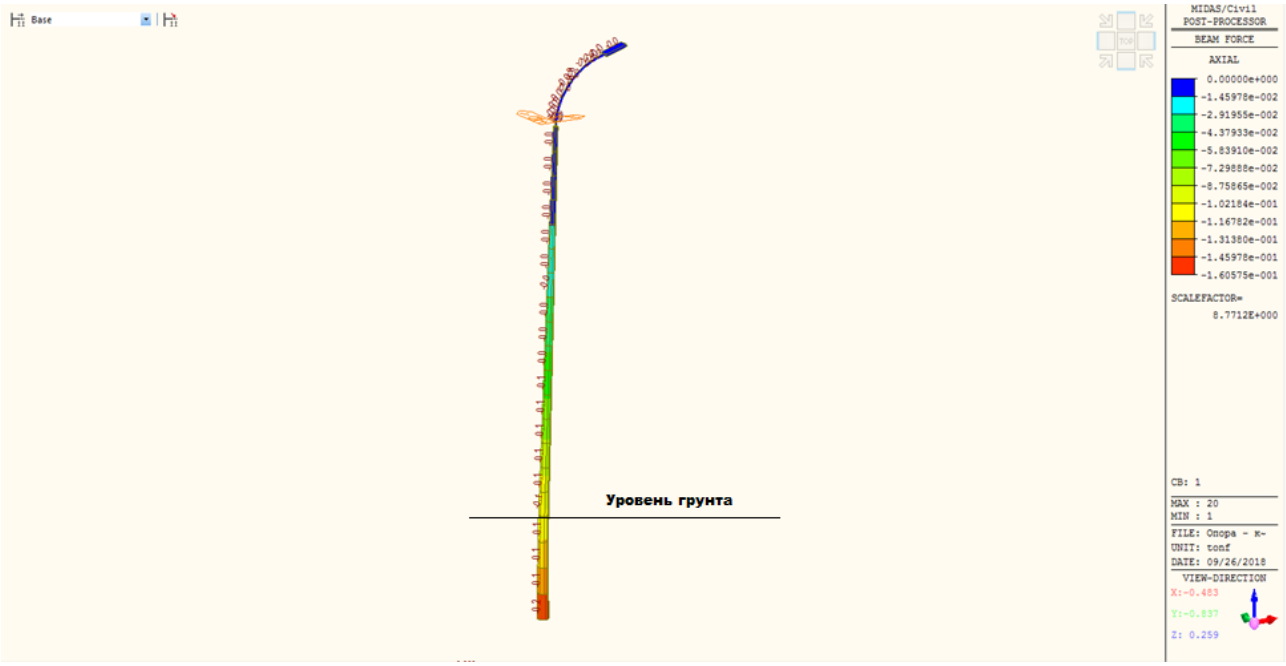



***Рисунок 3.22.*** *Распределение продольных усилий N в элементах опоры освещения от постоянных нагрузок и расчетного удара автомобиля (наибольшее усилие в элементе 1 равно – 0.16 тс) (составлен авторами)*

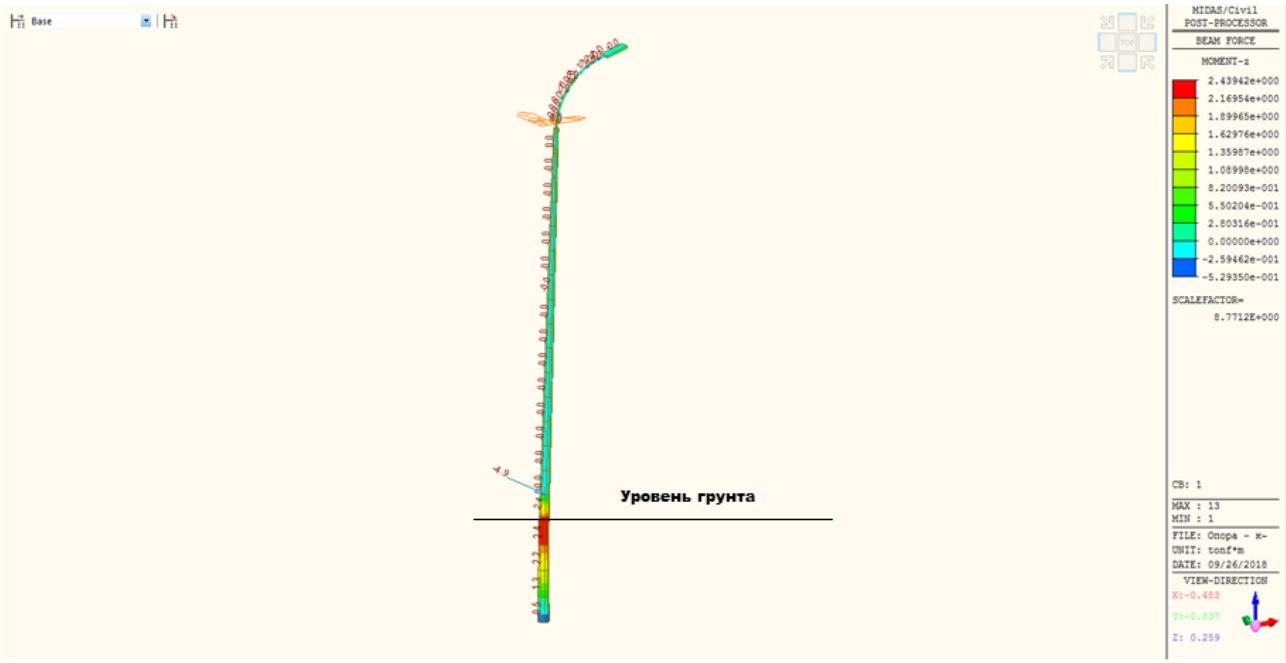



***Рисунок 3.23.*** *Распределение изгибающего момента $M_y$ в элементах опоры освещения от постоянных нагрузок и расчетного удара автомобиля (наибольшее усилие в элементе 2 равно 2.44 тс*м) (составлен авторами)*

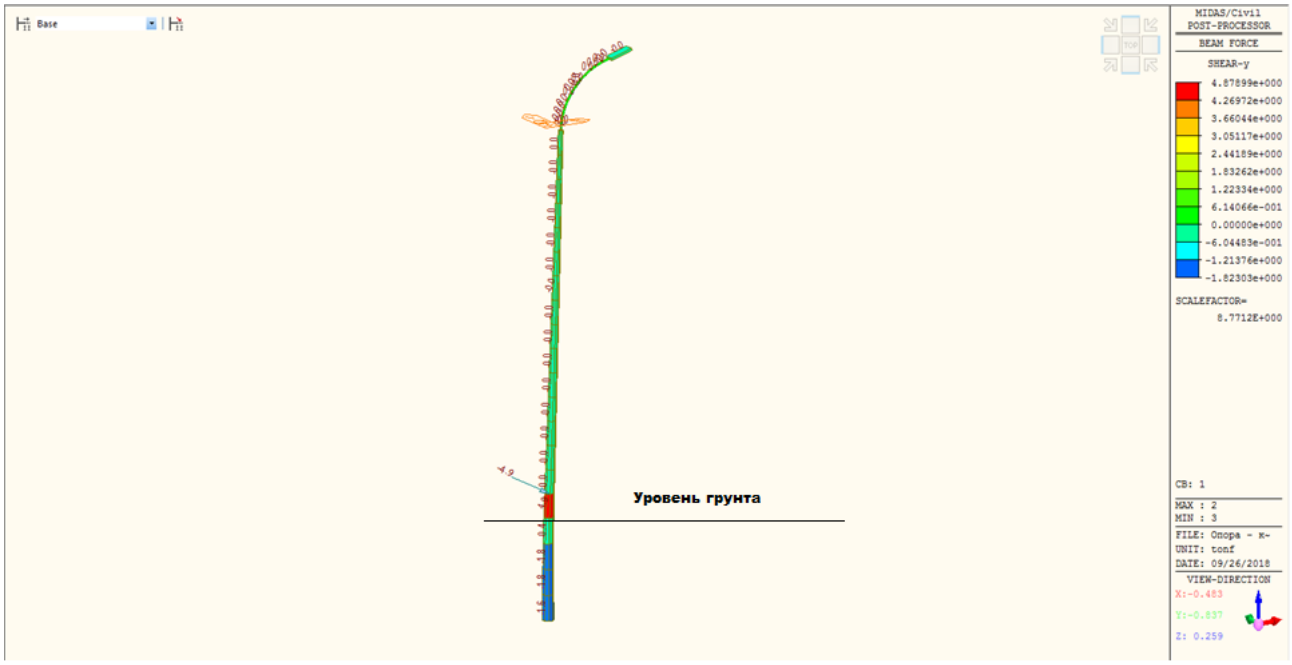



***Рисунок 3.24.*** *Распределение перерезывающих усилий Q в элементах опоры освещения от постоянных нагрузок и расчетного удара автомобиля (наибольшее усилие в элементе 2 равно 4.88 тс) (составлен авторами)*

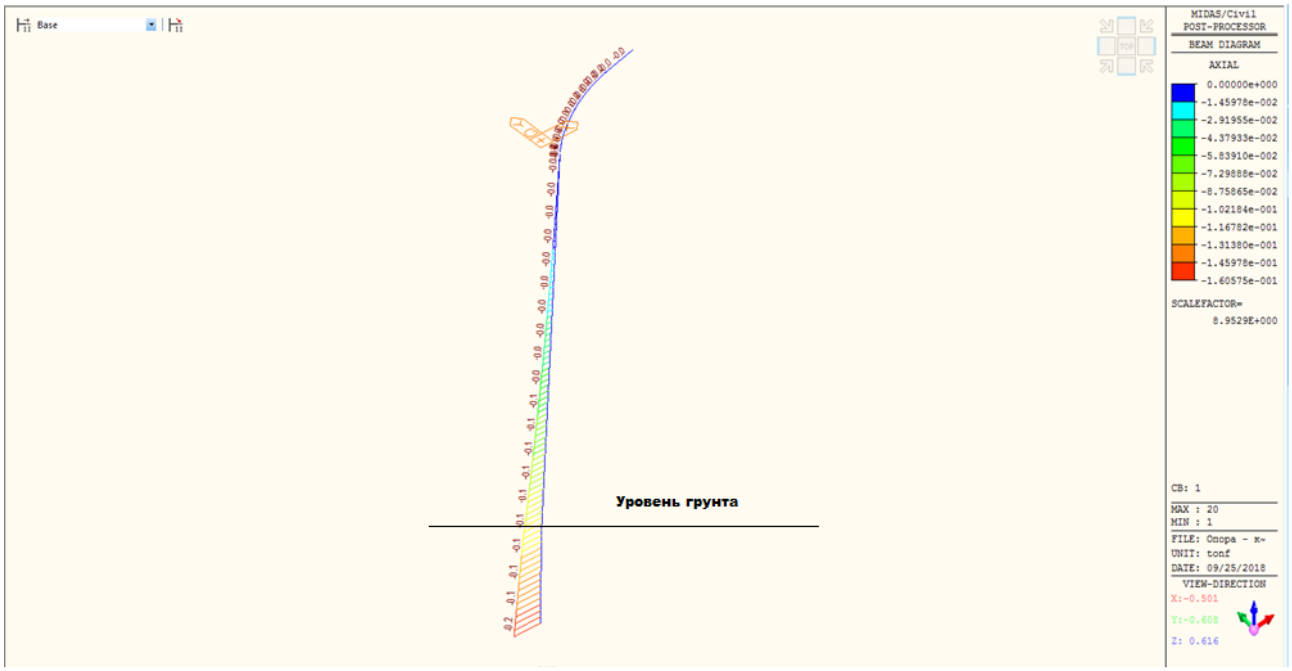



***Рисунок 3.25.*** *Эпюра продольных усилий N в элементах опоры освещения от постоянных нагрузок и расчетного удара автомобиля (наибольшее усилие в элементе 1 равно 0.16 тс) (составлен авторами)*

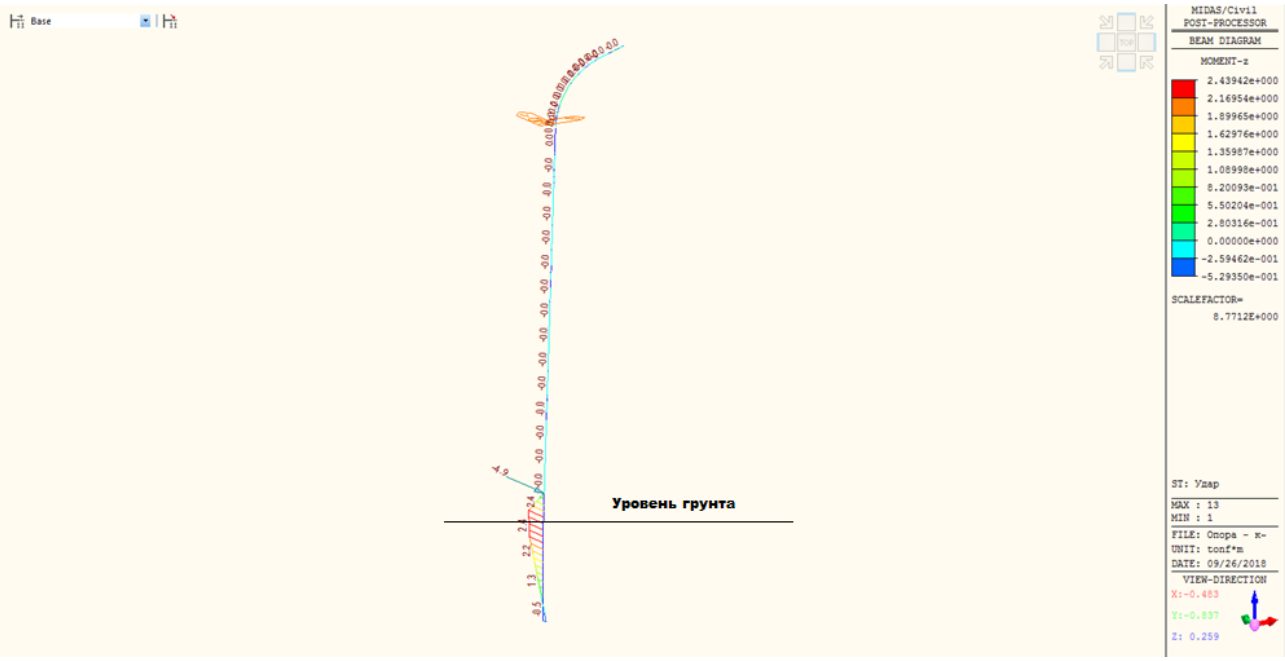



***Рисунок 3.26.*** *Эпюра изгибающего момента $M_y$ в элементах опоры освещения от постоянных нагрузок и расчетного удара автомобиля (наибольшее усилие в элементе 2 равно 2.44 тс*м) (составлен авторами)*

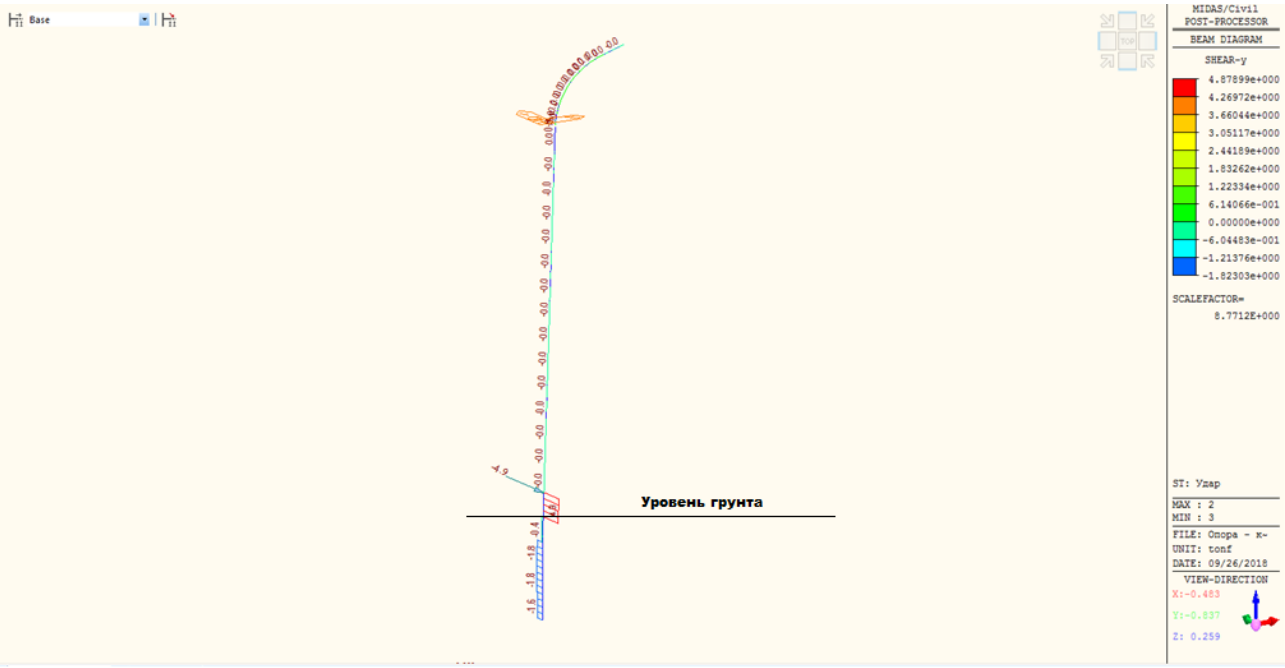



***Рисунок 3.27.*** *Эпюра перерезывающих усилий Q в элементах опоры освещения от постоянных нагрузок и расчетного удара автомобиля (наибольшее усилие в элементе 2 равно 4.88 тс) (составлен авторами)*

### 3.4 Анализ результатов расчета

Результирующие данные расчета рассмотренных опор освещения методом конечных элементов приведены в таблице 3.1, в которую отбирались максимальные значения контролируемых параметров для каждой из рассматриваемых опор.

**Таблица 3.1**

**Данные расчета рассмотренных опор освещения методом конечных элементов приведены**

| Вариант | Максимальное перемещение, см | Продольное усилие N, тс | Изгибающий момент $M_y$, тс*м | Перерезывающее усилие Q, тс |
|---|---|---|---|---|
| Вариант 1 (железобетонная опора освещения) | 3.20 | 0.71 | 2.47 | 4.78 |
| Вариант 2 (металлическая опора освещения) | 5.62 | 0.16 | 2.44 | 4.88 |

*Составлена авторами*

Оценка прочности рассмотренных конструкций опор проводилась на основании сопоставления полученных в результате расчета данных о максимальных значениях усилий в сечениях с предельно допустимыми величинами.

Предельно допустимые значения усилий определялись характеристиками материала, из которого изготовлена опора, и принимались с учетом действующих нормативных документов:

- СП 16.13330.2017 "Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*".
- СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 (с Изменениями N 1, 2, 3).

## Заключение

По результатам прочностного расчета установлено, что от наезда условного автомобиля на опору наружного освещения **из железобетона** возникает максимальный изгибающий момент, равный **2,47** тс*м (при допускаемом **2,55** тс*м), а при наезде условного автомобиля на опору наружного освещения **из металла** возникает максимальный изгибающий момент, равный **2,44** тс*м (при допускаемом **3,2** тс*м).

Следовательно, **от наезда условного автомобиля на опору наружного электроосвещения в опоре из железобетона возникают усилия, близкие к допускаемым, что при небольших отклонениях от расчетных параметров (например, превышении предельной скорости, возможных дефектах и повреждениях опоры освещения) может привести к обрушению конструкции, в том числе и к возможному падению ее автотранспортное средство**.

Заметим также, что обычно металлические опоры имеют антикоррозионную защиту и практически защищены от воздействия агрессивных эксплуатационных сред. Железобетонные же опоры обычно не защищаются от коррозии и потому, при использовании различных средств антиобледенителей для борьбы с гололедом, часть этих средств попадает на нижние участки железобетонных опор, проникает в железобетон, вызывая коррозионные процессы, приводящие к деградации бетона, коррозии арматуры, и в результате с течением времени **несущая способность железобетонных опор в зоне, подверженной действию агрессивных сред значительно снижается.** Более подробно проблема коррозионных повреждений металлических и железобетонных конструкций освещена в монографиях [20-23].

**Все это может привести к повышению вероятности разрушения железобетонных опор в этой опасной зоне, так как именно в ней и действуют наибольшие усилия при ударе автомобиля по опоре**.

Также необходимо отметить то, что **при наезде на опору из железобетона путь деформации условного автомобиля больше**, так как кинетическая энергия автомобиля практически полностью переходит в энергию деформации кузова автомобиля, а при наезде на опору из металла часть кинетической энергии переходит в энергию деформации самой опоры. Таким образом**, для водителя и пассажиров условного автомобиля опора из металла более безопасная, чем опора из железобетона**.

В расчете использовалась максимально разрешенная скорость движения автотранспортных средств в населенных пунктах, согласно Правилам Дорожного Движения РФ, равная 60 км/ч и технически допустимая масса автотранспортного средства (LADA PRIORA SEDAN) 1578 кг. При увеличении скорости движения или массы автотранспортного средства структура и методика расчета остается аналогичной примененной, но полученные по результатам расчета предельные усилия и деформации будут иметь большие значения, в результате чего железобетонная опора достигнет своего предельного состояния раньше стальной (при меньших значениях скорости и/или массы автотранспортного средства, превышающих примененных в расчете), а результат возникшей аварийной ситуации будет иметь более пагубные последствия.

С учетом приведенных фактов и по результатам анализа можно сделать вывод, что опора наружного электроосвещения из металла при наезде условного автомобиля **по параметрам безопасности и прочности предпочтительней** опоры наружного электроосвещения из железобетона.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Крюков К.П., Новгородцев Б.П. Конструкции и механический расчет линий электропередачи. Л.: Энергия, 1979. 312 с.
2. Магидин Ф.А. Сооружение линий электропередачи. М.: Высш. шк., 1987. 264 с.
3. Подколзин Г.П., Макеев С.А., Ядров В.И. Расчет опор ЛЭП: Учеб. пособие. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2005. 36 с.
4. Основы механического расчета опор воздушных линий электропередачи: учеб.-метод. пособие / О.А. Воронцова, Т.В. Дружинина, А.А. Мироненко. – 2-е изд., перераб. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 60 с.
5. Белалами Салим. Неразрушающий контроль опор линий электропередачи методом свободных колебаний. Спб. горный университет. 2017. Диссертация. К.т.н. 2017. 200 с.
6. Лиманов И.Я., Белалами С., Попов Д.В., Символоков А.Ю. Акустический контроль опор воздушных линий электропередач // В мире неразрушающего контроля. 2012, 4 (58), стр. 25-28.
7. Seale, R.D., R. Shmulsky, E.D. Entsminger, A. Bartuli, S. Belalami. Field test of a novel nondestructive testing device on wood distribution poles // Journal of Wood and Fiber Science 2016, 48(3):156-161.
8. Анохин А.Ю., Сова М.А., Тарасов А.Г. Диагностика железобетонных конструкций опор ВЛ 220 кВ МЭС Сибири в труднопроходимых условиях Томской Области. Четвертая Российская научно-практическая конференция ЛЭП 2010. 2010, стр. 211-214.

9. Сафрошкина Л.Д., Гунгер Ю.Р., Кандаев В.А., Дёмин Ю.В., Хромов Е.Г., Зуйков В.В. Оценка несущей способности дефектных опор воздушных линий 6-10 кВ. Известия Томского политехнического университета. 2005. Т. 308. № 5. Стр. 131-133.
10. Гунгер Ю.Р., Тарасов А.Г., Чернев В.Т. Ультразвуковой и вибрационный контроль состояния железобетонных стоек опор и фундаментов воздушных линий электропередачи // Электроинфо, № 11. – 2005 г. – стр. 40-43.
11. Гунгер Ю.Р., Чернев В.Т. Диагностика опор и фундаментов воздушных линий электропередачи. Современные методы оценки // Новости электротехники, № 2. – 2006 г. – стр. 134-136.
12. Кожагелди Б.Ж., Жанпейсова А.О., Кушумкулов А.С., Абзалов Ж.М. Сравнительный анализ железобетонных опор с композитными опорами ЛЭП // The Bulletin of Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshpaev. 2017, Vol. 100, No. 1, pp. 28-34.
13. Протченко А.В. Совершенствование метода и программно-аппаратных средств определения коррозионного состояния железобетонных опор контактной сети. Диссертация к.т.н. Омский ГУПС. Омск. 2011. 134 с.
14. Вайнштейн А.Л., Павлов А.В. Коррозионные повреждения опор контактной сети. – М., 1988. 111 с.
15. Вазем, И.В. Анализ существующих методов диагностики коррозионного состояния железобетонных опор контактной сети / И.В. Вазем, А.В. Пономарев // Приборы и методы измерений, контроля качества и диагностики в промышленности и на транспорте: материалы второй всероссийской научно-технической конференции с международным участием (20 октября 2016 г.) / Омский государственный университет путей сообщения. – Омск: ОмГУПС, 2016. – С. 220-225.
16. Dedukh D.A., Schsuzkiy V.L., Kuzmenko A.A. Spun concrete properties of power transmission line supports // Magazine of Civil Engineering. 2017. No. 7. Pp. 37-51. doi: 10.18720/MCE.75.4.
17. Щуцкий В.Л., Толипова Т.Д. Исследование несущей способности цилиндрических опор ЛЭП/ИД // Научное обозрение. 2014. № 10. С. 654-658.
18. Fouad H., Detwiler R. High-strength materials for spun concrete poles // Pci Journal. 2012. Pp. 27-32. 33.
19. Irawan C.E.A. A review of prestressed concrete pile with circular hollow section (Spun pile) // Jurnal Teknologi. 2015. Vol. 72. № 5. Pp. 115-123.
20. Овчинников И.Г., Раткин В.В., Землянский А.А. Моделирование поведения железобетонных элементов конструкций в условиях воздействия хлоридсодержащих сред. Сарат. гос. техн. ун-т. Саратов. 2000. 232 с.
21. Наумова Г.А., Овчинников И.Г. Расчеты на прочность сложных стержневых и трубопроводных конструкций с учетом коррозионных повреждений. СГТУ. Саратов. 2000. 227 с.
22. Маринин А.Н., Гарибов Р.Б., Овчинников И.Г. Сопротивление железобетонных конструкций воздействию хлоридной коррозии и карбонизации. Саратов. Научное издание. Издат. Центр «Рица». 2008. 296 с.
23. Наумова Г.А., Овчинников И.Г., Снарский С.В. Расчет трубопроводных конструкций с эксплуатационными повреждениями. Волгоград. Научное издание. ВолгГАСУ, 2009. 184 с.

**Garibov Rafail Bashirovich**
National research nuclear university «MEPhI»
Balakovo institute of engineering and technology (branch), Balakovo, Russia
E-mail: garibovr@mail.ru

**Ovchinnikov Ilya Igorevich**
Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Saratov, Russia
Industrial university of Tyumen, Tyumen, Russia
E-mail: bridgeart@mail.ru

**Ovchinnikov Igor Georgievich**
Industrial university of Tyumen, Tyumen, Russia
Perm national research polytechnic university, Perm, Russia
Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Saratov, Russia
E-mail: bridgesar@mail.ru

# Comparative assessment of the safety of lighting pillars installed near the road under the action of a car driving over them

**Abstract.** The task of the comparative evaluation of the safety lighting poles installed around the road under the action hit them the car. Notes that studies on the calculation and modeling lighting poles when exposed to shock loads due to vehicle collisions is very small.

The situation of a conditional vehicle exit (LADAPRIORASEDAN) from the carriageway to the roadside is followed up, followed by a collision with a metal or reinforced concrete support for external electric lighting. Vehicle speed is 60 km/h and the calculation is performed by finite element method. Diagram shows the compressive forces, bending moments, shear forces, displacements.

The analysis found that by hitting the conditioned car to support the outer electrical lighting in a bearing of reinforced concrete arise effort close to being admitted that for small deviations from design parameters (e.g., speed limit is exceeded, possible defects and injuries of lighting columns) can lead to the collapse construction, including the possible fall of its vehicle.

Consequently, the support of the metal outer lighting when hit by the vehicle conditional security parameters and external lighting strength of reinforced concrete is preferred support.

**Keywords:** lighting pillar; passive safety; metal pillar; reinforced concrete pillar; composite pillar; impact on the pillar; analysis

## REFERENCES

1. Kryukov K.P., Novgorodtsev B.P. (1979). Konstruktsii i mekhanicheskiy raschet liniy ehlektroperedachi. [*Structures and mechanical calculation of power lines*.] Leningrad: Energy, p. 312.

2. Magidin F.A. (1987). Sooruzhenie liniy ehlektroperedachi. [*Construction of power lines*.] Moscow: Higher. school, p. 264.

3. Podkolzin G.P., Makeev S.A., Yadrov V.I. (2005). Raschet opor LEHP: Uchebnoe posobie. [*Calculation of transmission towers: Manual*.] Omsk: Omsk State Technical University Publishing House, p. 36.

4. Vorontsova O.A., Druzhinina T.V., Mironenko A.A. (2015). Osnovy mekhanicheskogo rascheta opor vozdushnykh liniy ehlektroperedachi: uchebno-metodicheskoe posobie. [*Basic of mechanical calculation of supports of overhead power lines: studies-method. manual*.] Ekaterinburg: Publishing house Ural University, p. 60.

5. Belalami Salim (2017). Nerazrushayushchiy kontrol′ opor liniy ehlektroperedachi metodom svobodnykh kolebaniy. [*Non-destructive testing of power line towers using the free oscillation method*.] Saint-Petersburg: Compilation. mining University, p. 200.

6. Limanov I.Ya., Belalami S., Popov D.V., Symbolov A.Yu. (2012). Acoustic control of overhead power lines. *In the world of non-destructive testing*, 4(58), pp. 25-28 (in Russian).

7. Seale R.D., Shmulsky R., Entsminger E.D., Bartuli A., Belalami S. (2016). Field test of a novel nondestructive testing device on wood distribution poles. *Journal of Wood and Fiber Science*, 48(3), pp. 156-161.

8. Anokhin A.Y., Sova M.A., Tarasov A.G. (2010). Diagnostika zhelezobetonnykh konstruktsiy opor VL 220 kV MEHS Sibiri v trudnoprokhodimykh usloviyakh Tomskoy Oblasti. [*Diagnostics of reinforced concrete structures of the poles of 220 kV high-voltage lines MES Siberia in difficult conditions of the Tomsk Region*.] Tomsk: Fourth Russian Scientific Practical Conference of the 2010 Power Lines, pp. 211-214.

9. Safroshkina L.D., Gunger Y.R., Kandayev V.A., Demin Y.V., Khromov E.G., Zuykov V.V. (2005). Evaluation of the bearing capacity of defective supports of 6-10 kV overhead lines. *Journal of Tomsk Polytechnic University*, 5(308), pp. 131-133 (in Russian).

10. Gunger Y.R., Tarasov A.G., Chernev V.T. (2005). Ultrasonic and vibration control of the state of reinforced concrete pillars of supports and foundations of overhead power lines. *Electroinfo*, 11, pp. 40-43 (in Russian).

11. Gunger Y.R., Chernev V.T. (2006). Diagnostics of the supports and foundations of overhead power lines. Modern methods of evaluation. *News of electrical engineering*, 2, pp. 134-136 (in Russian).

12. Kozhageldi B.Zh., Zhanpeysova A.O., Kushumkulov A.S., Abzalov Zh.M. (2017). Comparative analysis of reinforced concrete pylons with composite transmission pylons // *The Bulletin of the Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshpaev*, 1(100), pp. 28-34 (in Russian).

13. Protchenko A.V. (2011). Sovershenstvovanie metoda i programmno-apparatnykh sredstv opredeleniya korrozionnogo sostoyaniya zhelezobetonnykh opor kontaktnoy seti. [*Improving the method and software and hardware for determining the corrosion*

*state of reinforced concrete supports of the contact network*.] Omsk: Omsk state University of railway engineering, p. 134.

14. Weinstein A.L., Pavlov A.V. (1988). Korrozionnye povrezhdeniya opor kontaktnoy seti. [*Corrosive damage of the contact network supports*.] Moscow, p. 111.

15. Protchenko A.V. (2011). Analiz sushchestvuyushchikh metodov diagnostiki korrozionnogo sostoyaniya zhelezobetonnykh opor kontaktnoy seti. [*Analysis of the existing diagnostic methods for the corrosion state of reinforced concrete supports of the contact network*.] Omsk: Omsk state University of railway engineering, pp. 220-225.

16. Dedukh D.A., Schsuzkiy V.L., Kuzmenko A.A. (2017). Spun concrete properties of power transmission line supports. *Magazine of Civil Engineering*, 7, pp. 37-51. DOI: 10.18720/MCE.75.4.

17. Schutsky V.L., Tolipova T.D. (2014). Investigation of the carrying capacity of cylindrical pylons transmission lines/ID. *Scientific Review*, 10, pp. 654-658 (in Russian).

18. Fouad H., Detwiler R. (2012). High-strength materials for spun concrete poles. *Pci Journal*, 33, pp. 27-32.

19. Irawan C.E.A. (2015). A review of prestressed concrete pile with circular hollow section (Spun pile). *Journal Teknologi*, 5(72), pp. 115-123.

20. Ovchinnikov I.G., Ratkin V.V., Zemlyansky A.A. (2000). Modelirovanie povedeniya zhelezobetonnykh ehlementov konstruktsiy v usloviyakh vozdeystviya khloridsoderzhashchikh sred. [*Modeling the behavior of reinforced concrete structural elements under the influence of chloride-containing environments*.] Saratov: Saratov state technical University, p. 232.

21. Naumova G.A., Ovchinnikov I.G. (2000). Strength calculations of complex core and pipeline structures, taking into account corrosion damage. [*Raschety na prochnost' slozhnykh sterzhnevykh i truboprovodnykh konstruktsiy s uchetom korrozionnykh povrezhdeniy*.] Saratov: Saratov state technical University, p. 227.

22. Marinin A.N., Garibov R.B., Ovchinnikov I.G. (2008). Soprotivlenie zhelezobetonnykh konstruktsiy vozdeystviyu khloridnoy korrozii i karbonizatsii. [*Resistance of reinforced concrete structures to chloride corrosion and carbonization*.] Saratov: Scientific publication. Publishing Center "Ritsa", p. 296.

23. Naumova G.A., Ovchinnikov I.G., Snarsky S.V. (2009). Raschet truboprovodnykh konstruktsiy s ehkspluatatsionnymi povrezhdeniyami. [*Calculation of pipeline structures with operational damage*.] Volgograd: Scientific publication. Volgograd state University of architecture and civil engineering, p. 184.