

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»**

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НОВЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И
ПОДГОТОВКЕ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Материалы

**XVI международного научно-методического семинара
28–30 мая 2009 года**

**Под общей редакцией
д-ра техн. наук, проф. П.С. Пойты
д-ра техн. наук, проф. В.В. Тура**

**Брест
БрГТУ
2009**

Рецензенты:

- В.В. Тур**, д.т.н., профессор; **Т.М. Пецольт**, д.т.н., профессор
(Новые конструкции зданий и сооружений, совершенствование методов их расчета. Оценка технического состояния и усиление строительных конструкций, зданий и сооружений);
А.А. Борисевич, д.т.н., профессор; **Е.М. Сидорович**, д.т.н., профессор
(Строительная механика и теория сооружений);
Ю.Н. Павлючук, д.т.н., профессор; **С.Я. Семенюк**, д.т.н., профессор
(Проблемы современной архитектуры и градостроительства.
Энергосбережение в строительной отрасли);
И.П. Блещик, д.т.н., профессор; **Л.К. Лукша**, д.т.н., профессор
(Технология производства строительных материалов, изделий и конструкций);
П.С. Пойта, д.т.н., профессор; **Г.А. Колпашников**, д.г.-м.н., профессор
(Механика грунтов, основания и фундаменты);
Д.Н. Лазовский, д.т.н., профессор; **В.С. Северянин**, д.т.н., профессор
(Проблемы подготовки инженерных кадров в строительной отрасли)

Редакционная коллегия:

- Борисевич А.А.**, д.т.н., профессор;
Игнатюк В.И., к.т.н., доцент (ответственный секретарь);
Лазовский Д.Н., д.т.н., профессор; **Пецольт Т.М.**, д.т.н., профессор;
Пойта П.С., д.т.н., профессор; **Семенюк С.Д.**, д.т.н., профессор;
Тур В.В., д.т.н., профессор (председатель);
Шведовский П.В., к.т.н., профессор (зам. председателя);
Яромич Н.Н., к.т.н., доцент.

П26 Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь: материалы XVI международного научно-методического семинара / Под общ. ред. П.С. Пойты, В.В. Тура. – Брест: БрГТУ, 2009. – 52 с.

ISBN 978-985-493-119-7

Рассматриваются вопросы создания новых конструкций зданий и сооружений, совершенствования методов их расчета; оценки технического состояния и усиления конструкций эксплуатируемых объектов; вопросы технологии производства строительных материалов, изделий и конструкций; проблемы геотехники и транспортных коммуникаций; строительной механики и теории сооружений; современной архитектуры и градостроительства, энергосбережения в строительной отрасли; подготовки инженерных кадров в строительной отрасли.

Предназначен для научных и инженерно-технических работников исследовательских, проектных и производственных организаций, а также преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов технических специальностей высших учебных заведений.

УДК 69(476)(082)
ББК 38(4Бел)я43

ISBN 978-985-493-119-7

Учреждение образования
© «Брестский государственный технический университет», 2009

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРУЕМОГО СОСТОЯНИЯ АНКЕРНОГО УСТРОЙСТВА ВАНТОВОГО ПОКРЫТИЯ

Мартынов Ю.С., Новиков В.Е., Лагун Ю.И.

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

1. Введение. Анкерное устройство – важнейший элемент большепролетных висячих систем покрытий. При значительных усилиях на анкеры основной их конструктивной формой являются устройства, состоящие из проушин и цилиндрических шарниров – цапф. Несмотря на простоту конструктивной формы, при их расчете и конструировании необходимо учитывать ряд факторов: отсутствие нормативной базы по проектированию, малочисленность результатов экспериментальных исследований их работы под нагрузкой, повышенные требования к материалам компонентов анкеров и к их изготовлению, сложное напряженно-деформированное состояние (НДС), влияние допусков на посадку на распределение контактных напряжений в системе «проушина-цапфа».

При значительных усилиях на анкера требуется, как правило, установка более двух проушин. В этом случае следует учитывать возможную неравномерность распределения усилий между ними, обусловленную наличием допусков при посадке цапфы, несоосностью отверстий для цапфы из-за большой толщины проушин, допусков при сборке на этапе изготовления, отклонением положения анкеров в плане при производстве строительно-монтажных работ.

Ограниченный объем статьи не позволяет рассмотреть все отмеченные выше вопросы. Потому ниже приведены результаты анализа НДС только проушин анкерного устройства, выполненного авторами при проектировании анкерных устройств вантового двухпоясного покрытия многофункциональной спортивно-зрелищной арены с трибунами на 15 тыс. зрителей.

2. Краткая характеристика анкерных устройств. Конструктивные решения анкеров несущих и стабилизирующих вант идентичны, включают анкер и цапфу системы Freyssinet и разработанное анкерное устройство. Учитывая однотипность последних, в статье приведены данные по анкерному устройству наиболее нагруженной несущей ванты. Оно состоит из вертикально расположенных проушин, горизонтальных пластин и элементов анкеровки в железобетонном опорном контуре (см. рисунок 1). Все проушины запроектированы из листового проката сечением 400×40 для центральной проушины и 400×20 – для крайних. Из условия прочности проушин на смятие зона отверстия усилена боковыми накладками соответствующей толщины и формы.

Используя данную модель, также проведены исследования по оценке влияния на расчетные усилия в проушинах сдвиговой жесткости цапфы и упругих деформаций проушин.

Последние зависят от длины участков проушин между осью цапфы и точкой объединения проушин в единый блок. Длина участка варьировалась от 0 до значения, при котором усилия в проушинах практически не зависели от длины участка (см. рисунок 2).

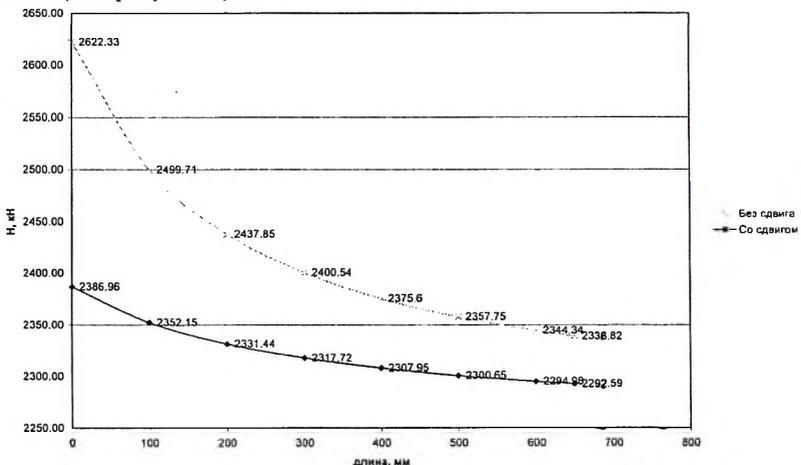


Рисунок 2 – Графики изменения продольного усилия в центральной проушине несущей ванты

Анализ результатов расчетов показывает, что при принятых размерах проушин учет их упругих деформаций приводит к изменению усилий по длине в диапазоне (4...11) %. С увеличением длины усилия уменьшаются в центральной проушине и увеличиваются в крайних проушинах. Близко по значению влияние учета сдвиговой жесткости цапфы (2...9) %.

Полученные результаты расчета позволили скорректировать расчетные усилия в неблагоприятную сторону, учитывая уникальность проектируемого сооружения. Ниже приведен анализ НДС для центральной проушины.

3.2. Определение максимальных растягивающих напряжений σ_1

А) Аналитический метод.

Теоретическими и экспериментальными исследованиями, выполненными применительно к шарнирным соединениям подъемно-транспортных машин, установлено, что наибольшие напряжения σ_1 в ослабленном сечении поперек усилия могут быть определены по формуле [4]:

$$\sigma_1 = k_\alpha \frac{N}{(B-d)t} = 3.75 \frac{2.622}{(0.40-0.161) \cdot 0.12} = 342.8 \text{ МПа,}$$

где $k_\alpha = f(B/d=2.5, \alpha_0=43^\circ) = 3.75$ – коэффициент концентрации напряжений, вычисленный по указаниям [4];

N – усилие, приложенное к центральной проушине;

B, t, d – ширина, толщина проушины и диаметр цапфы.

Следует отметить, что решение, приведенное в [4], строго говоря, не соответствует рассматриваемому случаю, так как в разработанном анкерном устройстве центр отверстия и центр внешней граничной окружности смещены относительно друг друга (расцентровка 53 мм), что является более благоприятным для работы проушины (снижение растягивающих напряжений σ_2 по ослабленному сечению вдоль проушины).

Для уточнения принятого значения k_α и для оценки влияния расцентровки на напряжения σ_1 , проведен анализ распределения пиковых растягивающих напряжений по данному сечению в зависимости от угла касания поверхностей α методом конечных элементов на программном комплексе ANSYS.

В модели принято, что давление цапфы на проушину неравномерно и распределено по треугольному закону («закон синуса») с максимальной ординатой равной:

$$q = \frac{N}{0.5 \cdot t \cdot d \cdot \sin \alpha_0}$$

Нагрузка q приложена нормально к поверхности отверстия проушины и ее равнодействующая равна N .

Анализируя полученные данные численного эксперимента, получена зависимость коэффициента концентрации напряжений k_α от угла α , которая приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Коэффициент концентрации напряжений k_α

α°	20	30	40	50	60	70	80	90	100
k_α – без расцентровки	3.765	3.575	3.643	3.772	3.576	3.657	3.797	3.868	3.704
k_α – с расцентровкой	3.338	3.349	3.352	3.362	3.376	3.385	3.408	3.424	3.444

В рассматриваемом конструктивном решении $\alpha=2\alpha_0=2 \cdot 43^\circ=86^\circ$, которому соответствует $k_\alpha=3.418$. Уточненное значение напряжения $\sigma_1=312.5$ МПа отличается от значения, вычисленного аналитически, на 8.8% в меньшую сторону.

Б) Численный метод по плоской расчетной модели.

Передача усилия от цапфы на проушину моделировалась специальным контактным элементом GAP, что позволило, в том числе, определить площадку контакта между цапфой и проушиной. Расчет выполнен на двух пакетах КЭА: Ansys и Nastran. Результаты расчетов и их анализ приведены ниже.

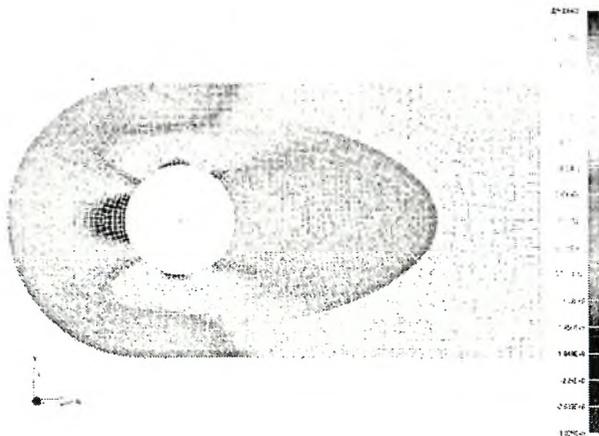


Рисунок 3 – Распределение нормальных напряжений σ_1 (Nastran)

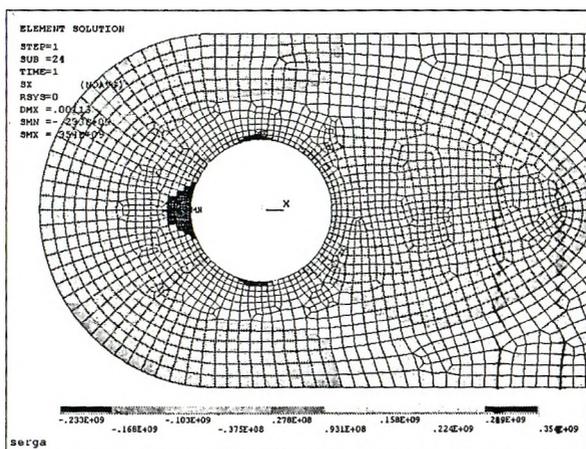


Рисунок 4 – Распределение нормальных напряжений σ_1 (Ansys)

Анализируя распределение нормальных напряжений, отметим, что максимальные нормальные напряжения по ослабленному сечению, полученные с использованием Nastran $\sigma_{1, Nas} = 325.3$ МПа, что меньше напряжений расчетом с использованием Ansys $\sigma_{1, Ans} = 354$ МПа. Последнее значение ближе к результату, полученному аналитически по [4].

В) Численный метод по пространственной расчетной модели.

Геометрия модели, а также схема передачи нагрузки с цапфы на проушины полностью совпадают с предыдущим вариантом.

Расчет выполнен с использованием Nastran. Распределение нормальных напряжений вдоль продольной оси проушины приведено на рисунке 5.

Отметим, что максимальные напряжения ($\sigma_{1,loc} = 280.2$ МПа) значительно ниже напряжений, полученных по плоской расчетной модели (расхождение 16.2 % и 26.4 % соответственно).

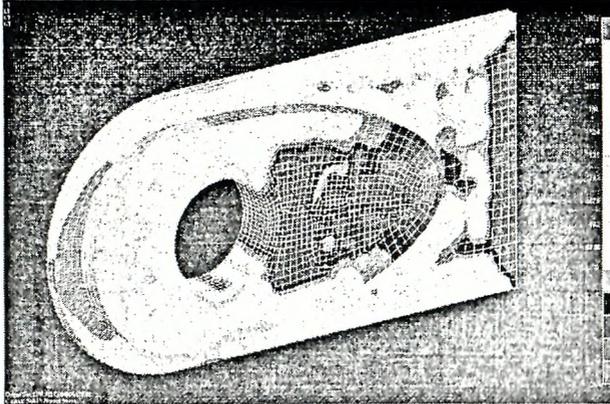


Рисунок 5 – Распределение нормальных напряжений $\sigma_{loc,x}$ (Nastran)

3.3 Определение максимальных напряжений смятия по площадке контакта цапфа-проушина

А) По СНиП II-23-81* при угле касания поверхностей 90° .

Максимальные напряжения смятия по поверхности отверстия, вычисленные по формуле [1]:

$$\sigma_{lp} = \frac{N_{cen}}{1.25 \cdot 0.5d \cdot t_{cen}} = \frac{2.622}{1.25 \cdot 0.5 \cdot 0.16 \cdot 0.12} = 218.5 \text{ МПа.}$$

Б) Численный метод по плоской расчетной модели.

Результаты расчета приведены на рисунках 3 и 4.

Максимальное напряжение смятия по контакту цапфа-проушина, полученное на комплексе Nastran $\sigma_{lp, Nas} = 302.5$ МПа, на комплексе Ansys $\sigma_{lp, Ans} = 233.3$ МПа, что больше аналитических значений, и в свою очередь свидетельствует о том, что внутренний угол площадки контакта меньше 90° , принятых в аналитическом решении.

3.4 Определение максимальных растягивающих напряжений с внешней стороны проушины в сечении, расположенном на оси симметрии

Аналитических решений в научно-технической литературе по этому вопросу не найдено, обнаружено, поэтому авторами выполнены численные исследования по указанным ранее моделям.

Результаты полученные на комплексах Nastran и Ansys имеют близкие значения: максимальные напряжения сжатия равны 182 МПа и 162 МПа соответственно, максимальные напряжения растяжения соответственно – 121 МПа и 118 МПа.

4. Заключение. 1. Напряженно-деформированные состояния проушин, установленные аналитическим и численными методами, близки по качественным и количественным показателям, что свидетельствует о достоверности принятых расчетных моделей и о напряженно-деформированном состоянии анкерного устройства в целом.

2. Расчетными критическими напряжениями, предопределяющими несущую способность проушин, являются напряжения σ_1 в ослабленном поперечном сечении на внутренней поверхности отверстия. Коэффициент концентрации напряжений в этой зоне достигает значения 3.4–3.8.

3. Смещение центров отверстия и внешней граничной окружности проушин снижает продольные растягивающие напряжения σ_2 до 25%.

4. Распределение и значения напряжений смятия по площадке контакта цапфа-проушина зависят от значения зазора между отверстием и цапфой, а также допусков на посадку. Регулирование напряжений смятия достигается приваркой к проушинам накладок определенного очертания.

Список цитированных источников

1. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции / Госстрой СССР. – ЦИТП Госстроя СССР 1991 – 96 с.

2. ТКП 45-5.04-121-2009(02250) Стальные строительные конструкции. Правила изготовления / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь.

3. СНиП 3.03.01-87 Несущие и ограждающие конструкции / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 192 с.

4. Ковальский, Б.С., Сороковенко Ф.Ф. Расчет проушин / Вестник машиностроения. – 1969. – №10.

УДК 624.072.327

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ ГАЗООТВОДЯЩИХ ТРУБ.

Садох А.В.

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Введение. Нормативный срок эксплуатации железобетонных и кирпичных дымовых труб составляет 50 лет. Однако в последние годы отмечается резкое повышение количества дымовых труб, пришедших в аварийное состояние. Нестабильный режим эксплуатации и перевод электростанций и котельных на непроектные режимы эксплуатации, имевшие место в последние 15-20 лет привели к ускоренному разрушению конструкций дымовых труб. Фактически уже через 15-30 лет, отдельных – через 5-10 лет, эксплуатации дымовые трубы приходят в аварийно-опасное состояние или, как минимум, требуют капитального ремонта или реконструкции.

Так, кирпичная дымовая труба высотой 60 метров котельной РУП "Узденский ЖКХ" пришла в аварийно-опасное состояние после 16-ти лет эксплуатации, в 2007 году произошло обрушение кирпичной дымовой трубы высотой 75 метров ЧУП "Озерицкий Агро" после 25-ти лет эксплуатации.

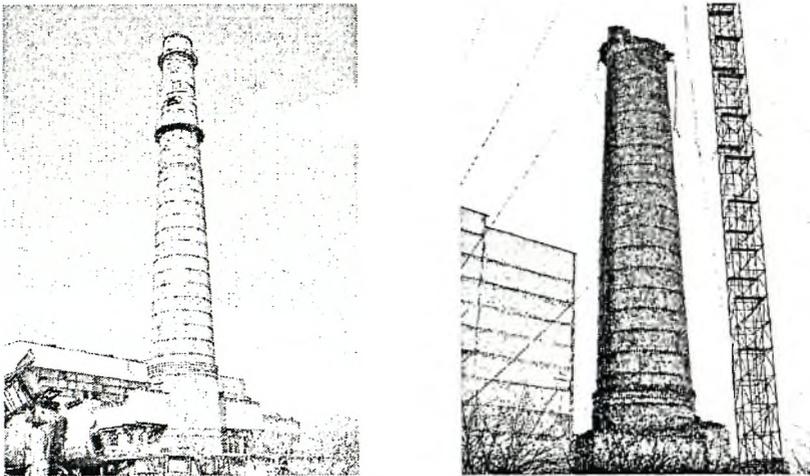


Рисунок 1,2 - Обрушение кирпичной дымовой трубы высотой 75 метров ЧУП «Озерицкий Агро» д.Озерицкая Слобода Смоленвичского р-на (до и после обрушения)

Железобетонная дымовая труба высотой 90 метров Белорусской ГРЭС находилась в ограниченно работоспособном состоянии и требовала капитального ремонта после 11-ти лет эксплуатации, дымовые трубы высотой 90 метров котельной Рогачевских тепловых сетей, высотой 120 метров РУП "Гомсельмаш", высотой 90 метров РК-3 Могилевских тепловых сетей, высотой 105 метров Полоцкой ТЭЦ – через 13-15 лет эксплуатации.

Тепловлажностный режим эксплуатации дымовых труб. Определяющим фактором разрушения строительных конструкций железобетонных и кирпичных стволов труб при удалении дымовых газов от котельных установок, работающих на природном газе, является их размораживание. При сжигании природного газа, содержащего до 90% метана, образуется приблизительно 20% по объему водяных паров.

Водяной пар дымовых газов имеет большее парциальное давление, чем водяные пары атмосферного воздуха. Вследствие разности парциальных давлений имеет место диффузия водяного пара через ствол дымовой трубы в направлении изнутри наружу. При достижении температуры точки росы водяные пары будут конденсироваться и далее диффундировать уже в виде жидкости. При достаточно низких температурах наружного воздуха влага в порах стенки переходит в твердое состояние. В результате многократных циклов замораживания-размораживания даже в течение одного сезона наружные

слои кирпичной кладки или железобетона интенсивно теряют механическую прочность и разрушаются. В случае, когда конденсация водяных паров дымовых газов происходит уже на внутренней поверхности трубы, механизм диффузии водяных паров частично заменяется на процесс капиллярного движения влаги в направлении наружной поверхности. И этот процесс насыщает материал ствола и теплоизоляции влагой.

Основными способами капитального ремонта кирпичных и железобетонных дымовых труб в настоящее время является замена футеровки и теплоизоляции согласно проекту или восстановление поврежденной в процессе эксплуатации тепловой изоляции из минеральной ваты при помощи сухой теплоизоляционной смеси из легкого керамзитового гравия и торкретированием внутренней поверхности футеровки кислотоупорным раствором.

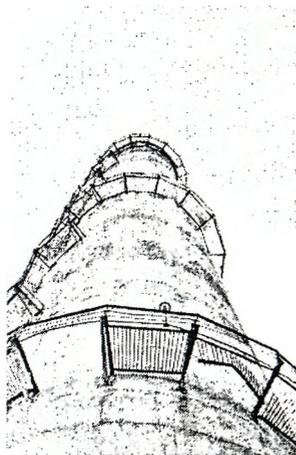


Рисунок 3 - Железобетонная дымовая труба высотой 120 м РУП "Гомсельмаш".
Фильтрация конденсата с образованием наледей

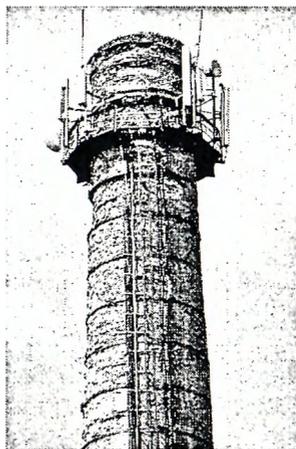


Рисунок 4 - Кирпичная дымовая труба высотой 60 м РУП "Узденское ЖКХ".
Разрушение кладки "размораживанием"

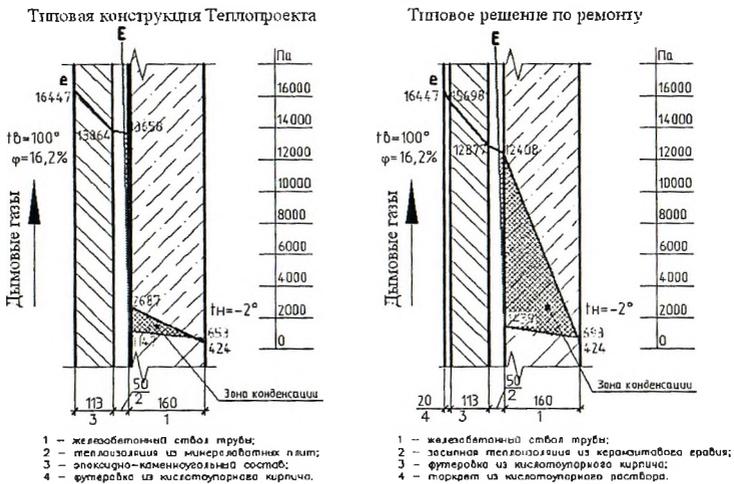
Для оценки работы ограждающих конструкций дымовых труб выполнен тепловлажностный расчет по определению требуемого сопротивления паропроонианию для различных диапазонов температур (80-120°C) и нагрузок (при скорости эвакуируемых газов в устье трубы - 2,4-10,0 м/с). Тепловой расчет выполнен согласно [1]. Для расчета выбрана железобетонная дымовая труба высотой 90 м диаметром устья 3,6 м по типовому проекту [2] и кирпичная высотой 60 м диаметром устья 3,0 м по типовому проекту [3].

Расчетом выполнена оценка типовых решений по ремонту дымовых труб.

Согласно оценочным расчетам ограждающие конструкции дымовых труб не отвечают требованиям [4] по сопротивлению паропроонианию. Значение сопротивления паропроонианию ограждающей конструкции в пределах от

внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации значительно меньше требуемого, причем в зону возможной конденсации попадает и теплоизоляция, что и является одной из причин ее непродолжительной эксплуатации. Причем существующие типовые решения по ремонту дымовых труб также не удовлетворяют требованиям [4] по сопряжению паропроницаемости. Ниже представлен фрагмент выполненных расчетов.

Железобетонная дымовая труба Н=90м, Ду=3,6м



Кирпичная дымовая труба Н=60м, Ду=3,0м

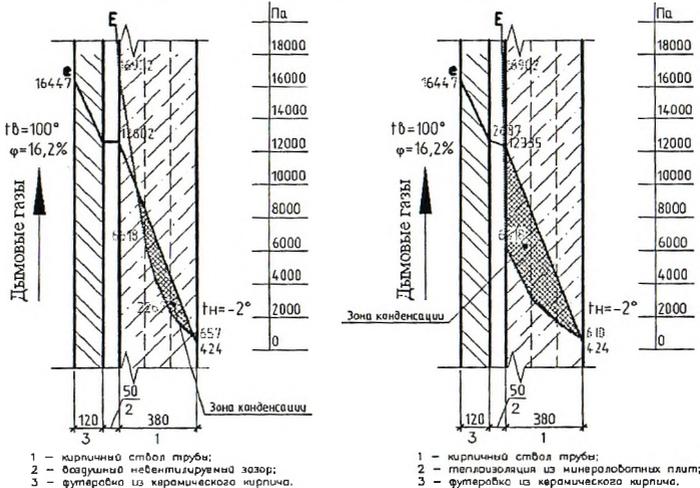


Рисунок 5 - Кривые парциального давления "е" и максимального парциального давления "Е" водяного пара.

Заключение. Основное требование, предъявляемое в настоящее время к строительству и реконструкции высоких дымовых труб, - их долговечность – достигается полной изоляцией несущих конструкций от соприкосновения с агрессивными по отношению к бетону или кладке дымовыми газами. Конструктивно это обеспечивается размещением внутри железобетонной или кирпичной оболочки газоотводящих стволов из газоплотных материалов, таких как малолуглеродистые и низколегированные стали, титан, полимерные композиционные материалы. Только при такой конструкции можно достичь требуемой долговечности эксплуатируемых дымовых труб.

Список цитированных источников

1. Стриха, И.И., Жученко, Е.А., Алешенко, Л.В. Методические указания по теплоаэродинамическому расчету дымовых труб с прижимной футеровкой и с вентзазором. РД РБ 09 110.20.520-02. – Мн.: РУП «БЕЛТЭИ», 2002.
2. Ствол трубы дымовой железобетонной Н=90 м $d_o=3,6$ м. ТП 907-2-178. ВНИПИ «Теплопроект» – Ленинград, 1975.
3. Труба дымовая кирпичная Н – 60 м $d_o – 3,0$ м с надземным примыканием газоходов для котельных установок. ТП 907-2-216. ВНИПИ «Теплопроект» – Ленинград, 1978.
4. ТКП 45-2.04-43-2006. Строительная теплотехника.

УДК 624.072.327

БОЛЬШЕПРОЛЕТНОЕ ВАНТОВОЕ ПОКРЫТИЕ СПОРТИВНО-ЗРЕЛИЩНОЙ АРЕНЫ КОМПЛЕКСА «МИНСК-АРЕНА»

Башкевич И.В.

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Березовский С.Л.

«Белгоспроект», г. Минск

Введение. Висячие покрытия являются одной из наиболее перспективных конструктивных форм для перекрытия сооружений больших пролетов. Этому способствует ряд преимуществ висячих покрытий перед традиционными жесткими формами. Такие конструкции работают на растяжение, что позволяет наиболее полно использовать высокопрочный материал. Висячие покрытия позволяют предельно уменьшить строительную высоту и сократить отапливаемый объем здания.

Конструктивное решение. Многофункциональная спортивно-зрелищная арена цилиндрического объема на 15000 зрителей комплекса «Минск-Арена» рассчитана на проведение соревнований и учебно-тренировочного процесса по более чем 25 видам спорта, а также концертов, эстрадно-цирковых шоу.

Диаметр вантового покрытия 116,0 м. Диаметр внутренних металлических колец в осях упоров вант 12,0 м. Количество вантовых ферм 48 шт. Расстояние между верхним и нижним кольцами по центру тяжести сечения 7,7 м, высота между осями вант на наружных опорах 3:3 м (рисунок 1).

Очертание несущих и стабилизирующих вант по кубической параболе.

Расстояния между стойками вантовых ферм установлены из условия удобства водоотвода с покрытия, перевозки и монтажа металлических плит покрытия. Здание отнесено к первому классу ответственности с коэффициентом надежности по назначению $\gamma_n=1.2$.

Несущие ванты фирмы «Freyssinet» [1] состоят из 27 прядей П7 сечением $A_n = 4050 \text{ мм}^2$; стабилизирующие ванты – из 7 прядей П7 сечением $A_c = 1050 \text{ мм}^2$. Модуль упругости вант $E = 1,95 \cdot 10^5 \text{ МПа}$. Расчетное сопротивление вант $R_y = 840 \text{ МПа}$ ($0.45 R_n$).

Стойки вантовых ферм приняты из труб сечением 159x5 мм. Вантовые фермы раскреплены 3-мя кольцевыми крестовыми связями из арматурной стали класса S400 диаметром $d = 25 \text{ мм}$ (рисунок 2).

Пося нижнего и верхнего колец приняты общей шириной 1120 мм. Внутренний радиус кольца составляет 5020 мм, наружный – 6820 мм, угол между смежными узлами крепления вант 7.5° . Полки нижнего кольца имеют сечение $50 \times (700+420) \text{ мм}$,

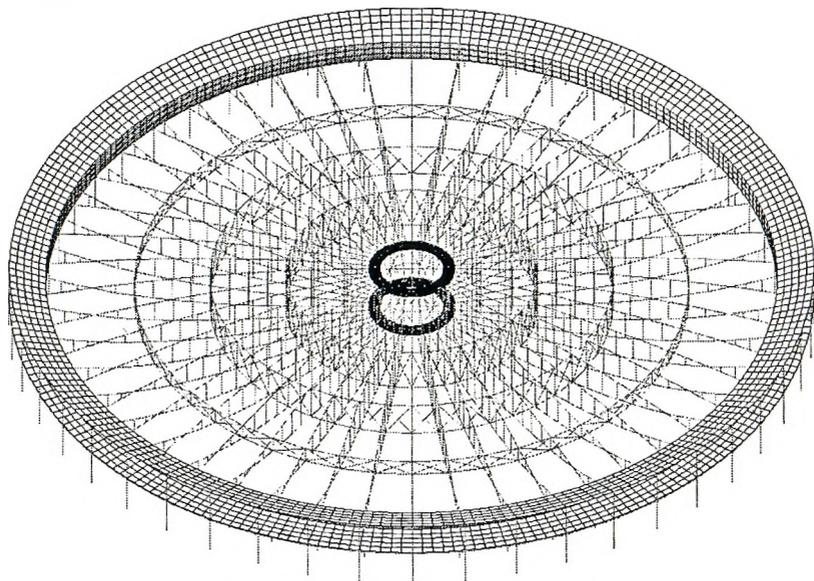


Рисунок 1 - Аксонометрия вантового покрытия

верхнего - $25 \times (700+420) \text{ мм}$, Расстояние между полками для размещения анкеров в нижнем кольце 400 мм, в верхнем - 300 мм (рисунок 2).

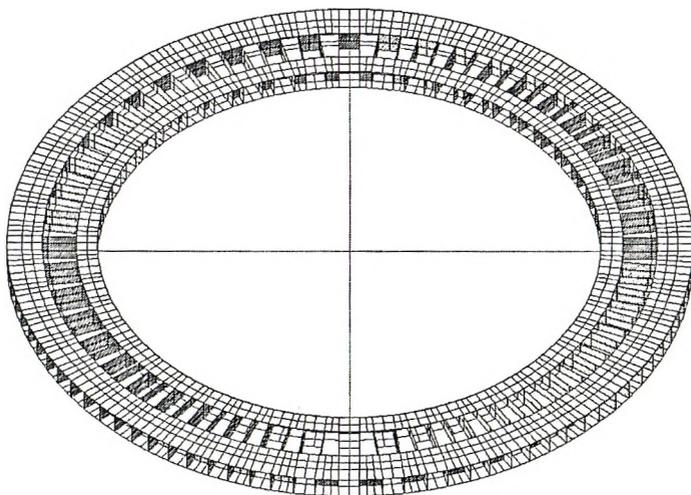


Рисунок 2 — Общий вид конечно-элементной модели металлических колец

Расстояние между внутренними и наружными полками колец по горизонтали принято равным 680 мм, что дает ширину поперечного сечения колец 1800 мм. Внутренние и наружные полки колец объединены в радиальном направлении вертикальными ребрами толщиной 20 мм для нижнего кольца и 16 мм для верхнего, к которым привариваются упорные пластины толщиной 50 мм для крепления вант. В отсеках, свободных от канатов, предусмотрены ребра и в кольцевом направлении, а также горизонтальные ребра посередине высоты колец из листа толщиной 12 мм (рисунок 3). Крепление вант осуществлялось в окнах с помощью анкерных устройств фирмы Freyssinet к плитам, которые передают нагрузку на упорные пластины. Верхнее и нижнее кольца соединены между собой 24 стойками из труб сечением 159x5 мм.

Расчет металлических колец выполнен при различных загрузках, включая особые сочетания, обусловленные отказом (разрушением) одной из вант, а также развитием больших деформаций в поясах кольца.

В качестве наружных опорных колец используются железобетонные перекрытия поперечным сечением 6300x300 мм, соединенные между собой по внутренней грани цилиндрической стенкой. Бетонная стена толщиной 400 мм расположена по всей окружности диаметром 116 м. В местах крепления вант установлены монолитные железобетонные пилоны шириной от оси стены 1000 мм, толщиной 700 мм.

Расчет вантовой системы. Для определения сечений несущих и стабилизирующих вант, сечений центральных металлических колец, сечений соединительных стоек и расположения кольцевых связей выполнен предварительный расчет вантовой системы по методике Н.С. Москалева, принятой в Рекомендациях ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко по проектированию висячих конструкций [2].

В основу исследований напряженного и деформированного состояния несущих конструкций покрытия спортивной арены использовались программные комплексы ЛИРА -RK5 [3], ANSYS [5] и COSMOS/M. Учитывая особенность применяемых вантовых конструкций – их большую деформативность и способность вант работать только на растяжение, задача решалась в геометрически и конструктивно нелинейной постановке. Разрешающая система нелинейных алгебраических уравнений решалась методом сопряженных градиентов.

Расчетная схема пространственной двухъярусной радиальной вантовой системы создана на основе полуфермы по заданной геометрии. Совместно с внутренними верхним и нижним металлическими кольцами, соединенными стержневой решеткой, полуфермы образуют единую пространственную нелинейно деформируемую вантово-стержневую систему, опирающуюся на наружный железобетонный опорный контур. В расчетной схеме покрытия пояса вантовых ферм, а также пояса и диагонали связевых ферм рассматривались как гибкие нити, работающие только на растяжение.

Монтаж вантового покрытия. Для монтажа вантового покрытия в центре арены смонтирована временная пространственная опора, на которую были установлены металлические кольца центрального барабана. Верхнее кольцо барабана опирается на нижнее через 24 трубчатые стойки, развязанные между собой. Монтаж вантовых ферм производился навесным способом с использованием канатной дороги из двух 7-проволочных стальных прядей. Канатная дорога закреплялась на верхнем железобетонном кольце в металлических упорах. Монтаж вант велся с использованием переставных рабочих платформ на двух уровнях у железобетонного кольца для одновременной работы с несущими и стабилизирующими вантами. Стойки вантовых ферм подавались башенным краном в зону рабочих платформ и присоединялись к хомутам вант по мере их перемещения в сторону центральных металлических колец.

С одной стороны вант крепился нерегулируемым анкером в виде стальной серги, а с другой – регулируемый анкер с гайкой, позволяющий регулировать величину натяжения вант. Формируемые фермы перемещались по канатной дороге на специальных каретках при помощи лебедок (рисунок 3) и закреплялись в неподвижных анкерах на железобетонных перекрытиях. В металлических кольцах центрального барабана вантовые фермы закреплялись с помощью регулируемых анкеров.

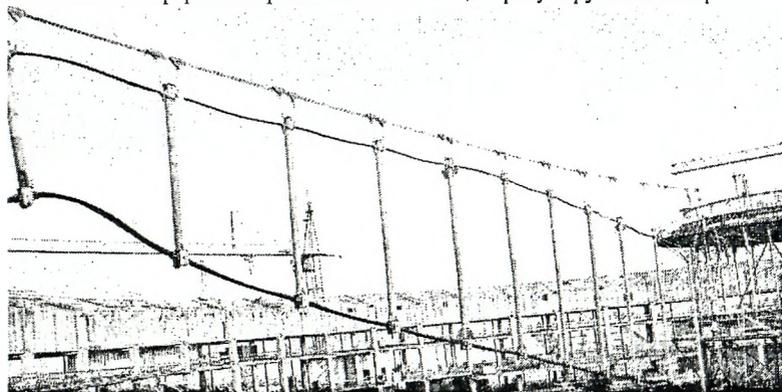


Рисунок 3 - Монтаж вантовых ферм

Несущие ванты заводились с усилием 14 тс, а стабилизирующие – с усилием 2 тс, что обеспечивало устойчивость поясов ферм во время монтажа. Предварительное исследование на физической модели вантовой фермы в масштабе 1:25, проведенное в лаборатории испытания конструкций БНТУ, показало, что при этих условиях устойчивость поясов обеспечивается.

Ванты шарнирно подсоединялись к железобетонному кольцу с помощью цапф, которые вставлялись в проушины анкерных устройств железобетонного кольца и вант.

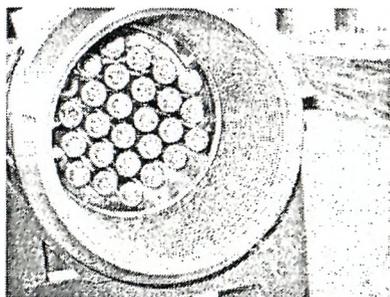


Рисунок 4 - Глухие анкера прядей несущей ванты

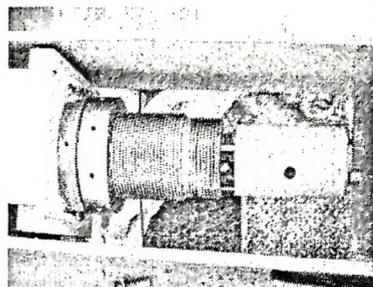


Рисунок 5 - Анкеровка вант на металлическом кольце

На центральный барабан анкер несущей ванты заводился с усилием 140 кН, анкер верхней стабилизирующей ванты, снабженный тягой с гайкой для регулирования длины при натяжения, заводили тяговым усилием 20 кН. Вантовые фермы напрягались в три этапа усилиями 140 кН, 350кН и 510 кН. После предварительного натяжения стабилизирующих вант на анкерные устройства надевались металлические кожухи, которые заполнялись расплавленным парафином для защиты оголенных участков прядей в местах крепления анкеров от коррозии. Освобождение центральной башни проводилось с помощью 8 гидродомкратов путем последовательного опускания телескопических участков стоек башни.

Ограждающими конструкциями покрытия служат стальные панели из профилированного настила 16 типоразмеров трапецидального очертания. Их укладывают по верхним поясам вантовых ферм на столики вертикальных стоек. Общий вид смонтированной двухпоясной вантовой системы покрытия представлен на рисунке 6.

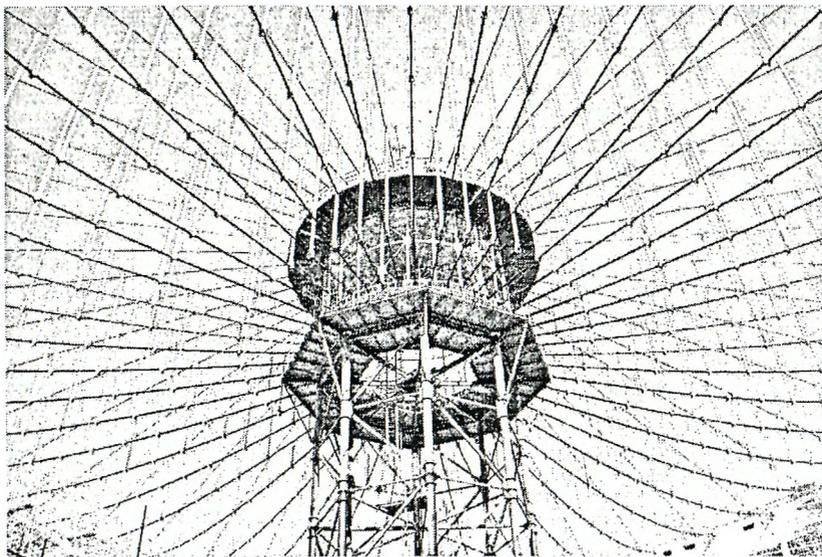


Рисунок 6 - Смонтированная система вантового покрытия

Заключение. 1. Радиальная двухпоясная вантовая система спортивно-зрелищной арены комплекса «Минск-Арена» диаметром 116,0 м отличается легкостью и стабильностью покрытия, небольшой высотой строительного отапливаемого объема.

2. Компьютерный анализ напряженно-деформированного состояния двухпоясной вантовой системы с одновременным использованием нескольких программных комплексов позволил оперативно вносить коррективы в расчетные модели и показал высокую сходимости результатов.

3. Монтаж вантовых ферм навесным способом с использованием канатной дороги без установки лесов показал его высокую эффективность

Список цитированных источников

1. Ванты Фрейссине. / Представительство «Фрейссине Интернасьональ» в России.– М.: 2006.

2. Рекомендации по проектированию висячих конструкций./ ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко Госстроя СССР. – М.: 1974.

4. Стрелец-Стрелецкий, Е.Б., Гензерский, Ю.В., Лазнюк, В., Марченко, Д.В., Титок, В.П. Лира 9.2.Руководство пользователя. Основы: учебное пособие. Киев: издательство «Факт», 2005. – 145 с.

4. Басов, К.А. ANSIS в примерах и задачах. – М.: Компьютер Пресс, 2002.

РАСЧЕТ НЕСИММЕТРИЧНОГО СВОДА НА НЕПОДВИЖНУЮ НАГРУЗКУ

Старовойтов С.А.

Гродненский государственный университет им. Я. Купалы, г. Гродно

Введение. Современные математические модели поведения материалов и алгоритмы конечно-элементного анализа позволяют решать множество задач строительного профиля. Однако дальнейшее уточнение методов формирования уравнений строительной механики не приводит к качественному изменению подходов к проектированию. С другой стороны, наблюдается внедрение в конечно-элементные модели алгоритмов проектирования, разрабатываются новые подходы к формулировкам и решению задач исследования напряженно-деформированного состояния. Одним из методов проверки численных решений задач строительной механики является получение аналитических решений.

В работе рассматривается аналитический метод определения параметров напряженно-деформированного состояния несимметричного свода под действием распределенной нагрузки.

Методика расчета. Подбор материала и основных геометрических параметров свода осуществляется на основе расчета перемещений с последующей проверкой условий прочности.

Расчетную схему свода (рисунок 1) можно представить в виде системы арок 1 с максимальным расстоянием 5 от горизонтальной поверхности 2. К внешней поверхности арки приложена распределенная нагрузка $q(x, z)$.

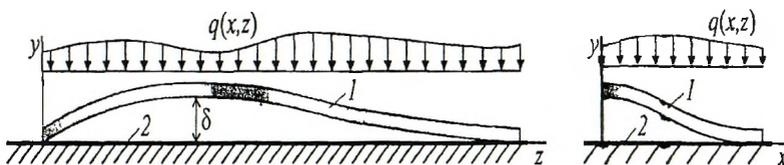


Рисунок 1 – Расчетная схема несимметричного свода

Для определения перемещений рассматриваемого свода используется аппроксимация континуальной области дискретной системой криволинейных стержней: свод разделен продольными плоскостями (параллельными yz) на криволинейные элементы шириной b (рис. 2), каждый из которых представляет собой несимметричную арку. Ее работа описывается при помощи геометрической модели: принимается гипотеза плоских сечений Бернулли, материал — несжимаемым в направлении нормали к оси арки. Геометрическое место центров тяжести поперечных сечений образует ось арки, перемещение этих точек по вертикали является прогибом.

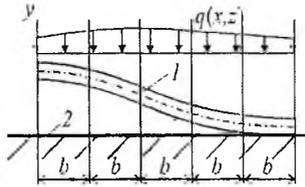


Рисунок 2 – Дискретизация свода по ширине

Внешняя нагрузка представлена в виде численно заданной функции $q(x, z, t)$, изменяющейся во времени. Чтобы избежать двумерной аппроксимации $q(x, z)$ для отыскания аналитического выражения $q(x, z)$, свод разделен в направлении оси x на участки, в пределах каждого из них нагрузка усредняется и заменяется эквивалентной квазистатической равномерно распределенной вдоль оси z . Условием эквивалентности является равенство максимальных перемещений при действии каждой из нагрузок:

$$y_{\max} = y_{\text{equiv}} \quad (1)$$

Перемещения определяются методом единичной нагрузки с учетом внутренних изгибающих моментов и поперечных сил. Ввиду малых перемещений нагружается консольная балка, а не арка. Прогиб достигает максимального значения на конце консоли. Прикладывая в этом сечении вертикальную единичную силу, получим функции внутренних единичных усилий:

$$\bar{M}_x = -x; \quad \bar{Q} = -1. \quad (2)$$

Построив функцию M и Q от внешней нагрузки, при помощи формулы Максвелла-Мора найдем перемещение y_{\max} .

Рассматривая действие q_{equiv} , вычислим перемещение y_{equiv} :

$$y_{\text{equiv}} = \frac{q_{\text{equiv}} l^4}{8EJ_x} + \eta \frac{q_{\text{equiv}} l^3}{GA}. \quad (3)$$

Тогда с учетом (3) уравнение (1) разрешается относительно q_{equiv} и в дальнейшем внешняя нагрузка заменена эквивалентной равномерно распределенной. Повторяя такую аппроксимацию для всех участков по ширине, получим набор дискретных нагрузок, действующих на поверхность свода.

Таким же образом осредняется нагрузка в направлении оси z , но для определения y_{equiv} используется однопролетная шарнирно закрепленная балка.

Для определения внутренних усилий, перемещений и напряжений рассматривается вырезанная двумя продольными сечениями арка с затяжкой, моделирующей дополнительные горизонтальные связи. Расчет проводится методом сил. В качестве неизвестной принимается усилие в затяжке. Каноническое уравнение имеет вид:

$$(\delta_{11} + l / (E_{\text{зам}} A_{\text{зам}})) X_1 + \Delta_{1p} = 0. \quad (4)$$

Единичное δ_{11} и грузовое Δ_{1p} перемещения определены при помощи формулы Максвелла-Мора, а внутренние усилия и перемещения – принципа независимости действия сил с учетом (4).

Конечные прогибы могут быть получены методом последовательных приближений. Решение линейной задачи о деформировании арки принимается за первую итерацию. На втором шаге определяется новое положение оси арки коррекцией ее ординат с учетом упругих перемещений, после чего повторяется расчет по предыдущему алгоритму. Сходимость решения оценивается по кубической норме.

Материал несущей части стельки проявляет упругие свойства. Однако процесс деформирования описывается нелинейным законом. Введем функцию физической нелинейности $\varphi(\varepsilon_{ni})$ в закон Гука:

$$s_{ij} = 2G(1 - \varphi(\varepsilon_{ni}))\varepsilon_{ij}; \quad \sigma = 3K_\varepsilon \quad (i, j = x, z) \quad (5)$$

Выделив в напряжениях и внутренних усилиях линейную и нелинейную составляющие, введем в них функцию $\varphi(\varepsilon_{ni})$ в соответствии с (5). Основные соотношения и процедура определения внутренних усилий не изменятся, но в уравнения равновесия войдут нелинейные добавки, которые определяются посредством численного интегрирования.

Для учета подкрепления свода в расчетную схему вводится система податливых опор. Тогда, разделив арку на малые участки по длине, получим систему криволинейных однопролетных стержней. Для определения перемещения используется точное дифференциальное уравнение упругой линии балки, в которое внесен первоначальный радиус кривизны арки ρ_0 (являющийся в общем случае функцией от z):

$$\frac{w'''}{(1 + (w')^2)^{3/2}} + \frac{w}{\rho_0} = \frac{M(z)}{\int y^2 \int E(x, y, z) dx dy} \quad (6)$$

Уравнение (6) разрешается методом прямого интегрирования:

$$w = \int \frac{-z + rA + C_1}{\sqrt{-z^2 - 2rAz + 2C_1z - r^2(A^2 - 2rAC_1 - C_1^2 + r^2)}} dz + C_2,$$

где $A = \int \frac{M(z)}{\int y^2 \int E(x, y, z) dx dy}$.

Заметим, что константа интегрирования C_1 входит не линейно, а содержится в подынтегральном выражении.

Для определения C_1, C_2 стержень разбивается на участки i , используя граничные условия каждого i -го участка

$$M_{i-1}^{нес} = M_i^{прас}; \quad Q_{i-1}^{нес} - Q_i^{прас} = kR_i / n;$$

$$w_{i-1}^{нес} = w_i^{прас} = kR_i / n; \quad (w_{i-1}^{нес})' = (w_i^{прас})',$$

получим систему уравнений для определения двух констант интегрирования на каждом участке.

Таким образом, в работе получены основные соотношения для описания параметров напряженно-деформированного состояния несимметричного свода под действием распределенной нагрузки, приводятся рекомендации по выбору формы срединной поверхности.

Список цитированных источников

1. Тимошенко С. П., Гере Дж. М. Механика материалов. – СПб.: Изд-во «Лань», 2002. – 672 с.

2. Старовойтов С.А. Изгиб стрелы произвольного поперечного сечения, имеющего начальную кривизну / Старовойтов С. А. // Материалы XIII международного симпозиума «Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред» им. А. Г. Горшкова. / Москва, 12–16 февраля 2007 г. – М., 2007. – С. 232.

УДК 628.292.002.2:303.06

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ GSM ТЕЛЕМЕТРИИ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ КАНАЛИЗАЦИОННОЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

Боровиков Д.В., Грицук А.И.

СООО «МАМТ», г. Минск

Введение. Быстрое повсеместное развитие сотовых сетей стандарта GSM открывает новые возможности для решения задач сбора информации о работе различного оборудования, применяемого в ЖКХ, и дистанционного управления им по каналам сотовой связи. Особенностью такого оборудования является то, что оно распределено по большой территории, имеет много узлов, где необходим контроль, и часто работает без постоянного надзора. Примером служат насосные станции систем водоотведения, которые представляют собой комплекс сооружений и оборудования, обеспечивающий водоотведение стоков в соответствии с нуждами потребителя. Рассматриваемая в статье автоматизированная система управления предназначена для автоматизации процесса сбора и обработки информации о работе КНС "Форты" (г. Гродно).

КНС "Форты" введена в эксплуатацию в 1974 году. По расположению в общей схеме системы водоотведения насосная станция КНС "Форты" является районной, основной функцией работы которой является сбор стоков микрорайона "Форты" и перекачка их на ГОСК [1]. Основной целью при автоматизации данной станции является разработка АСУ ТП для контроля, управления и сбора информации без участия в процессе человека. При разработке АСУ ТП предъявляются требования по экономичности и надежности.

Задачи. Исходя из целей, разработка АСУ ТП для КНС "Форты" включает в себя ряд задач:

1. Автоматический контроль и управление технологическим процессом работы КНС путем поддержания в заданных пределах уровня в приемном резервуаре.

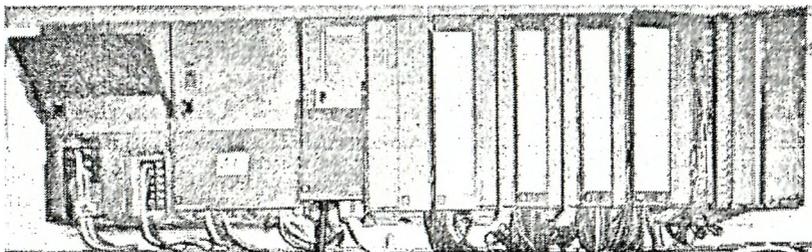
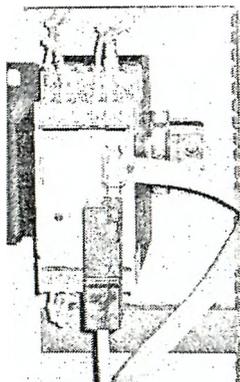


Рисунок 2 - Контроллер

В схеме управления двигателем используются устройства пуска (SIKOSTART 3RW30) и защиты двигателя SIMOCODE (рис. 3).



SIMOCODE pro (Siemens Motor Protection and Control Device) - аппарат защиты и управления двигателем. Функции защиты электродвигателя:

1. SIMOCODE pro защищает трехфазные двигатели.
2. Номинальные токи от 3,0 А до 45 А.
3. Классы срабатывания CLASS 5/10/15/20/25/30
4. Основные защиты: перегрузка, обрыв фазы, несимметрия тока, блокировка ротора, термисторная тепловая защита двигателя.

Рисунок 3 - SIMOCODE pro GG2

Эти функции уже содержат в себе на программном уровне все блокировки и связи, необходимые для обеспечения работы используемых двигателей и через релейные выходы SIMOCODE-DP позволяют непосредственно включать и отключать контакторы двигателей [2].

SIKOSTART 3RW30 применяется для плавного запуска и остановки двигателя. Данная серия снабжена встроенным шунтирующим пускателем. Благодаря этому, во-первых, уменьшается мощность потерь тиристора, во-вторых, силовая часть используется эффективнее, так как она перед новым разгоном успевает охладиться до окружающей температуры [3].

Запись и передача архивных данных. Все показатели о состоянии станции архивируются в контроллере с временными метками. Весь процесс записи в архив и передачи данных на диспетчерский пункт выглядит следующим образом:

1. При изменении какого-либо параметра, его значение записывается во flash-память контроллера.
2. При опросе станции ДП по заданному графику либо при необходимости, все архивные данные, накопившиеся с момента последнего сеанса связи, разбиваются на пакеты и отправляются в ДП.
3. В диспетчерском пункте данные обрабатываются и записываются в базу данных (БД) Proficy Historian 3.1.

Также возможен опрос состояния станции на текущий момент, в этом случае осуществляется передача только текущих значений всех параметров. При возникновении аварии на станции производится автоматический звонок в ДП с передачей текущих значений и сообщением об аварии.

Обмен данными по GSM-каналу осуществляется с помощью протокола. Протокол передачи данных можно использовать стандартный (Modbus) либо собственной разработки. Для реализации некоторых задач функций стандартного протокола не достаточно. Разработка своего протокола не накладывает функциональных ограничений, а также своей индивидуальностью позволяет снизить риск утечки данных к минимуму. Однако это является и недостатком, так как разработанный протокол не унифицирован.

Диспетчерский пункт. Верхний уровень АСУ ТП представлен компьютерами ДП и средствами вывода информации. Диспетчерский пункт территориально расположен на значительном расстоянии от локальных систем управления. Программный комплекс верхнего уровня обеспечивает:

1. Отображение, архивирование и протоколирование информации о состоянии технологических объектов.
2. Формирование и архивирование сообщений о событиях в системе.
3. Возможность централизованного управления локальными системами.
4. Формирование и выдачу на печать различных отчетов.

Для визуализации состояния оборудования насосных станций используется SCADA-система iFix 4.5 (обменивается данными с Proficy Historian 3.1). Преимуществом этого пакета, кроме простоты использования и надежности, является открытость, т.е. предоставление пользователю возможности самостоятельного расширения и модернизации системы [4].

Эффект от внедрения АСУ ТП. АСУ ТП перевела КНС «Фортъ» на автоматический режим работы, устранив тем самым влияние человеческого фактора. Также было достигнуто следующее:

1. Снижено энергопотребление основными насосами на 15 % за счет внедрения устройств плавного пуска.
2. Повышена надежность за счет применения качественного оборудования.
3. Существует возможность дистанционного управления станцией.
4. Реализована возможность диагностики станции.
5. Обеспечена бесперебойная работа городской КНС вне зависимости от количества поступающих стоков (в пределах мощности станции).

Список цитированных источников

1. www.vodokanal.grodno.by
2. Устройство мягкого пуска SIKOSTART 3RW30 [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые, граф., зв. дан. (4,5Мб) – М.: Siemens, Издание 11/2006.
3. SIMOCODE pro: Руководство по проектированию, вводу в эксплуатацию, ремонту и обслуживанию [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые, граф., зв. дан. (10,8Мб) – М.: Siemens, Издание 10/2005.
4. www.asucontrol.ru

ПАРОГАЗОГЕНЕРАТОР ДЛЯ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Северянин В.С.

Брестский государственный технический университет

В технологии производства строительных материалов, изделий и конструкций используется большое количество теплоты. Эта теплота образуется, как правило, в котельных и в виде горячего пара определённых параметров подаётся на объект воздействия. Таким образом, для теплопотребителя требуется собственная котельная или подсоединение к магистральным паропроводам. Очевидна низкая энергетическая эффективность такой схемы теплоснабжения (невысокий КПД у производителя теплоты, большие потери при транспорте и т.п.), крупные капитальные затраты и текущие расходы, инерционность технического и административного управления, большие пусковые издержки.

В последнее время в качестве теплоносителя начинает использоваться парогаз. Это смесь продуктов сгорания и водяных паров. Чаще вода впрыскивается в горячий газовый поток. Эта конструкция неудобна тем, что требуется повышенное давление для водяных форсунок, вода должна быть достаточно чистой, объём для завершения испарения велик. Чистые продукты сгорания подразумевают только газообразное топливо, что не всегда удобно.

В Брестском государственном техническом университете, в научно-исследовательской лаборатории ПУЛЬСАР разработан парогазогенератор на основе пульсирующего горения топлива (жидкого или газообразного). Источник теплоты – камера пульсирующего горения (КПГ), требует своего охлаждения (температура факела внутри неё порядка 1200°С), чтобы отказаться от дорогих жаростойких сталей. При охлаждении стенок КПГ водой образуется пар. Пульсирующее горение позволяет сжигать топливо без недожогов, вредные и нежелательные соединения в продуктах сгорания отсутствуют, и смешение пара с этим газовым потоком даёт теплоноситель – парогаз высокого качества для термовлажностного воздействия.

Конструкция парогазогенератора (ПГГ) представляет собой КПГ (камера воспламенения, резонансная труба, аэродинамический клапан, форсунка, пусковая электросвеча, топливный насос), погружённую в водяную ванну с элементами подачи воды (поплавковый регулятор уровня, дренаж, перелив). Обязательным элементом является шумоглушитель, т.к. КПГ излучает мощный звуковой поток; объём его используется так же для размещения вспомогательных частей (вентилятор, фильтры, регуляторы, источники высокого напряжения для электросвечи и т.п.). ПГГ максимально приближен к объекту, поэтому отсутствуют газоходы, паропроводы. Парогаз целиком направляется, например, в пропарочную камеру, дымовая труба отсутствует. Аппарат автономен, транспортابلен (своё шасси или перевозка на платформе).

Достоинства ПГГ: высокое качество процесса горения; отсутствуют недожоги, сажа. Происходит самоочистка от отложений (накипь, шлак) за счёт вибраций при горении. Теплопередача от газового потока воде и пару в несколько раз интенсивнее, чем в стационарном режиме теплопередающих сред. Благодаря действию аэродинамического клапана происходит автоматическое засасыва-

ние воздуха и выброс продуктов сгорания. Интенсификация горения и теплообмена даёт уменьшение габаритов (без глушителя устройство в 2–3 раза меньше аналогичных той же мощности). Избыточное давление в объектах ПГГ отсутствует. КПГ допускает свободную компоновку как внутри аппарата, так и с объектами воздействия. Отсутствие дорогих легированных сталей, простота конструкции и эксплуатации обуславливают сравнительно невысокую цену.

Краткая техническая характеристика ПГГ:

- расход топлива (соляр, печное и т.п.).....5...15кг/час
- производительность: по газу..... 100...500н м³/час
- по пару..... 50...150 кг/час
- температура: продуктов сгорания..... 700...1200°С
- пара..... до 100°С
- парагоза..... 200...500°С
- давление парагоза..... атмосферное
- относительная влажность парагоза..... до 100%
- тепловая мощность..... 50...120КВт
- ёмкость водяной ванны.....150...200л
- излучаемый шум (с глушителем)..... 80...85 дБ
- частота..... 30...50 Гц
- общая масса без воды..... около 300 кг
- габариты с глушителем..... 2x1,2x1 м

Пилотный образец ПГГ собран совместными усилиями БрГТУ, Брестского радиотехнического завода, СУ-262 стройтреста № 8. ПГГ был установлен на одной из пропарочных камер СУ-262 и введён в эксплуатацию в ноябре 2008 г. для термовлажностной обработки железобетонных изделий. До этого термическая обработка производилась передвижными нагревателями воздуха типа REMINGTON и представлял собой фактически сушку горячим воздухом. Перед вводом в эксплуатацию в августе 2008 г. были проведены предварительные испытания. Температура в пропарочной камере при работе ПГГ составила 60...80°С, относительная влажность 100%. Результаты по технологическому процессу термической обработки признаны положительными. В марте 2009 г. были проведены приёмочные испытания в соответствии с СТБ 972-2000. Приёмочная комиссия установила:

- состав и комплектность опытного образца соответствует технической документации,
- опытный образец парагозогенератора соответствует патенту № 4935 (патентообладатель – БрГТУ),
- предъявленный опытный образец выдержал приёмочные испытания (акт приёмочной комиссии стройтреста № 8, СУ-262 от 27.03.09).

В справке о результатах использования ПГГ для обработки железобетонных изделий, выданной СУ-262, говорится: «Применение ПГГ позволило производить полноценную термическую обработку железобетонных изделий с соблюдением нормативных температурных и влажностных режимов, в т.ч. в осенне-зимний период, что было в принципе невозможно при отсутствии пара (применение воздухонагревателей). Выросли объёмы выпуска железобетонных изделий при значительном повышении их качества».

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХСЯ В ВОЗДУШНЫХ СРЕДАХ, С УЧЕТОМ КАРБОНИЗАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

А. А. Васильев

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Введение. Железобетонные конструкции (ЖБК) составляют основную долю конструкций капитальных зданий и сооружений. Основным процессом нейтрализации бетона ЖБК является карбонизация, по мере развития которой происходят структурные изменения цементного камня, вызывающие деградацию бетона, приводя к снижению его защитных свойств по отношению к арматуре. Развиваясь во времени, они способствуют развитию коррозии арматуры, приводя в итоге к потере конструкцией несущей способности и возникновению аварийной ситуации.

В соответствии с п. 8.3.17 ТКП 45-1.04-37-2008 (02250) «Обследование строительных конструкций зданий и сооружений. Порядок проведения» состояние бетона по степени карбонизации определяется фенолфталеиновой пробой либо другими методами. Поскольку о других методах ничего не сказано, основным способом оценки и прогнозирования состояния бетона и его влияния на стальную арматуру остается фенолфталеиновый тест. При его использовании на скол бетона наносится 0,1 % спиртовой раствор фенолфталеина. Считается, что бетон в неокрашенной зоне нейтрализован и потерял свои защитные свойства по отношению к арматуре, а в окрашенной – находится в удовлетворительном состоянии. На основе определения толщины нейтрализованного слоя бетона фенолфталеиновым тестом выведено основное уравнение карбонизации бетона и построена модель карбонизации. В ее основе лежат представления о том, что карбонизация развивается линейно с поверхности вглубь конструкции, ее скорость определяется эффективным коэффициентом диффузии CO_2 , при этом реакция карбонизации происходит в узкой (около 1 мм) зоне [1].

Многолетние авторские исследования ЖБК по сечению конструкций [2–4] показывают, что карбонизация бетона развивается с поверхностных слоев вглубь бетона конструкций не фронтально, а по экспоненциальной зависимости (степень карбонизации бетона максимальна в поверхностных слоях). Скорость карбонизации определяется условиями эксплуатации. При этом значения толщины слоя бетона, в которой он потерял защитные свойства по отношению к арматуре, определенные индикаторным тестом и физико-химическим методом (методами рН- и карбометрии), отличаются до нескольких раз, а коррозионные процессы различной интенсивности в арматуре присутствуют в зоне, в которой по индикаторному тесту бетон сохраняет свои защитные свойства по отношению к арматуре. Кроме того, в лабораторных условиях выявлено, что на границе перехода неокрашенной зоны бетона в окрашенную – $\text{pH} \approx 10$ [5], а, в соответствии с исследованиями [6] коррозия арматуры возможна при $\text{pH} \leq 11,8$.

Индикаторный метод не позволяет количественно оценивать показатель рН в зоне расположения арматуры, детально судить об его изменении в нейтрализованной зоне и за ее пределами и, как следствие, – о состоянии защитных свойств бетона по отношению к арматуре. Таким образом, его применение не дает возможности объективно оценивать и прогнозировать процессы карбонизации и как следствие, техническое состояние ЖБК.

В связи с вышеизложенным, возникла необходимость разработки методики оценки и прогнозирования технического состояния ЖБК, основанной на изучении физико-химических процессов, происходящих в бетоне защитного слоя, и их влиянии на изменение защитных по отношению к арматуре свойств бетона.

Цель работы. Целью данной работы явилось: разработка критериев оценки технического состояния ЖБК, эксплуатируемых в различных воздушных средах, на основе методов рН- и карбометрии; прогнозирование изменения показателей рН (водородного показателя водной вытяжки цементного камня) и КС (карбонатной составляющей) во времени в зависимости от условий эксплуатации. В основу исследований положено использование методов рН- и карбометрии, поскольку показатель рН является основной количественной характеристикой перерождения цементного камня в карбонаты или другие продукты химического взаимодействия под воздействием внешней среды и является универсальной характеристикой состояния бетона и его защитных свойств по отношению к арматуре, а карбонатная составляющая характеризует количественное содержание карбонатов в цементно-песчаной фракции бетона в массовых процентах.

Объект и методы исследования. Объектами исследования служили ЖБК различных типов, эксплуатировавшиеся длительные сроки в различных воздушных средах. Для анализа отбирались образцы бетона в зоне расположения арматуры. Показатель рН определялся по методике [7]. Показатель КС – объемно-газовым методом [8]. Статистическую обработку экспериментальных данных производили при помощи табличного процессора «Excel» и пакета статистического анализа данных «Statgraphics».

Экспериментальные результаты. В результате обследования многочисленных ЖБК, эксплуатировавшихся в различных воздушных средах, при оценке состояния арматуры были выявлены разные степени ее коррозионных повреждений. Полученные результаты систематизированы с целью сопоставления коррозионного состояния стальной арматуры с параметрами защитного слоя бетона. Для оценки состояния арматуры разработана соответствующая балльная система, приведенная в таблице 1.

Таблица 1 – Оценка состояния стальной арматуры ЖБК

Степень коррозии арматуры (балл)	Внешние признаки коррозии арматуры
I	Чистая поверхность
II	Сплошная коррозия до 50 % поверхности стержня
III	Сплошная коррозия более 50 % поверхности стержня
IV	Пластинчатая коррозия малой степени интенсивности (уменьшение площади сечения на величину до 20 %)
V	Пластинчатая коррозия средней степени интенсивности (уменьшение площади сечения стержня на величину более 20 %)

Для оценки зависимости коррозионного состояния арматуры от физико-химических показателей бетона определяли показатели рН и КС бетона, находящегося в зоне расположения арматуры. Путем статистической обработки полученных данных получены области распределения показателей рН и КС с доверительной вероятностью 0,95 для различных степеней коррозии арматуры. Полученные результаты позволили назначить количественные критерии качественной оценки технического состояния ЖБК для различных условий эксплуатации по показателям рН и КС цементно-песчаной фракции бетона [4], а также для оценки технического состояния конструкций, эксплуатируемых в условиях сельскохозяйственных помещений предложить для [9] класс по условиям эксплуатации ХС5 ($70\% < RH \leq 90\%$, концентрация $CO_2 - 0,2...0,3\%$).

Выборка из критериев оценки технического состояния ЖБК для условий эксплуатации класса ХС3 представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Критерии оценки технического состояния ЖБК для класса по условиям эксплуатации ХС3

рН	КС, %	Состояние бетона и арматуры Техническое состояние железобетонной конструкции (в соответствии с СНБ 1.04.01-04)
12,5– 11,8	<5	Бетон сохраняет защитные свойства по отношению к арматуре, арматура находится в пассивном состоянии. Состояние бетона, арматуры – хорошее. Техническое состояние ЖБК – хорошее
12,5– 11,8	6–9	Происходит плавное снижение показателя рН. Его значение приближается к границе, после которой бетон теряет свои защитные свойства по отношению к арматуре, что создает вероятность развития ее коррозии во влажной среде либо в условиях переменного увлажнения. Бетон сохраняет защитные свойства по отношению к арматуре, арматура – в пассивном состоянии. Состояние бетона, арматуры – удовлетворительное. Техническое состояние ЖБК – удовлетворительное
10,9– 10,5	9– 20	Ускорение деградиционных процессов в бетоне и арматуре. II степень коррозии арматуры при сроке эксплуатации конструкции до 15 лет. III степень коррозии арматуры при сроке эксплуатации конструкции более 20 лет. Состояние бетона, арматуры – не вполне удовлетворительное. Техническое состояние ЖБК – не вполне удовлетворительное
<9,5	16– 29	Полная дегградация бетона. Потеря сцепления цементного камня с заполнителем. Отслаивание и разрушение защитного слоя бетона. V степень коррозии арматуры. Состояние бетона и арматуры – неудовлетворительное. Техническое состояние ЖБК – неудовлетворительное (предаварийное)
<10	2–9	Нарушен рецептурный состав (недостаток вяжущего и избыток заполнителей). Техническое состояние конструкций оценивается по результатам детального обследования

Разработанные критерии соответствуют только тяжелым бетонам, обеспечивающим пассивное состояние стальной арматуры, начиная с момента изготовления конструкции. Они позволяют значительно более объективно оценить техническое состояние ЖБК на момент обследования, но не позволяют прогнозировать его изменение во времени. Для оценки изменения во времени показателей рН и КС бето-

на в зоне расположения арматуры по результатам обследования различных типов ЖБК построены регрессионные модели зависимостей \sqrt{t} - рН (КС). Они показывают, что с увеличением возраста эксплуатации конструкций показатель рН поровой влаги цементного камня линейно снижается, а содержание карбонатов растет, что дает основание утверждать о существовании параболической зависимости изменения показателей рН и КС в поверхностных слоях бетона во времени. Для различных условий эксплуатации они незначительно отличаются углами наклона [4]. При обработке полученных зависимостей \sqrt{t} - рН и \sqrt{t} - КС методами регрессионного и корреляционного анализов выведены аналитические выражения для свежизготовленных конструкций, позволяющие прогнозировать изменение во времени показателей рН и КС для различных условий эксплуатации [4].

Так, для атмосферных условий:

$$\text{рН} = 12,33 - 0,39\sqrt{t}, \quad (1)$$

$$\text{КС} = 2,66 + 3,13\sqrt{t}, \quad \%. \quad (2)$$

Для условий общественных зданий:

$$\text{рН} = 12,10 - 0,28\sqrt{t}, \quad (3)$$

$$\text{КС} = 2,04 + 2,77\sqrt{t}, \quad \%. \quad (4)$$

Для условий помещений с/х комплексов:

$$\text{рН} = 12,33 - 0,55\sqrt{t}, \quad (5)$$

$$\text{КС} = 2,18 + 3,52\sqrt{t}, \quad \%. \quad (6)$$

На основании зависимостей (1)–(6) получены выражения для прогнозирования изменения показателей рН и КС защитного слоя бетона по полученным на момент обследования значениям показателей щелочности поровой жидкости и карбонатной составляющей для различных условий эксплуатации:

– атмосферных –

$$\text{рН}_{\text{прог}} = \text{рН}_0 - 0,39(\sqrt{t_{\text{прог}}} - \sqrt{t_3}), \quad (7)$$

$$\text{КС}_{\text{прог}} = \text{КС}_0 + 3,13(\sqrt{t_{\text{прог}}} - \sqrt{t_3}), \quad (8)$$

– общественных зданий –

$$\text{рН}_{\text{прог}} = \text{рН}_0 - 0,28(\sqrt{t_{\text{прог}}} - \sqrt{t_3}), \quad (9)$$

$$\text{КС}_{\text{прог}} = \text{КС}_0 + 2,77(\sqrt{t_{\text{прог}}} - \sqrt{t_3}), \quad (10)$$

– помещений сельскохозяйственных комплексов –

$$\text{рН}_{\text{прог}} = \text{рН}_0 - 0,55(\sqrt{t_{\text{прог}}} - \sqrt{t_3}), \quad (11)$$

$$\text{КС}_{\text{прог}} = \text{КС}_0 + 3,52(\sqrt{t_{\text{прог}}} - \sqrt{t_3}), \quad (12)$$

где $\text{рН}_{\text{прог}}$ – прогнозируемое значение щелочности поровой жидкости;
 $\text{КС}_{\text{прог}}$ – прогнозируемое значение карбонатной составляющей, %;

- pH_0 – фактическое значение щелочности поровой жидкости, полученное при обследовании конструкции;
- KC_0 – фактическое значение карбонатной составляющей, %, полученное при обследовании конструкции;
- $t_{\text{прог}}$ – величина прогнозного периода с учетом возраста конструкции на момент обследования, лет;
- t_3 – возраст конструкции на момент обследования, лет.

Применение зависимостей (1)–(12) в совокупности с разработанными «Критериями оценки технического состояния ЖБК» дает возможность оценивать на момент обследования и прогнозировать изменение во времени технического состояния ЖБК и, как следствие, их долговечности в зависимости от условий эксплуатации.

Заключение. На основании результатов исследования изменения физико-химических свойств бетона при карбонизации защитного слоя, разработанных критериев оценки технического состояния ЖБК по показателям pH и KC, полученных аналитических выражений для прогнозирования изменения показателей pH и KC во времени, разработана методика оценки и прогнозирования технического состояния ЖБК, эксплуатирующихся длительные сроки в различных воздушных средах [10]. Предлагаемая методика, по сути, является новым неразрушающим методом обследования длительно эксплуатируемых, в различных атмосферных условиях, железобетонных конструкций.

Список цитированных источников

1. Алексеев С.Н., Розенталь Н.К. Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной промышленной среде. – М.: Стройиздат, 1976. – 205 с.
2. Васильев А.А. Опыт использования pH- и карбометрии для оценки состояния длительно эксплуатируемых железобетонных конструкций // Научно-технические проблемы современного железобетона: материалы Всеукраинской научно-технич. конф. – Сумы, 2005. – Т. 2. – С. 110–117.
3. Васильев А.А. Оценка изменения состояния железобетонных конструкций при длительном контакте с атмосферой // Материалы, технологии, инструменты. – 2005. – Т. 10, № 2. – С. 39–42.
4. Васильев А.А. Оценка и прогнозирование состояния железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в различных воздушных средах, на основе методов pH- и карбометрии / А.А. Васильев // Строительная наука и техника. – 2006. – № 4(7). – С. 81–88.
5. Кудрявцев И.А., Богданов В.П. Исследование карбонизации железобетонных конструкций с длительным сроком эксплуатации // Материалы, технологии, инструменты. – 2000. – Т. 5, № 3. – С. 97–100.
6. Бабушкин В.И. Физико-химические процессы коррозии бетона и железобетона. – М.: Стройиздат, 1968. – 187 с.
7. Комплексная оценка состояния длительно эксплуатируемых железобетонных конструкций: практическое пособие / А.А. Васильев [и др.]; под ред. А.А. Васильева. – Гомель: УО «БелГУТ», 2005. – 31 с.

8. Пятницкий А.К., Бабко А.К. Количественный анализ.— М.: Высшая школа, 1968.— 438 с.

9. Бетонные и железобетонные конструкции: СНБ 5.03.01-02. — Минск: РУП «Стройтехнорм», 2003. — 139 с.

10. Неразрушающие методы оценки и прогнозирование технического состояния железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в воздушных средах: практ. пособие / Т. М. Пецольд [и др.]; под. ред. А. А. Васильева; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. у-нт трансп. — Гомель: БелГУТ, 2007. — 146 с.

УДК 697.921.42

ЭФФЕКТИВНЫЕ И ЭНЕРГОРЕСУРСΟΣБЕРЕГАЮЩИЕ СИСТЕМЫ АСПИРАЦИИ ОТХОДОВ ДЕРЕВООБРАБОТКИ

Королёва Т.И., Каргавцева О.В.

Полоцкий государственный университет, г. Новополоцк

Введение. Интересы развития общества выявили настоятельную необходимость использования и внедрения ресурсосберегающих и экологически чистых технологий и производств. Разработка таких технологий и устройство соответствующих систем требуют длительного времени и крупных капиталовложений.

В Республике Беларусь, в силу природных условий, получила значительное развитие деревообрабатывающая промышленность. Производства, связанные с деревообработкой, потребляют значительное количество тепловой и электрической энергии за счет затрат на вентиляцию, оказывают негативное воздействие на окружающую среду. Состояние воздушной среды на предприятиях деревообрабатывающей промышленности не отвечает современным санитарно-гигиеническим требованиям, вследствие повышенной запыленности воздуха в помещениях и на прилегающих территориях.

Учитывая вышеизложенное, актуальность принятой к исследованию темы состоит в теоретической и экспериментальной разработке с обоснованием комплекса мероприятий по превращению вентиляции деревообрабатывающих предприятий в экологически чистые системы с пониженными энергозатратами.

Системы аспирации получили широкое применение в деревообрабатывающих цехах, где выполняют задачу непрерывного удаления древесных отходов от большого числа станков, работая с малыми массовыми концентрациями (обычно не более 0,1...0,8 кг/кг), транспортируя при этом значительно большее количество воздуха, чем материала. В результате становится высокой удельная стоимость такого транспорта.

Основная часть. Принципиальная схема системы аспирации (рис. 1) представляет собой сеть разветвленных всасывающих воздуховодов, подведенных к режущим инструментам станков, снабженных отсасывающими приемниками, которые предназначены для удаления отходов производства. Воздушный поток, создаваемый вентилятором, по отдельным ответвлениям транспортирует

отходы во взвешенном состоянии в общий сборник-коллектор и из него перемещает их за пределы цеха в циклон для отделения от воздуха, а затем отходы загружаются в бункер [1]. Аспирационные системы имеют недостатки: ограниченный резерв производительности, превышение расхода воздуха более чем на 25 %, перемещение отходов в потоке воздуха на большие расстояния, что не целесообразно с точки зрения энергозатрат. Однако простота конструкции и надежность в работе способствовали широкому применению таких установок.

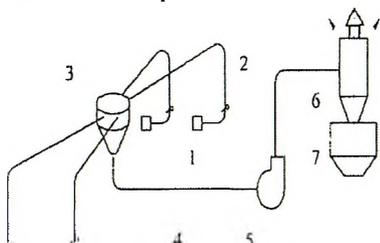


Рисунок 1 – Принципиальная схема системы аспирации для подачи опилок в бункер:

- 1 – приемник станка; 2 – материалопровод от приемника станка к коллектору-сборнику;
- 3 – коллектор-сборник; 4 – магистральный материалопровод; 5 – вентилятор;
- 6 – циклон; 7 – бункер.

На предприятиях наиболее широко применяют системы аспирации, объединяющие каждая до десяти материалопроводов (от десяти деревообрабатывающих агрегатов). Все одновременно, как правило, агрегаты не работают, но система аспирации удаляет полностью расчетное количество воздуха и, казалось, изменить это нельзя, поскольку снижение объема воздуха приведет к снижению его скорости движения и оседанию древесных отходов в материалопроводах. Система аспирации должна действовать, даже если работает хотя бы один технологический агрегат, а этим уже обусловлена ее низкая экономичность. Так как расчет производительности системы осуществляется на случай одновременной работы всех отсосов, а в действительности коэффициент одновременности работы отсосов составляет 0,6–0,7, это также приводит к увеличению расхода энергии в таких системах.

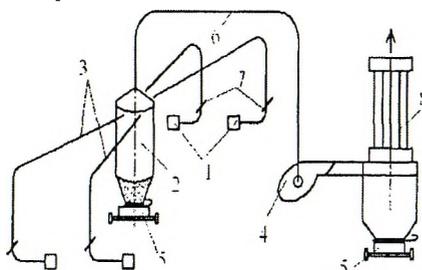
Учитывая перечисленные особенности аспирационных систем, для уменьшения их энергоемкости предлагается усовершенствовать технологию этих систем (рис. 2), внося следующие изменения:

- на всех отсосах от станков установить автоматические вентиляционные клапаны, отключающие неработающие станки от аспирационной сети, что позволит снизить расход воздуха в системе и сократить потребляемую мощность электродвигателем вентилятора за счет установки частотно-регулирующего привода вентилятора;

- существенно уменьшить протяженность транспортирования материала, для чего в аспирационной системе необходимо в центре расположения станков установить объемный вертикальный коллектор-сборник [2], в котором осаждаются крупные частицы транспортируемого материала и затем выгружаются в тележку, а рядом с коллектором-сборником расположить рукавный фильтр, в котором происходит очистка воздушного потока от пыли средней и мелкой дисперсности.

Регулирование количества воздуха, отсасываемого вентилятором в зависимости от числа одновременно работающих станков, осуществляется вентиляци-

онными клапанами. Эти клапаны монтируются в материалопроводы непосредственно у отсосов каждого станка. С помощью вентиляционных клапанов, электрически связанных со станками, автоматически отключаются от пневмосети все неработающие в данное время станки, в результате чего вентилятор отсасывает соответственно меньшее количество воздуха, и за счёт этого потребляет пониженную мощность вследствие происходящего, так называемого, дросселирования пневмосети.



- 1 – приемник станка; 2 – объемный коллектор-сборник; 3 – материалопровод от приемников станков к коллектору-сборнику;
 4 – вентилятор; 5 – тележка для удаления отходов; 6 – магистральный материалопровод; 7 – автоматический вентиляционный клапан;
 8 – рукавный фильтр.

Рисунок 2 – Схема энергоресурсосберегающей системы аспирации

Такое расположение оборудования дает возможность сократить длину магистральных материалопроводов и концентрацию материала в них, что резко уменьшает аэродинамическое сопротивление системы, потребляемую электродвигателем вентилятора мощность, расход металла и износ воздухопроводов и вентилятора, увеличивает время работы фильтра до регенерации.

Для компенсации воздушных выбросов существующих систем аспирации приходится в холодный период года подогревать и подавать приточными системами значительные объемы наружного воздуха, затрачивая дополнительную тепловую и электрическую энергии.

Рециркуляция воздуха после систем аспирации имеет большую экономическую перспективу: возможно ощутимое уменьшение расходов тепловой и электрической энергии. Это предопределяет практическую ценность предложений и решений, касающихся предлагаемой модернизации систем аспирации и высококачественной очистки воздуха от древесной пыли.

Рециркуляция воздушных выбросов систем пневмотранспорта может осуществляться по следующим основным пяти вариантам:

- 1) с очисткой запыленного воздуха в циклоне с водяной пленкой и доочисткой его в фильтре приточной камеры;
- 2) с очисткой запыленного воздуха в сухом циклоне, затем в секции туманообразователя и потом в фильтре приточной камеры;
- 3) с очисткой запыленного воздуха в сухом циклоне и второй ступенью очистки с помощью волокнистого фильтра с пневмофорсунками для импульсной его регенерации струями сжатого воздуха;
- 4) с очисткой запыленного воздуха в сухом циклоне, снабженном над выхлопной трубой многоходовым гидрофильным фильтром;
- 5) с установкой после циклона тканевого рукавного фильтра.

Первый вариант менее надежен в отношении полноты очистки воздуха, в частности от древесной и лаковой пыли, при этом установка циклона должна быть только в отапливаемом помещении, а фильтр приточной камеры требует более частой регенерации из-за возросшей на него пылевой нагрузки. Применение его возможно при условии содержания в воздушных выбросах только одной древесной пыли (без лаковой), без других нетоксичных примесей с малой концентрацией.

Второй вариант является более приемлемым, так как обеспечивает надлежащую по санитарным требованиям очистку воздуха одновременно от древесной и лаковой пыли, он более универсален, а на фильтр приточной камеры будет поступать совсем малое количество пыли, кроме того, вследствие тонкого дробления воды, приточный воздух обогащается биоактивными отрицательными ионами.

Третий вариант наиболее совершенен, так как обладает всеми преимуществами второго варианта и, кроме того, дает полную очистку воздуха от древесной, лаковой, металлической и других видов пыли.

Четвертый вариант дает возможность улавливать не только пыль, но и легко растворимые газы.

Пятый вариант (рис. 2) использует рукавные фильтры в качестве второй ступени очистки запыленного потока воздуха, что позволяет очистить воздух от частиц размером менее 2 мкм. Поэтому использование рукавных фильтров в качестве второй ступени очистки запыленного воздуха дает возможность его повторного использования в целях общеобменной вентиляции, что является достаточно эффективным мероприятием, служащим для экономии тепловой энергии.

Очистка воздушных выбросов систем аспирации от любой пыли позволяет возвращать очищенный воздух в рабочие помещения. При этом до 95% уменьшается потребность последних в приточном воздухе, компенсирующем вытяжку системами аспирации, что дает значительную экономию тепловой и электрической энергии. Кроме того, не загрязняется пылью окружающая среда, что оказывает благоприятное воздействие на экологическое ее состояние.

Количество теплоты, Вт, которое можно сохранить при повторном использовании удаляемого воздуха, очищенного в предлагаемой установке, определится как

$$Q = 0,95 \cdot L_{\text{рец}} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_o - t_n) \cdot 0,28, \quad (1)$$

где $L_{\text{рец}}$ – количество рециркуляционного воздуха, которое подается в помещение после очистки в рукавных фильтрах, м³/ч; ρ – плотность наружного воздуха, кг/м³; t_n, t_o – температура наружного и внутреннего воздуха соответственно, °С; c – теплоемкость воздуха, кДж/кг°С.

При работе установки, объединяющей десять отсосов от станков со средним расходом отсасываемого воздуха от станка 1000 м³/ч, экономия теплоты в холодный период года составляет $Q = 156$ кВт.

Заключение. Преимущества предлагаемой схемы энергоресурсосберегающей системы аспирации заключаются в следующем:

- сокращение, по сравнению с традиционными системами, расхода электрической энергии на транспортирование крупных частиц материала на большие расстояния, и расходов на укрепление, ремонт и замену истирающихся элементов воздухопроводов и оборудования за счет улавливания крупных частиц материала в непосредственной близости от мест их образования;

- 100 % улавливание отходов за счет отказа от использования циклона и применения объемного коллектора-сборника (I ступень очистки) и рукавного фильтра (II ступень очистки), что обеспечивает экологическую чистоту при работе системы аспирации, исключение загрязнения окружающей среды и потерь материала и дает возможность полного его использования как при производстве строительных материалов, так и на другие цели;

- снижение потребляемой мощности электродвигателя вентилятора с помощью частотно-регулируемых приводов обеспечивается применением автоматических вентиляционных клапанов, закрывающихся на период остановки станков;

- значительная экономия тепловой энергии, затрачиваемой на нагрев подаваемого наружного воздуха в холодный период года, которая получается за счет рециркуляции в помещении очищенного воздуха.

Список цитированных источников

1. Клячко, Л.С, Одельский, Х., Хрусталеv Б.М. Пневматический транспорт сыпучих материалов. – Мн.: Наука и техника, 1983. – 216 с. _

2. Аспирационный вертикальный коллектор-сборник: патент на полезную модель РБ 365, МПК В 08 В 15/00 / Королева Т.И.; заявл. 26.12.2000, опубл. 30.09.200 // Официальный бюллетень государственного патентного ведомства РБ. – 2001. – № 3.

УДК 681.3:519.3

РАСЧЕТ ПЛОСКИХ СИСТЕМ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С УЧЕТОМ УПРУГОЙ ПОДАТЛИВОСТИ УЗЛОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ЭВМ

Игнатюк В.И., Рудлевский Д.В.

Брестский государственный технический университет, г. Брест

Введение. В реальных сооружениях соединение стержней в узлах чаще всего не является идеально жестким либо шарнирным, а имеет определенную упругую податливость, которая обычно не учитывается в расчетах, но может существенно влиять на распределение усилий в системе. Для учета этого фактора необходимо в методике расчета учитывать возможность упругой податливости узловых соединений.

Методика расчета. При расчете сооружений методом конечных элементов основным разрешающим уравнением [1] является уравнение вида:

$$[K]\{\Delta\} = \{P\}, \quad (1)$$

где $[K]$ – матрица жесткости системы, $\{\Delta\}$ – вектор перемещений узлов системы, $\{P\}$ – вектор внешних узловых нагрузок.

Учет упруго-податливого соединения элементов в узлах вызовет соответствующие изменения в матрицах $[K]$ и $\{P\}$. Так как эти матрицы могут быть сформированы из матриц отдельных конечных элементов (КЭ) [2], учет упругой податливости присоединения КЭ к узлам может быть выполнен на уровне определения матриц жесткости и векторов нагрузок КЭ.

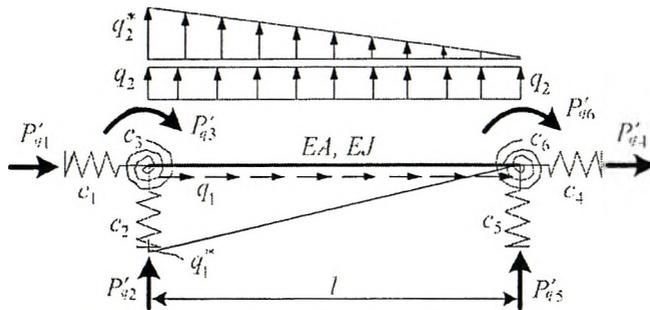


Рисунок 1 – Схема конечного элемента

Для КЭ, присоединяющихся к узлам с помощью упруго-податливых связей, жесткости которых определяются величинами $c_1 - c_6$ (рис. 1) (c_1, c_4 – жесткости горизонтальных связей в начале и в конце стержня, c_2, c_5 – жесткости соответствующих вертикальных связей, c_3, c_6 – жесткости угловых связей), матрица жесткости в местной системе координат получена в работе [2] и имеет вид:

$$[K'_3] = \begin{bmatrix} \frac{EA}{l} k_N & 0 & 0 & -\frac{EA}{l} k_N & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EJ}{l^3} k_1 & -\frac{6EJ}{l^2} k_2 & 0 & -\frac{12EJ}{l^3} k_1 & -\frac{6EJ}{l^2} k_4 \\ 0 & -\frac{6EJ}{l^2} k_2 & \frac{3EJ}{l} (k_2 + k_3) & 0 & \frac{6EJ}{l^2} k_2 & \frac{3EJ}{l} (k_2 - k_3) \\ -\frac{EA}{l} k_N & 0 & 0 & \frac{EA}{l} k_N & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EJ}{l^3} k_1 & \frac{6EJ}{l^2} k_2 & 0 & \frac{12EJ}{l^3} k_1 & \frac{6EJ}{l^2} k_4 \\ 0 & -\frac{6EJ}{l^2} k_4 & \frac{3EJ}{l} (k_2 - k_3) & 0 & \frac{6EJ}{l^2} k_4 & \frac{3EJ}{l} (k_4 + k_5) \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где EA , EJ – продольная и изгибная жесткости стержня, и где обозначено:

$$k_N = \frac{1}{1 + (c_1 + c_4) \frac{EA}{l}}; \quad k_1 = \frac{t_4}{t_2 t_4 - 3t_3^2}; \quad k_2 = \frac{t_3 + t_4}{t_2 t_4 - 3t_3^2};$$

$$k_3 = \frac{1}{3t_4} + \frac{t_3}{t_4} k_2; \quad k_4 = \frac{t_4 - t_3}{t_2 t_4 - 3t_3^2}; \quad k_5 = \frac{1}{3t_4} + \frac{t_3}{t_4} k_4, \quad (3)$$

$$t_2 = 1 + (c_2 + c_5) \frac{12EJ}{l^3} + (c_3 + c_6) \frac{3EJ}{l}; \quad t_3 = (c_6 - c_3) \frac{EJ}{l}; \quad t_4 = 1 + (c_3 + c_6) \frac{EJ}{l}. \quad (4)$$

При действии на конечные элементы распределённых нагрузок в методе конечных элементов их необходимо преобразовывать к узловым. Это преобразование для конечных элементов, упруго-податливо присоединяемых к узлам, не будет совпадать со случаями жёстко-шарнирного соединения конечных элементов в узлах и может быть получено также на основе расчётов соответствующих конечных элементов [2]. Для случая нагружения КЭ распределёнными нагрузками, представленными на рис. 1, величины узловых нагрузок для него будут определяться выражением:

$$\{P'_q\} = \begin{pmatrix} P'_{q1} \\ P'_{q2} \\ P'_{q3} \\ P'_{q4} \\ P'_{q5} \\ P'_{q6} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{q_1 l}{2} f_{q1} + \frac{q_1^* l}{6} (3 - s_{q1}) \\ \frac{q_2 l}{2} (1 - f_{q2}) + \frac{q_2^* l}{20} (10 - u_{q1}) \\ -\frac{q_2 l^2}{12} (1,5 - 3f_{q2} - f_{q3}) - \frac{q_2^* l^2}{120} (20 + u_{q2} - 6u_{q1}) \\ \frac{q_1 l}{2} f_{q1} + \frac{q_1^* l}{6} s_{q1} \\ \frac{q_2 l}{2} (1 + f_{q2}) + \frac{q_2^* l}{20} u_{q1} \\ \frac{q_2 l^2}{12} (1,5 + 3f_{q2} - f_{q3}) + \frac{q_2^* l^2}{120} u_{q2} \end{pmatrix}, \quad (5)$$

где $f_{q2} = \frac{3t_{q2}t_4 - t_{q3}t_3}{6t_3^2 - 2t_2t_4}$; $f_{q3} = 3f_{q2} \frac{t_3}{t_4} + \frac{t_{q3}}{2t_4}$; $u_{q2} = \frac{3u_2u_{q1} - 5s_{q3}}{u_3}$,

$$u_{q1} = \frac{8s_{q2}u_3 - 5s_{q3}u_2}{4u_1u_3 - 3u_2^2}; \quad t_{q2} = \frac{EJ}{l} \left(\frac{1}{c_6} - \frac{1}{c_3} \right) + \frac{8EJ}{l^3} \left(\frac{1}{c_5} - \frac{1}{c_2} \right);$$

$$t_{q3} = 1 + \frac{3EJ}{l} \left(\frac{1}{c_3} + \frac{1}{c_6} \right); \quad s_{q2} = 1 + \frac{15EJ}{c_2 l^3}; \quad s_{q3} = 1 + \frac{4EJ}{c_3 l}; \quad (6)$$

$$u_1 = 1 + \frac{3EJ}{l^3} \left(\frac{1}{c_2} + \frac{1}{c_5} \right) + \frac{3EJ}{c_3 l}; \quad u_2 = 1 + \frac{2EJ}{c_3 l};$$

$$u_3 = 1 + \left(\frac{1}{c_3} + \frac{1}{c_6} \right) \frac{EJ}{l}; \quad t_2, t_3, t_4 - \text{см. (3)}.$$

Преобразование матриц жесткости и векторов внешних нагрузок конечных элементов из местных в общую систему координат производится с помощью выражений [2]:

$$[K] = [T_\alpha]^T \cdot [K'] \cdot [T_\alpha]; \{P_q\} = [T_\alpha]^T \{P'_q\}, \quad (7)$$

где $[T_\alpha]$, $[T_\alpha]^T$ – обычная и транспонированная матрицы преобразования координат.

На основе полученных зависимостей [1, 2] составлена компьютерная программа расчета плоских стержневых систем на статические нагрузки – программа «SiriusPlus». Программа разработана в среде Delphi 5 с применением объектно-ориентированной модели программирования, исполняемый файл программы SiriusPlus.exe имеет размер 990 Кб. Стандартный для Windows графический интерфейс (рис. 2, 3) и достаточно развитый сервис делают работу в программе простой, понятной и удобной.

Компьютерная программа. Современная компьютерная техника (ПЭВМ) и системы программирования представляют большие возможности для создания эффективных компьютерных программ, включая:

- возможности создания диалогового режима ввода исходной информации, обработки и анализа промежуточных и окончательных результатов решения задачи;
- широкие возможности графического представления данных и результатов расчета на всех этапах решения задачи;
- возможности создания удобного и эстетичного интерфейса;
- возможности создания разветвленной помощи (Help) как для работы с программой, так и по основам методов расчета.

Для создания программы «SiriusPlus» использована современная система визуального программирования Delphi, позволяющая в полной мере использовать возможности и ресурсы современных ПЭВМ, создавать качественные и надежные Windows-приложения.

Структура и интерфейс программы «SiriusPlus» при ее разработке определялись ее назначением, а ориентирована она в первую очередь на использование в учебном процессе, поэтому к программе предъявлены требования максимального удобства интерфейса, максимальной наглядности представления исходных данных и результатов расчета, наличие разветвленной справочной системы (Help).

На основе полученных зависимостей разработан алгоритм расчета и составлена компьютерная программа расчета плоских стержневых систем на статические нагрузки – программа «SiriusPlus». Программа разработана в среде Borland Developer Studio 2006 с применением объектно-ориентированной модели программирования, исполняемый файл программы SiriusPlus.exe имеет размер 1.3 Мб. Стандартный для Windows графический интерфейс (рис. 2) и достаточно развитый сервис делают работу в программе простой, понятной и удобной.

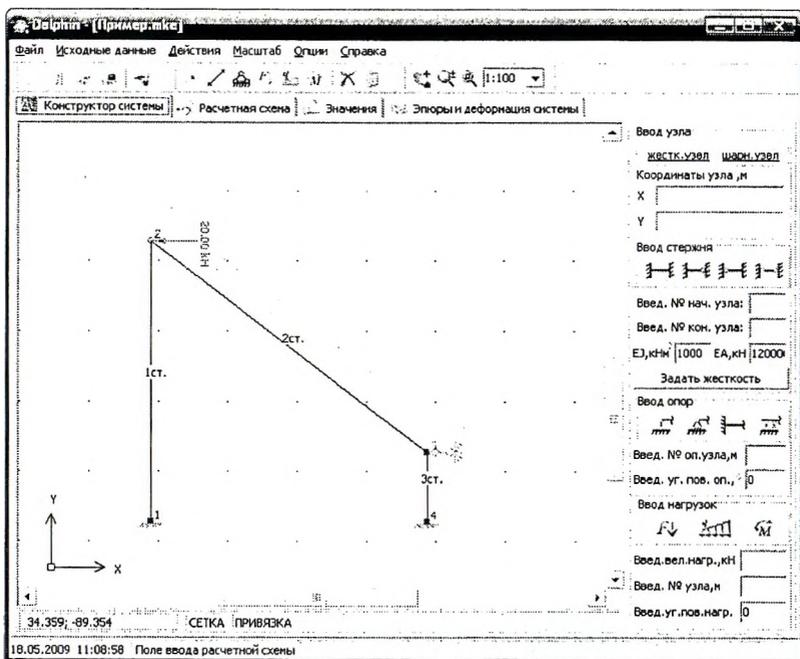


Рисунок 2 – Интерфейс программы «SiriusPlus»

Программа позволяет получить усилия (изгибающие моменты, поперечные и продольные силы) в плоских стержневых системах от статического действия сосредоточенных и распределенных нагрузок, а также деформированный вид рассматриваемых систем. Исходные данные результатов расчетов представляются как в табличном, так и в графическом видах.

Достоинствами программы являются:

- возможность учета упругой податливости присоединения стержней к узлам;
- возможность приложения к системам нагрузок, распределенных по треугольному и трапециoidalному законам;
- практически неограниченное число узлов и стержней системы (определяются ресурсами компьютера);
- возможность группового выделения узлов или стержней с целью одновременного изменения их характеристик (координат, нагрузок, жесткостей);
- возможность анализа расчетных схем на изменяемость;
- возможности масштабирования, перемещения и удобного представления графических объектов;
- возможности удобного представления таблиц исходных данных и результатов расчета (формат чисел, размеры ячеек, шрифты, выравнивание);
- возможность просмотра для каждого узла, стержня и для системы в целом любой матрицы, используемой в процессе решения.

Программа имеет «Помощь», содержащую краткие сведения о методе расчета и информацию о работе в программе и с программой.

Основное окно программы, открывающееся при ее запуске, содержит меню, в котором представлены все основные инструменты работы с программой, включая:

- меню «Файл» («Создать», «Открыть», «Сохранить», «Сохранить как...», «Экспорт результатов в MS_Word», «Печать», «Выход»);

- меню «Исходные данные» – показывает списки введенных узлов, стержней, опор, сосредоточенных и распределенных нагрузок, изгибающих моментов;

- меню «Расчетная схема», позволяющее создавать узлы и стержни, редактировать и удалять их, а также задавать загрузки и типы жесткостей;

- меню «Инструменты», содержащее инструменты и команды: «Конструктор системы», с помощью которого выполняется создание, редактирование системы и вся работа с ней; «Список элементов» (узлов и стержней), позволяющий выделять их и работать с ними; «Эпюры и деформации», «Результаты расчета», представляющие результаты расчета в табличном виде; «Матрица элемента», дающая возможность просмотреть для выделенного стержня любую из матриц;

- меню «Решение», содержащее команды – «Предварительный анализ системы» (проверяется неизменяемость системы), «Расчет» (запускает систему на расчет); «Эпюры системы», «Деформации системы», «Перемещения узлов», «Усилия в стержнях», «Матрицы системы», «Матрицы элемента», «Создание отчета»;

- меню «Справка».

Многие из указанных команд открывают свои окна со своими наборами функций и команд. Для удобства пользователя большинство команд продублировано на панели инструментов (рис. 2, 3).

После нажатия кнопки «Расчет» в программе становятся доступны вкладки «Значения», «Эпюры и деформации системы».

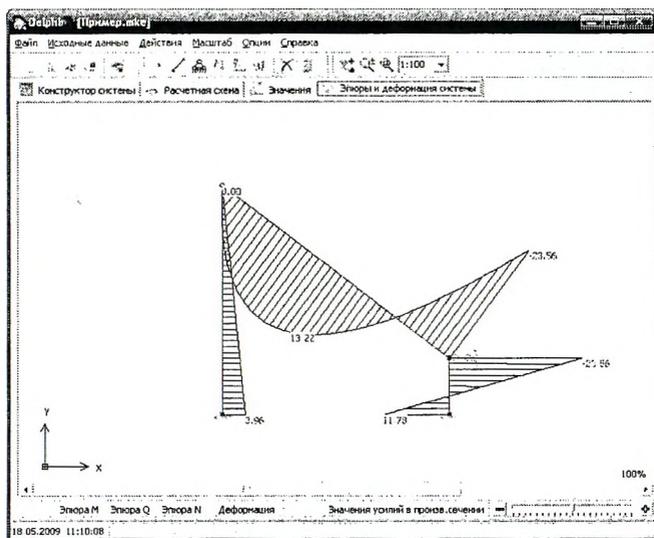


Рисунок 3 – Окно эпюры моментов

Заключение. Разработаны методика и алгоритм расчета плоских стержневых систем методом конечных элементов с учетом упруго-податливого соединения элементов в узлах на неподвижные нагрузки.

Изложены и обсуждаются принципы, положенные в основу компьютерной программы, приведены расчетные зависимости используемых методов расчета, описаны интерфейс программы и принципы ее использования, представлен пример расчета.

Программа «SiriusPlus», с нашей точки зрения, создает условия и базу для более глубокого изучения методов расчета и понимания физических основ работы сооружений, способствует интенсификации и активизации учебного процесса, индивидуализации познавательной деятельности, развитию творческого и инженерного мышления будущих специалистов.

Список цитированных источников

1. Борисевич, А.А. Строительная механика: учебное пособие / А.А. Борисевич, Е.М. Сидорович, В.И. Игнатюк. – Мн.: БНТУ, 2007. – 821 с.
2. Игнатюк, В.И. Метод конечных элементов в расчетах стержневых систем: учебное пособие. – Брест: БрГТУ, 2007. – 172 с.

УДК 681.3:624.04

УЧЕБНАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ ПРОГРАММА РАСЧЕТА БАЛОК НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ НА НЕПОДВИЖНЫЕ НАГРУЗКИ

Жданов Д.А., Игнатюк В.И.

Брестский государственный технический университет, г. Брест

Введение. Применение ЭВМ в учебном процессе – это необходимость сегодняшнего дня, позволяющая облегчить трудоемкие вычислительные процессы при выполнении расчетов, расчетно-проектировочных и курсовых работ, выполнять исследование работы сооружений, интенсифицировать учебный процесс.

Метод расчета. Рассматривается статический расчет балок на упругом основании (рис.1) методом местных упругих деформаций с использованием следующих гипотез и допущений:

– принимается, что основание (грунт) обладает упругими свойствами и его деформация пропорциональна прикладываемой нагрузке;

– считаем, что между опорной поверхностью балки и основанием существует неразрывная связь, поэтому теоретически в основании могут возникать и растягивающие усилия;

– принимается, что реактивные силы, возникающие в точках основания, пропорциональны упругим осадкам (перемещениям) этих точек.

Последняя гипотеза носит название гипотезы Винклера, а рассматриваемое основание называют винклеровым основанием. Упругую реакцию для таких оснований можно выразить зависимостью

$$r = cby, \quad (1)$$

где b – ширина балки со стороны ее опирания на основание; c – коэффициент постели, представляющий реакцию единицы площади основания (грунта) при его осадке, равной единице; y – прогиб балки.

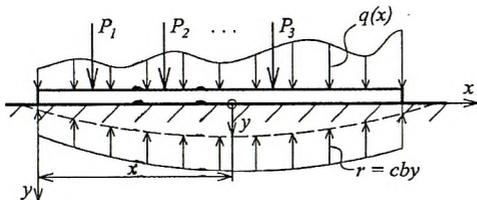


Рисунок 1 – Расчётная схема балки

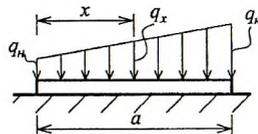


Рисунок 2 – Трапецидальная нагрузка

Значения коэффициента постели устанавливаются опытным путем или для различных видов оснований принимается из справочников [1].

Балка, лежащая на сплошном упругом основании, является статически неопределимой системой. Интенсивность реакции в каждой точке связана с прогибом балки в этих точках и, следовательно, для решения задачи необходимо найти уравнение изогнутой оси балки, в соответствии с которым можно будет определить внутренние силы в балке. Дифференциальное уравнение изогнутой оси балки имеет вид [2]

$$EIy'' = M.$$

Продифференцировав это выражение дважды, и учитывая, что

$$\frac{d^2M}{dx^2} = q^*,$$

где q^* – распределенная нагрузка, действующая на балку и включающая внешнюю нагрузку q и реакцию основания r , то есть

$$q^* = q - r,$$

получим

$$EIy'''' = q - r,$$

или с учётом (1)

$$EIy'''' + cby = q. \quad (2)$$

В случае отсутствия внешних распределенных нагрузок уравнение будет однородным, т.е.

$$EIy'''' + cby = 0$$

или

$$y^{IV} + 4\lambda^4 y = 0,$$

где

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{cb}{4EI}}.$$

Общее решение однородного уравнения определяется в виде

$$y = e^{-\lambda x} (C_1 \sin \lambda x + C_2 \cos \lambda x) + e^{\lambda x} (C_3 \sin \lambda x + C_4 \cos \lambda x). \quad (3)$$

Частное решение уравнения (2) ищется в форме соответствующей зависимости изменения функции нагрузки $q(x)$. Для нагрузки, распределенной по трапециевидальной зависимости (рис. 2),

$$q_x = q_n + \frac{q_k}{a} x,$$

частное решение уравнения (2) определяется степенной функцией

$$y^* = Ax^4 + Bx^3 + Cx^2 + Dx + K.$$

Подставив её в (2), найдем:

$$A = 0, \quad B = 0, \quad C = 0, \quad D = \frac{q_k}{a} \cdot \frac{1}{4\lambda^4}, \quad K = \frac{q_n}{bc}.$$

В результате частное решение получим в виде

$$y^* = \frac{q_n + \frac{q_k}{a} x}{bc}. \quad (4)$$

Для равномерно распределенных нагрузок

$$q(x) = q_0 = q$$

частное решение имеет вид

$$y = q/bc.$$

В результате полное решение уравнения (2) принимает вид

$$y = e^{-\lambda x} (C_1 \sin \lambda x + C_2 \cos \lambda x) + e^{\lambda x} (C_3 \sin \lambda x + C_4 \cos \lambda x) + \frac{1}{bc} \left(q_i + \frac{q_k}{a} x \right). \quad (5)$$

Постоянные C_1 , C_2 , C_3 и C_4 находятся из граничных условий.

При действии нескольких сосредоточенных и распределенных нагрузок балку следует разбивать на отдельные участки между точками приложения сил. В этом случае необходимо отдельно записывать для каждого из участков решение

в виде (3) или (5). При этом на каждом из участков i будем иметь по четыре граничных условия для определения постоянных C_1, C_2, C_3 и C_4 . Всего число неизвестных постоянных будет равно $4n$, где n – число участков. Соответственно и число граничных условий должно быть равно $4n$. Могут использоваться следующие граничные условия:

а) на концах балки:

$$y'' = -M_0/EI; \quad y''' = -P_0/EI, \quad (6)$$

где M_0 и P_0 соответственно момент и поперечная сила, приложенные по краям балки;

б) в точках контактов участков:

$$y_i^{\text{кон}} = y_{i+1}^{\text{нач}}; \quad y_i''^{\text{кон}} = y_{i+1}''^{\text{нач}}; \quad M_i^{\text{кон}} = M_{i+1}^{\text{нач}} + M_i; \quad Q_i^{\text{кон}} = Q_{i+1}^{\text{нач}} + P_i, \quad (7)$$

где $y_i^{\text{кон}}$, $y_i''^{\text{кон}}$, $M_i^{\text{кон}}$, $Q_i^{\text{кон}}$, $y_{i+1}^{\text{нач}}$, $y_{i+1}''^{\text{нач}}$, $M_{i+1}^{\text{нач}}$, $Q_{i+1}^{\text{нач}}$ – соответственно прогиб, угол поворота, момент и поперечная сила на конце i -го участка и в начале следующего участка; M_i и P_i – сосредоточенные момент и сила, приложенные в точках контактов участков.

После определения постоянных C_i подставим их в (5), и, дифференцируя, получим зависимости для определения прогиба, изгибающего момента и поперечной силы в любом сечении балки:

$$\Theta = y' = \lambda(C_1 e^{-\lambda x} (-\sin \lambda x + \cos \lambda x) + C_2 e^{-\lambda x} (-\sin \lambda x - \cos \lambda x) + C_3 e^{\lambda x} (\sin \lambda x + \cos \lambda x) + C_4 e^{\lambda x} (-\sin \lambda x + \cos \lambda x)), \quad (8)$$

$$M = EIy'' = 2\lambda^2(C_1 e^{-\lambda x} (-\cos \lambda x) + C_2 e^{-\lambda x} (\sin \lambda x) + C_3 e^{\lambda x} (\cos \lambda x) + C_4 e^{\lambda x} (-\sin \lambda x)), \quad (9)$$

$$Q = EIy''' = 2\lambda^3(C_1 e^{-\lambda x} (\sin \lambda x + \cos \lambda x) + C_2 e^{-\lambda x} (-\sin \lambda x + \cos \lambda x) + C_3 e^{\lambda x} (-\sin \lambda x + \cos \lambda x) + C_4 e^{\lambda x} (-\sin \lambda x - \cos \lambda x)). \quad (10)$$

Учебная компьютерная программа. Рассматривается создание учебной компьютерной программы статического расчёта балок на упругом основании. Расчет выполняется методом местных упругих деформаций на основе методики, изложенной ранее. На основе данной методики разработан алгоритм и составлена компьютерная программа расчета балок на упругом основании.

Программа написана на языке C++ [3]. Пользовательский интерфейс реализован в системе Borland C++ Builder. Основное окно программы представлено на рис. 3.

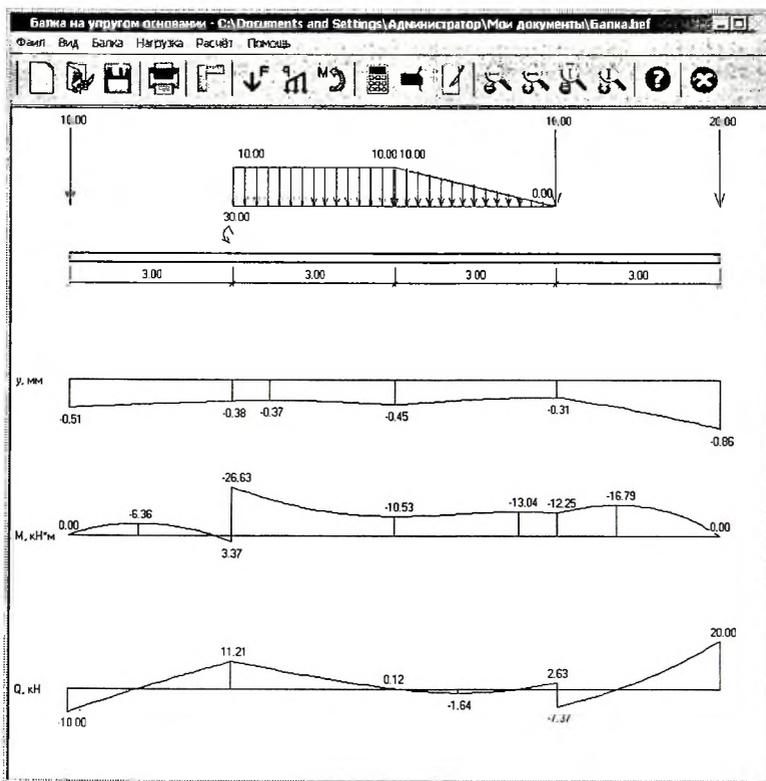


Рисунок 3 – Графическое представление результатов расчета

Управление программой производится через строку меню или при помощи панели инструментов. Для ввода исходных характеристик балки и основания необходимо вызвать окно «Исходные данные» через пункт меню «Балка - Исходные данные» или на панели инструментов. Аналогично для ввода или изменения нагрузки, действующей на балку, необходимо вызвать пункт меню «Нагрузка» или с панели инструментов выбрать соответствующий вид нагрузки (сосредоточенная, распределённая, момент) и указать её параметры.

Результаты расчета представляются как в графическом (в виде эпюр усилий и перемещений), так и в численном (табличном) видах (рис. 3 и 4 соответственно). Расчётные величины могут быть получены в любом промежуточном сечении.

На рис. 3 показан расчет при помощи программы «UprOs» балки прямоугольного сечения на упругом основании со следующими параметрами: длина – 12 м, ширина – 1 м, высота – 0,6 м, модуль упругости – 27000 МПа, коэффициент постели – 16200 кН/м³. Нагружение балки показано на рисунке.

Сечение, м	Прогиб, см	Изгибающий момент, кН*м	Поперечная сила, кН
0	-0,0500495090702086	0	-3,99999999999979
0,1	-0,0502066929502397	-0,958863323998408	-3,18079819320344
0,2	-0,0497259160304479	-1,83646315599206	-8,37070965251577
0,3	-0,0491687140446581	-2,63340605662226	-7,56366
0,4	-0,0486170163238427	-3,25009490077515	6,77760
0,5	-0,0480722007321972	-3,9832226541208	-5,99443
0,6	-0,0475355794654106	-4,54987354850637	-5,22002
0,7	-0,0470083068739391	-5,03351492972596	-4,45422
0,8	-0,0464913782511131	-5,44100145631631	-3,63689
0,9	-0,0459656321901593	-5,77317043944793	-2,94784
1	-0,0454917523068203	-6,03084109546283	-2,26689
1,1	-0,045010268924845	-6,21481343818941	-1,47384
1,2	-0,0445415607218605	-6,32596741959683	0,74849
1,3	-0,0440695953342059	-6,36476231611557	-0,03063
1,4	-0,0436432359191163	-6,33223635804565	0,679956
1,5	-0,0432136326737028	-6,22900659948687	1,383478
1,6	-0,042796834310391	-6,05576802636529	2,080146
1,7	-0,0423824844890496	-5,81319890014477	2,770165
1,8	-0,0420000842065168	-5,50195133491041	3,453727
1,9	-0,0416189931447095	-5,12266210557168	4,131022
2	-0,0412484305789805	-4,67594688500111	4,802242
2,1	-0,0408874786489555	-4,16241150798669	5,467528

Рисунок 4 – Численное представление результатов расчета

Заключение. Разработанная программа «UrgOs» позволяет выполнять расчёт балок на упругом основании на основе принятой модели и выполнять исследование влияния параметров на усилия системы. Можно выполнить расчет балки на упругом основании при изменении коэффициента постели по длине балки по любому закону, выполнив аппроксимацию зависимости коэффициента постели и разбив балку на отдельные участки, в пределах которых коэффициент постели принимают постоянным. Программа может использоваться в расчетной практике и учебном процессе.

Список цитированных источников

1. Основания, фундаменты и подземные сооружения. Справочник проектировщика. – М., 1985. – 480 с.
2. Строительная механика. Основы теории с примерами расчетов: учебник / Под. ред. А.Е. Саргсяна. – М.: Высш. шк., 2000. – 416 с.
3. Как программировать на С: [пер. с англ.] / Х. М. Дейтел, П. Дж. Дейтел. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2006. – 912 с.

СОДЕРЖАНИЕ

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРУЕМОГО СОСТОЯНИЯ АНКЕРНОГО УСТРОЙСТВА ВАНТОВОГО ПОКРЫТИЯ <i>Мартынов Ю.С., Новиков В.Е., Лагун Ю.И.</i>	3
ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ ГАЗОТВОДЯЩИХ ТРУБ. <i>Садохо А.В.</i>	9
БОЛЬШЕПРОЛЕТНОЕ ВАНТОВОЕ ПОКРЫТИЕ СПОРТИВНО-ЗРЕЛИЩНОЙ АРЕНЫ КОМПЛЕКСА «МИНСК-АРЕНА» <i>Башкевич И.В., Березовский С.Л.</i>	13
РАСЧЕТ НЕСИММЕТРИЧНОГО СВОДА НА НЕПОДВИЖНУЮ НАГРУЗКУ <i>Старовойтов С.А.</i>	19
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ GSM ТЕЛЕМЕТРИИ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ КАНАЛИЗАЦИОННОЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ <i>Боровиков Д.В., Грицук А.И.</i>	22
ПАРОГАЗОГЕНЕРАТОР ДЛЯ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ <i>Северянин В.С.</i>	26
ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХСЯ В ВОЗДУШНЫХ СРЕДАХ, С УЧЕТОМ КАРБОНИЗАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ <i>А.А. Васильев</i>	28
ЭФФЕКТИВНЫЕ И ЭНЕРГОРЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИЕ СИСТЕМЫ АСПИРАЦИИ ОТХОДОВ ДЕРЕВООБРАБОТКИ <i>Королёва Т.И., Картавцева О.В.</i>	33
РАСЧЕТ ПЛОСКИХ СИСТЕМ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С УЧЕТОМ УПРУГОЙ ПОДАТЛИВОСТИ УЗЛОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ЭВМ <i>Игнатюк В.И., Рудлевский Д.В.</i>	37
УЧЕБНАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ ПРОГРАММА РАСЧЕТА БАЛОК НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ НА НЕПОДВИЖНЫЕ НАГРУЗКИ <i>Жданов Д.А., Игнатюк В.И.</i>	43

Научное издание

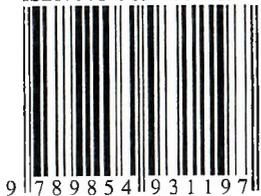
**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ
И ПОДГОТОВКЕ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Материалы
XVI международного научно-методического семинара
28–30 мая 2009 года**

Текст печатается в авторской редакции

Ответственный за выпуск: *Игнатюк В.И.*
Редактор: *Строкач Т. В.*
Компьютерная вёрстка: *Боровикова Е. А.*
Корректор: *Никитчик Е. В.*

ISBN 978-985-493-119-7



Лицензия № 02330/0549435 от 8.04.2009.

Подписано к печати 18.05.2009 г.
Бумага «Снегурочка». Формат 60x84 ¹/₁₆.
Гарнитура Times New Roman. Усл. п. л. 3,0.
Уч.-изд. л. 3,25. Тираж 40 экз. Заказ № 523.
Отпечатано на ризографе учреждения образования
«Брестский государственный технический университет».
224017, г. Брест, ул. Московская, 267.