

УДК 624.97.0

## **Особенности расчета и проектирования металлоконструкций газохода для железобетонной дымовой трубы $H = 250$ м**

**Губанов В.В., к.т.н., Корсун В.И., д.т.н., Калмыков Ю.Ю., к.т.н.**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, Украина

**Аннотация.** В статье рассматриваются методы расчета и проектирования металлического газоотводящего ствола для повышения несущей способности и улучшения газодинамических характеристик железобетонной дымовой трубы  $H = 250$  м. Для расчетов по пространственной схеме приведена методика расчета усилий от технологических воздействий с учетом податливости опорных закреплений. Определены наиболее напряженные элементы – горизонтальные кольца и стойки проемов. Приводятся конструктивные решения газоотводящего ствола, полученные на основании учета технологических параметров работы трубы и методов обслуживания.

**Анотація.** У статті розглянуто методи розрахунку та проектування металевого газовідвідного стовбура для підвищення несучої здатності та покращення газодинамічних характеристик залізобетонного димаря  $H = 250$  м. Для розрахунків за просторовою схемою наведена методика розрахунку зусиль від технологічних впливів з урахуванням піддатливості опорних закріплень. Визначені найбільш напружені елементи – горизонтальні кільця і стійкі прорізів. Наведено конструктивні рішення газовідвідного стовбура, отримані на підставі урахування технологічних параметрів роботи труби та методів обслуговування.

**Abstract.** The methods of design and detailing are outlined in the paper for the steel liner structure to be used for increasing load capacity and improvement of thermofluidodynamic parameters of concrete chimney 250 m high. The technique is given for three dimensional numeric calculations of internal forces due to technological actions accounting for flexibility of bearing joints. The most loaded structural elements are obtained to be horizontal ribs and columns near openings. The structural details of the liner are given to take into account technological characteristics of chimney and maintenance methods.

**Ключевые слова:** железобетонные дымовые трубы, металлоконструкции газохода, газодинамические характеристики.

Строительство зданий и сооружений большинства предприятий тяжелой промышленности, действующих в настоящее время на территории стран СНГ, осуществлялось в конце 60-х – начале 80-х годов XX века. К началу второго десятилетия XXI века сроки эксплуатации наиболее ответственных и сложных инженерных сооружений промышленных предприятий превышают нормативные сроки проведения первых капитальных ремонтов и зачастую приближаются к их предельным срокам службы. К наиболее ответственным промышленным сооружениям относятся сооружения башенного типа – дымовые трубы, вытяжные башни, градир-

ни, работа основных несущих конструкций которых характеризуется сложными температурно-силовыми воздействиями и влиянием агрессивных технологических сред в период эксплуатации. Надежная и безотказная работа отмеченного класса сооружений обуславливает непрерывность осуществляемых технологических процессов и бесперебойную работу предприятий в целом. Однако пригодность для нормальной эксплуатации большинства сооружений башенного типа к настоящему времени оказывается значительно сниженной вследствие образования и развития различных типов повреждений в их основных строительных конструкциях.

Анализ результатов натурных обследований более чем 150 башенных сооружений различных классов [10] показывает, что наиболее распространенными типами повреждений конструкций являются повреждения, обусловленные длительным периодом эксплуатации сооружений без своевременного выполнения ремонтных работ, а также нарушениями режимов вывода из эксплуатации и разогрева на этапах очередных и внеплановых остановов. Чрезмерное развитие отдельных типов повреждений обуславливает возникновение аварийных ситуаций, влекущих за собой остановку эксплуатации сооружений. Для дымовых труб и вытяжных башен аварийное состояние несущих конструкций и футеровок влечет за собой временное или постоянное прекращение эксплуатации подключенных теплоагрегатов и в большинстве случаев приводит к значительным материальным потерям.

Эффективность технических решений, принимаемых для обеспечения нормальной эксплуатации дымовых труб и вытяжных башен, в большинстве случаев характеризуется сложностью решаемых инженерных задач, технической уникальностью самих инженерных решений, а также сжатыми сроками разработки проектной документации и выполнения ремонтно-восстановительных работ. Имеющийся опыт продления ресурса [6, 7, 8, 9] направлен, в основном, на ремонт и усиление несущих конструкций без существенного изменения технологических параметров, поэтому актуальным вопросом является разработка конструктивных методов повышения производительности сооружений при выполнении реконструкции.

Целью данной работы является разработка конструктивных решений, методов расчета и проектирования металлоконструкций газоотводящего ствола в нижней части железобетонных дымовых труб для снижения сопротивления газоотводящего тракта и усиления футеровки дымовой трубы высотой  $H = 250$  м теплоэлектростанции.

Дымовая труба  $H = 250$  м эксплуатируется с 1974 г. и обслуживает четыре тепловых энергоблока № 6...№ 9 мощностью до 230 МВт каждый. Температурный режим эксплуатации сооружения обусловлен режимами работы подключенных энергоблоков; по данным натурных замеров температура отводимых газов в зависимости от нагрузки на энергоблока составляет 135...160 °С. Диаметр устья ствола дымовой трубы составляет  $d_o = 8,0$  м, наружный диаметр у основания ствола –  $D_n = 22,1$  м. Ствол дымовой трубы выполнен конической формы из монолитного железобетона, уклон образующей по высоте ствола – переменный: от 0,08 на нижних участках до 0,015 на верхних участках; толщина стенок железобетонной оболочки составляет соответственно от 800 мм до 200 мм. Футеровка из кислотоупорного кирпича на диабазовой замазке выполнена на всю высоту ствола отдельными звеньями высотой 12,5...20,0 м. По всей высоте ствола между футеровкой и железобетонной несущей оболочкой выполнен воздушный вентилируемый зазор шириной 120 мм. Врезка объединенных газоходов в ствол дымовой трубы предусмотрена на диаметрально противоположных участках в уровне отн. +5,500 м. Для повышения общих аэродинамических параметров дымовой трубы в уровне отн. +4,400 м проектными решениями предусмотрено устройство конструкций наклонных перекрытий и разделительной стенки с уровнем верха на отн. +17,600 м.

За весь период эксплуатации основные строительные конструкции дымовой трубы подлежали периодическим наружным осмотрам и внутренним обследованиям, на основании которых выполнялись различной сложности работы по текущему ремонту наиболее поврежденных конструкций. На основании результатов очередного комплексного обследования, выполненного в сентябре-октябре 2009 г., было установлено, что вследствие нарушений температурного режима, допущенного в период плановой остановки сооружения, кладка нижнего яруса футеровки ствола, расположенного в уровне отн. +4,400 ... +21,900 м, получила ряд повреждений в виде вертикальных трещин и угрожающих обрушением зависаний ее отдельных участков. Анализ схем расположения повреждений, а также скорости снижения температуры показал, что повреждения в футеровке возникали и накапливались в процессе всего предшествовавшего периода эксплуатации дымовой трубы вследствие знакопеременных и различных по внутреннему периметру ствола температурных деформаций кладки футеровки на этапах остановоу и повторных разогревов сооружения. Аварийная ситуация с футеровкой возникла вследствие быстрого охлаждения участка футеровки в зоне проема дымовой трубы при плановом выводе дымовой трубы из эксплуатации. Техническое состояние футеровки на указанном участке ствола квалифицировалось как предаварийное.

Перед специалистами ДонНАСА владельцами сооружения была поставлена задача разработать комплекс конструктивных и организационных мероприятий, направленных на обеспечение безопасной эксплуатации сооружения на период, составляющий 20 лет и более. При этом одним из условий реализации технических решений являлось требование, касающееся продолжительности выполнения всего комплекса ремонтных мероприятий, которая не должна была превышать 35...40 дней. Вследствие установленных жестких сроков выполнения ремонтно-восстановительных мероприятий демонтаж аварийного яруса футеровки с последующим устройством новой кладки из возможных вариантов обеспечения безопасной эксплуатации сооружения был исключен. Нормативная продолжительность работ для перекладки футеровки аварийного яруса по результатам предварительных подсчетов составила 105 суток, а стоимость строительно-монтажных работ превышала 3,5 млн. грн.

Базовым вариантом для разработки рабочего проекта на реконструкцию сооружения был принят вариант, представленный на рис. 1, который предусматривал устройство металлоконструкций внутреннего газоотводящего ствола с сохранением поврежденного яруса футеровки, а также металлоконструкций ее временного крепления. В ходе проработки принципиальных конструктивных решений газоотводящего ствола предусматривалось обеспечение его двух основных технологических функций: исключение контакта отводимых от теплоагрегатов дымовых газов с поверхностью поврежденного яруса футеровки, а также обеспечение равновесного состояния футеровки путем ее переопирания на несущие конструкции газоотводящего ствола в случае развития существующих повреждений кладки. Устройство конструкций внутреннего газоотводящего ствола в сложившихся условиях эксплуатации дымовой трубы кроме предотвращения обрушения поврежденных участков футеровки также обеспечивает сохранность конструкций наклонных перекрытий от разрушений, вызванных падением слезниковых элементов футеровки, а также секций чугунного колпака внутрь дымовой трубы.

Для назначения основных геометрических параметров и формы внутренней поверхности газоотводящего ствола были выполнены специальные газодинамические расчеты, целью которых являлось определение оптимальной геометрии входного канала. Критерием оптимальности являлось местное сопротивление на входе в трубу. Расчеты, выполненные на основании [1], показали, что наиболее эффективным вариантом является конструктивное решение, включающее наклонные пандусы под углом  $45^\circ$ , диффузор высотой 3,0 м на верхнем участке газоотводящего ствола, разделительную стенку под углом  $25,7^\circ$ , закругление крыши подводящего газохода радиусом 3,0 м. В этом случае местное сопротивление снижается

от 7,44 мм вод. ст. (начальный проект) до 6,2 мм вод. ст., что приводит к достаточному увеличению тяги и повышению эффективности работы подключенных теплоагрегатов.

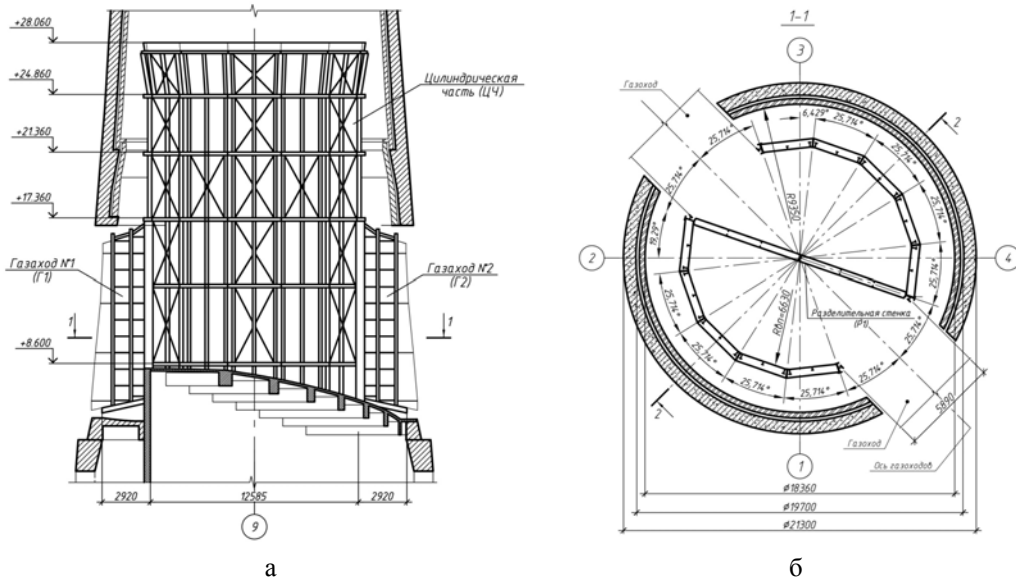


Рис. 1. Конструктивная схема участка внутреннего газоотводящего ствола:

- а – вид со стороны главного корпуса ТЭС;
- б – разрез горизонтальной плоскостью в уровне отм. +8,6 м

В состав участка внутреннего газохода в железобетонной дымовой трубе № 6  $H = 250$  м входит цилиндрическая часть (ЦЧ), примыкающие газоходы (Г1, Г2), пандусы (П1, П2), а также разделительная стенка (Р1). Цилиндрическая часть представлена основным участком в форме неправильного 12-гранника (от отм. +5.570, до отм. 24.860 м) и участка-диффузора (от отм. +24.860, до отм. 27.560 м). Пандусы (П1, П2) и разделительная стенка (Р1) расположены внутри цилиндрической части.

При проектировании одним из основных факторов был учет требований к обслуживанию сооружения [2, 4, 5]. С этой целью:

1. Было принято разделение несущих и ограждающих конструкций, т.е. для возможности замены внутренней обшивки она не учитывалась в расчете и прикреплялась к решетчатой части прерывистыми швами.
2. Для удобства осмотра всех несущих конструкций обшивка не доводилась до перекрытия вдоль наклонных пандусов.

3. Сопряжения пандусов (П1, П2), разделительной стенки (Р1) и примыкающих газоходов (Г1, Г2) с цилиндрической частью обеспечивало свободные температурные деформации во всех трех измерениях, что позволяет выполнять независимое техническое обслуживание различных конструктивных элементов.

4. Для доступа внутрь ствола и очистки пандусов были выполнены специальные закрывающиеся проемы.

5. При расчете толщины обшивки учитывался износ конструкций и стоимостные показатели ремонта и обслуживания на основе методики [3].

Опорными конструкциями для цилиндрической части (ЦЧ), пандусов (П1, П2) и разделительной стенки (Р1) являются балки существующих наклонных перекрытий. В ходе конструирования опорных узлов цилиндрической части была предусмотрена возможность их частичных перемещений в горизонтальной плоскости.

Цилиндрическая часть (ЦЧ) предусматривалась в виде несущего каркаса из горизонтальных распорок вертикальных поясов, выполненных из сварных и прокатных профилей двутавровой формы и из швеллеров, изнутри обшитого стальными листами толщиной 8 мм. Причем стальная обшивка каркаса принималась съемной, не участвующей в работе каркаса цилиндрической части. Общая устойчивость конструкций каркаса обеспечивалась системой вертикальных связей. Разделительная стенка (Р1), расположенная вдоль существующих газоходов, представляет собой вертикальную систему двутавровых балок, зашитых с двух сторон стальным листом толщиной 8 мм. Узлы сопряжения разделительной стенки с конструкциями каркаса цилиндрической части выполнены податливыми, обеспечивающими независимое деформирование стенки и каркаса цилиндрической части. Наклонные пандусы (П1, П2) наклонены под углом 45° и являются балочными клетками с настилом из стальных листов толщиной 12 мм, опирающиеся на систему стоек из трубчатых элементов, а также на горизонтальные ребра каркаса и специальные опорные балки, предусмотренные в составе цилиндрической части. Примыкающие газоходы (Г1, Г2) были выполнены в виде системы поперечных рам, объединенных в отдельно стоящие короба, обшитые изнутри стальными листами толщиной 8 мм. Опорными конструкциями примыкающих газоходов выступали конструкции железобетонной оболочки, а также существующие конструкции днища надземных газоходов дымовой трубы. Сопряжение конструкций примыкающих газоходов (Г1, Г2) с конструкциями существующих подводящих газоходов выполнено герметичным, исключаящим подсосы наружного воздуха. Для

обслуживания металлоконструкций газоотводящего ствола в днищах примыкающих газоходов предусмотрены лазы.

Для общей оценки напряженно-деформированного состояния конструкций цилиндрической части газоотводящего ствола, а также назначения размеров основных конструктивных элементов ее каркаса, разделительной стенки и пандусов была произведена серия специальных статических расчетов. При этом принятые конструктивные решения по взаимной увязке отдельных конструктивных частей газоотводящего ствола позволяли составлять фрагментированные расчетные модели и выполнять независимые расчеты для цилиндрической части, примыкающих газоходов и пандусов.

Анализ напряженно-деформированного состояния основных конструктивных элементов газоотводящего ствола выполнялся на персональной ЭВМ с использованием метода конечных элементов (МКЭ), реализованном в программном комплексе «Lira Windows» версии 9.4. Поверочные расчеты несущей способности сечений стержневых элементов металлоконструкций выполнялись с использованием модуля «Лир-СТК», а также микропрограмм для персональной ЭВМ на базе приложения MS Excel, составленных согласно требованиям норм.

Расчетная модель цилиндрической части (рис. 2) газоотводящего ствола принята в виде пространственной схемы, в качестве основных составляющих которой использованы стержневые конечные элементы (тип КЭ-10) для решения пространственных типов задач МКЭ. Геометрические характеристики сечений для назначения жесткостей элементов расчетной модели МКЭ принимались на основании выполненных предварительных оценок их напряженного состояния с использованием инженерных расчетных методик. Элементы внутренней обшивки цилиндрической части в составе расчетной модели ввиду принятых конструктивных решений их крепления к горизонтальным и вертикальным ребрам каркаса в состав расчетной модели включены не были. Расчеты металлоконструкций наклонных пандусов выполнены как для элементов обычной балочной клетки.

В состав нагрузок и воздействий входили:

- а) собственный вес металлоконструкций, в том числе вес листов внутренней обшивки;
- б) температурные воздействия отводимых газов:
  - равномерный нагрев (эксплуатация всех энергоблоков, работа двух примыкающих газоходов);
  - неравномерный нагрев (эксплуатация части энергоблоков, работа одного примыкающего газохода);

в) частичное опирание поврежденных участков футеровки на конструкции цилиндрической части, для случая нарушения их равновесного состояния в ходе эксплуатации сооружения.

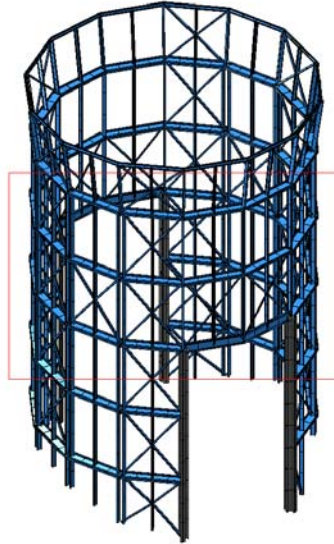


Рис. 2. Расчетная МКЭ-модель цилиндрической части газоотводящего ствола

Анализ возможных схем загрузений расчетной модели, составленной на основании предварительно принятых конструктивных решений цилиндрической части, свидетельствовал, что горизонтальные кольца являются основными несущими конструкциями, воспринимающими температурный нагрев, а также нагрузки от возможного обрушения футеровки. Наиболее напряженными элементами являлись также стойки, окаймляющие проемы для врезки металлоконструкций примыкающих газоходов (Г1, Г2). Ввиду указанных особенностей работы конструкций газоотводящего ствола сопряжение отдельных элементов в составе горизонтальных ребер как в ходе составление модели, так и при конструировании узлов предусматривалось жестким для обеспечения работы конструкций горизонтальных ребер по неразрезной схеме.

В ходе конструирования опорных узлов цилиндрической части и при составлении расчетной модели предусматривалось закрепление в горизонтальной плоскости опорных узлов стоек, окаймляющих один из проемов, при условно-податливом сопряжении остальных стоек с конструкциями наклонных перекрытий для учета температурных деформаций газоотводящего ствола. С целью обеспечения деформирования опорных участков вертикальных стоек, ограниченного вследствие трения опор о поверхность



существующих наклонных перекрытий, в расчетной модели были использованы специальные конечные элементы (тип КЭ-51), моделирующие упругие связи в горизонтальной плоскости. Величины коэффициентов жесткости упругих связей условно были приняты линейно-зависящими от перемещений опорных узлов и определялись для каждого опорного узла с использованием усредненного коэффициента трения стали о бетонную поверхность  $k_{mp} = 0,35$  из соотношения:

$$R_i = F_i \times k_{mp} / \Delta_i, \quad (1)$$

где  $F_i$  – значение продольной силы в стойке, для которой определяется коэффициент жесткости, от собственного веса металлоконструкций;  $\Delta_i$  – значения возможных перемещений опорных узлов в горизонтальной плоскости в предположении свободного деформирования опор цилиндрической части, выявленные на предварительном этапе расчетов на действие равномерного нагрева конструкций в предположении свободных перемещений узлов по горизонтали.

При этом по результатам предварительных оценок перемещений опорных узлов и продольных сил, действующих в «незашемленных» стойках цилиндрической части, были выявлены узлы, для которых характерно нарушение трения покоя и необходим учет влияния их частичной податливости на напряженное состояние конструкций газоотводящего ствола. Значения коэффициентов жесткости для различных опорных узлов принимались переменными в зависимости от их удаленности от опор зашемленных стоек и величин возможных перемещений  $\Delta_i$  в горизонтальной плоскости.

Температурные воздействия на цилиндрическую оболочку учитывались с использованием программной процедуры ПК «Lira Windows» для задания нагрузок путем моделирования равномерного нагрева стержневых элементов до температуры  $180^\circ\text{C}$ , соответствующей максимальным температурным режимам эксплуатации сооружения.

Нагрузка от возможного опирания поврежденных участков футеровки на конструкции цилиндрической оболочки прикладывалась к участкам горизонтального ребра расчетной модели, расположенного в уровне верха поврежденного футеровочного яруса. Значения нагрузок на металлоконструкции цилиндрической части от разрушений футеровки определялись путем подсчета собственного веса способных к обрушению объемов ее кладки и учитывались в расчетной модели в виде вертикальной ( $v = 65,8$  кН/м) и горизонтальной ( $g = 22,7$  кН/м) составляющих равномерной распределенной нагрузки на рассматриваемое горизонтальное ребро.

Для анализа напряженно-деформированного состояния конструкций цилиндрической части газоотводящего ствола в ПК «Lira Windows» были приняты следующие типы загружений:

- LC 1 – собственный вес металлоконструкций с учетом веса обшивки и опорных реакций конструкций наклонных пандусов;
- LC 2 – равномерный нагрев цилиндрической части, соответствующий проектному режиму эксплуатации всех подключенных теплоагрегатов;
- LC 3, LC 4 – нагрев части металлоконструкций, соответствующий режиму эксплуатации теплоагрегатов, подключенных к правому/левому газоходу;
- LC 5 – опирание обрушенных ярусов футеровки по всей длине нагруженного горизонтального ребра;
- LC 6, LC 7 – опирание обрушенных ярусов футеровки на отдельные участки нагруженного горизонтального ребра.

Суммарные расчетные усилия для конструкций цилиндрической части подсчитывались на основании специально составленных расчетных комбинаций нагружений (групп нагружений). Коэффициенты сочетаний для различных комбинаций нагружений, используемые при определении расчетных усилий в элементах цилиндрической части, представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Коэффициенты сочетаний нагружений для анализа НДС  
цилиндрической части**

№ РСН	Коэффициенты РСН для нагружений						
	LC 1	LC 2	LC 3	LC 4	LC 5	LC 6	LC 7
LG 1	1,0	1,0	-	-	1,0	-	-
LG 2	1,0	1,0	-	-	-	1,0	-
LG 3	1,0	1,0	-	-	-	-	1,0
LG 4	1,0	-	1,0	-	1,0	-	-
LG 5	1,0	-	1,0	-	-	1,0	-
LG 6	1,0	-	1,0	-	-	-	1,0
LG 7	1,0	-	-	1,0	1,0	-	-
LG 8	1,0	-	-	1,0	-	1,0	-
LG 9	1,0	-	-	1,0	-	-	1,0

Значения расчетных усилий в наиболее нагруженных сечениях основных конструктивных элементов цилиндрической части представлены в таблице 2, нумерация наиболее нагруженных элементов расчетной модели – на рис. 3. На основании определенных усилий был выполнен расчет сечений элементов ствола и узлов соединения элементов.

Таблица 2

Расчетные усилия в наиболее нагруженных конструкциях цилиндрической части

Тип констр. зп-нта	Критерий РСН	Соответствующие значения						Номер элемента	Номер загрузки
		N, кН	Mk, кН*м	My, кН*м	Mz, кН*м	Qy, кН	Qz, кН		
Горизонтальные ребра	N (max+)	834.6	0.2	3.4	32.1	36.6	9.3	510	137
	N (max-)	-474.6	0.2	1.1	102.3	-0.9	-0.7	647	146
	Mk (max+)	-206.3	0.8	-26.2	-80.2	-56.0	-53.0	642	136
	Mk (max-)	-126.4	-0.6	-4.1	89.1	-34.3	-8.7	428	146
	My (max+)	23.7	0.2	37.5	3.3	29.2	-19.6	545	126
	My (max-)	-208.9	0.8	-73.7	3.3	29.2	-19.6	642	137
	Mz (max+)	-82.4	0.0	-0.2	192.6	-47.3	-2.2	508	147
	Mz (max-)	173.9	0.1	-21.9	-200.2	129.7	2.6	546	135
	Qy (max+)	173.9	0.1	-26.0	4.9	131.5	2.6	545	135
	Qy (max-)	173.6	0.1	-20.0	-101.9	-125.7	2.4	547	135
	Qz (max+)	154.3	0.4	-60.0	-27.6	-33.8	96.0	587	136
	Qz (max-)	154.3	0.4	-60.0	-27.6	-33.8	-90.5	586	136
Основные стойки	N (max+)	784.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4	126
	N (max-)	-1485.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8	146
	Mk (max+)	-117.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	874	146
	Mk (max-)	-1376.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4	137
	My (max+)	396.7	0.0	0.3	0.0	0.0	-0.2	997	137
	My (max-)	55.0	0.0	-0.3	0.0	0.0	-0.2	2	137
	Mz (max+)	-1485.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8	146
	Mz (max-)	659.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8	127
	Qy (max+)	-1376.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4	137
	Qy (max-)	271.6	0.0	-0.2	0.0	0.0	0.1	2	127
	Qz (max+)	55.0	0.0	-0.3	0.0	0.0	0.2	2	137
	Qz (max-)	388.8	0.0	0.3	0.0	0.0	-0.2	1005	146
Горизонт. ребра проем	N (max+)	504.9	-0.3	-2.7	-9.9	-2.4	-7.6	553	136
	N (max-)	-84.7	-0.3	15.3	-10.9	11.8	18.5	558	146
	Mk (max+)	23.7	0.2	22.1	-19.3	28.3	-19.6	546	126
	Mk (max-)	-46.7	-0.4	3.7	-44.3	55.3	27.1	558	145
	My (max+)	-46.7	-0.4	67.4	8.7	-62.1	27.1	560	145
	My (max-)	182.3	0.0	-58.4	8.7	-62.1	27.1	553	146
	Mz (max+)	107.7	-0.2	-16.2	14.8	9.6	-5.1	547	147
	Mz (max-)	164.7	0.1	-19.7	-228.3	147.1	0.4	554	147
	Qy (max+)	164.7	0.1	-20.3	4.0	148.9	0.4	553	147
	Qy (max-)	164.7	0.1	-19.0	-1.1	-145.6	0.4	556	147
	Qz (max+)	-0.7	-0.3	-44.7	0.4	36.0	29.4	557	135
	Qz (max-)	487.2	-0.2	14.7	-42.5	43.0	-26.3	554	137

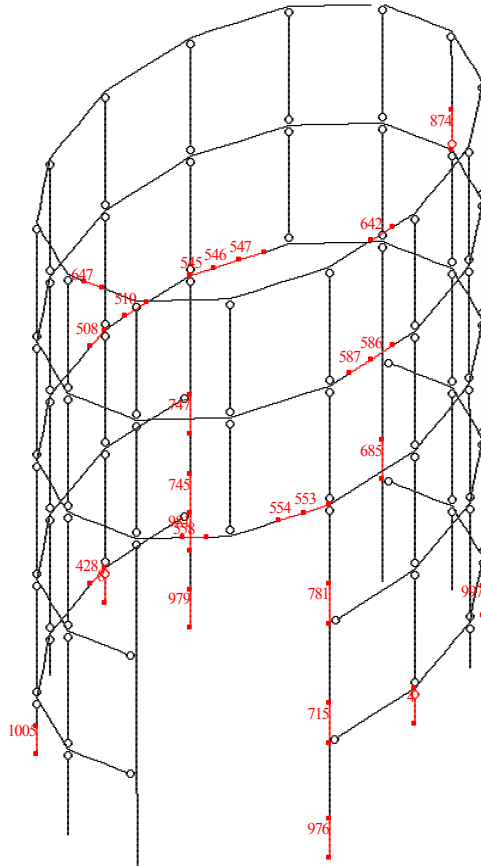


Рис. 3. Нумерация наиболее нагруженных элементов в расчетной МКЭ-модели цилиндрической части газоотводящего ствола

## Выводы

1. Изменение технологических требований и износ железобетонных дымовых труб требуют применения новых методов повышения производительности и продления срока службы.
2. Использование внутреннего металлического ствола позволяет усилить внутреннюю часть железобетонных труб и улучшить газодинамические характеристики газоотводящего тракта.
3. При расчете и проектировании таких сооружений необходимо учитывать особенности технологических воздействий, процессы износа и обслуживание в процессе эксплуатации.

## **Литература**

- [1] Бойко Е.А. Котельные установки и парогенераторы (Аэродинамический расчет котельных установок). – Красноярск, 2006. – 218 с.
- [2] Губанов В.В. Влияние характеристик среды на выбор параметров высотных сооружений// «Будівельні конструкції спортивних та просторових споруд: сьогодення та перспективи розвитку» / Тези доповідей. – К.: Вид-во «Сталь», 2010. – С. 153–155.
- [3] Губанов В.В. Начальный уровень надежности и планирование ремонтов элементов высотных сооружений / В.В. Губанов, В.И. Москаленко // Сб. научн. тр. «Современные строительные конструкции из металла и древесины». – Одесса: ОГАСА, 2011. – Т. 3. – С. 23–28.
- [4] Губанов В.В. Основы методического подхода к проектированию высотных сооружений с учетом обслуживания / Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво): Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка. – Полтава: ПолтНТУ, 2009. – Вип. 3 (25). – Т. 3 – С. 67–71.
- [5] Губанов В.В. Способы повышения надежности и долговечности высотных сооружений с металлическим каркасом // Вестник ДонНАСА. – Макеевка, 2009. – Вып. 2009-4(78). – С. 209–214.
- [6] Корсун В.И. Опыт исследования технического состояния и выполнения ремонтов железобетонной дымовой трубы / В.И Корсун, Г.В. Червонобаба, С.Л. Кузнецов // Современные проблемы строительства: Ежегодный научно-технический сборник. – Донецк: Донецкий ПромстройНИИпроект, ООО «Лебедь». – 2002. – Т. 2. – С. 109–113.
- [7] Корсун В.И Опыт ремонта конструкций подвесок газоотводящего ствола дымовой трубы Н = 320м / В.И. Корсун, Е.А. Дмитренко, А.В. Корсун // Вестник ДонНАСА. – Макеевка, 2005. – Вып. 2006-8(56). – С. 200–203.
- [8] Корсун В.И Опыт усиления стволов железобетонных дымовых труб / В.И. Корсун, А.Н. Машенко // Вестник ДонНАСА. – Макеевка, 2003. – Вып. 2003-2(39). – Том 2.–С. 64–67.
- [9] Корсун В.И Особенности повреждений и опыт ремонта железобетонных оболочек градирен высотой Н=150 м // Вестник ДонНАСА. – Макеевка, 2005. – Вып. 2006-8(56). – С. 204–209.
- [10] Корсун В.И. О состоянии промышленных дымовых и вентиляционных труб в Украине и мерах по обеспечению их эксплуатационной надежности / В.И. Корсун., В.В. Губанов // Вестник ДонГАСА. – Макеевка, 2003. – Вып. 2003–2 (39). – Т. 2. – С. 19–22.

*Надійшла до редколегії 24.07.2012 р.*