

**УДК 697.97**

**Р.Ш. МАНСУРОВ**

## **МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ОБРАБОТКИ ВОЗДУХА ДЛЯ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МИКРОКЛИМАТА**

Предложена принципиальная схема многофункционального устройства, позволяющего варьировать технологиями обработки воздуха без реконструкции системы обеспечения микроклимата. Конструктивные особенности установки позволяют реализовывать воздушно-отопительную (охладительную) и прямоточную приточно-вытяжную технологии обработки воздуха помещения с переменной рециркуляцией и без нее.

**Ключевые слова:** система обеспечения микроклимата, энергосберегающее оборудование, технология обработки воздуха, энерго- и ресурсосберегающие режимы работы.

Наиболее распространенным энергосберегающим оборудованием, применяемым в системах обеспечения микроклимата (СОМ), являются рекуперативные, регенеративные утилизаторы теплоты и теплонасосные установки (ТНУ). Из энергосберегающих технологий обработки воздуха можно выделить байпасирование камеры орошения, первую и вторую рециркуляцию, регулирование расхода приточного воздуха в зависимости от содержания различных вредностей в воздухе рабочей зоны — теплоты, влаги,  $\text{CO}_2$ , пыли и др. К энерго- и ресурсосберегающим режимам работы СОМ можно отнести дежурный режим работы; режимы прерывистого отопления-охлаждения и вентиляции помещений; режимы работы с учетом ассимилирующей способности воздушного объема и теплоаккумулирующих свойств ограждающих конструкций помещения.

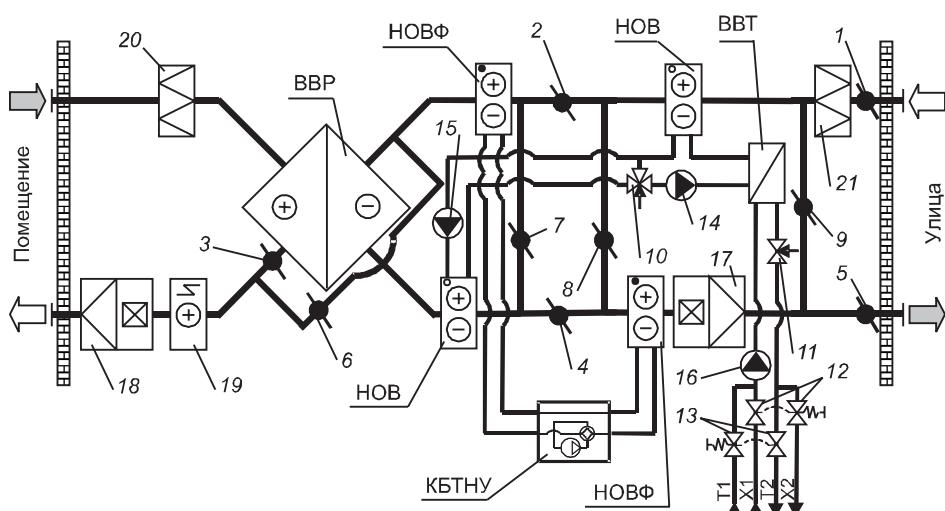
Объединение энергосберегающего оборудования и технологий обработки воздуха в целостный комплекс технических решений в единое многофункциональное устройство (МФУ), а также использование различных энерго- и ресурсосберегающих режимов работы СОМ дает возможность оптимизировать потребление различного рода ресурсов на поддержание заданных параметров микроклимата в помещении. В настоящее время разработана и введена в эксплуатацию экспериментальная установка, включающая в себя энергосберегающее оборудование: пластинчатый воздушный рекуператор, рекуператор с промежуточным теплоносителем и тепловой насос. Компоновочные решения экспериментальной установки позволяют гибко изменять технологию обработки воздуха с использованием рециркуляции и байпасирования воздуха. Автоматизированная система управления (АСУ) установкой реализована на свободнограммированном логическом контроллере (ПЛК) под управлением компьютера. ПЛК позволяет реализовать и исследовать различные варианты управления оборудованием установки, а также обеспечивает автоматизированный съем показаний различных датчиков (сенсоров) по заданному плану экспериментальных исследований [1, 2].

Принципиальная схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Она объединяет энерго- и ресурсосберегающие технологии обработки воздуха и оборудование в единое устройство, что позволяет варьировать принципиально разными вариантами схемных решений СОМ.

Экспериментальная установка включает в себя:

- систему приточных и вытяжных воздуховодов прямоугольного, круглого сечения, воздушных заслонок с сервоприводами, байпасов и карманных фильтров, воздухораспределителей различного типа;
- приточный и вытяжной канальные вентиляторы прямоугольного сечения;
- рециркуляционный воздуховод с воздушной заслонкой;
- электрический воздухонагреватель;
- пластинчатый воздухо-воздушный рекуператор;
- рекуператор с промежуточным теплоносителем, состоящим из двух водяных воздухонагревателей-охладителей, трубопроводов, трехходового клапана и двух циркуляционных насосов;
- теплонасосную установку (ТНУ) в составе двух фреоновых воздухонагревателей-охладителей и компрессорного блока;
- четырехтрубную систему тепло- и холодаоснабжения в составе пластинчатого водо-водяного теплообменника, циркуляционного насоса, двухходового клапана и четырех попарно сдвоенных электромагнитных клапанов.

Как уже было отмечено выше, экспериментальная установка снабжена АСУ на «свободно» программируемом логическом контроллере под управлением компьютера.



*Rис. 1. Схема экспериментальной установки*

BVR — воздухо-воздушный рекуператор; РПТ — рекуператор с промежуточным теплоносителем; НОВ — нагреватель-охладитель воздуха; НОВФ — нагреватель-охладитель воздуха фреоновый; ВВТ — водо-водянй теплообменник; КБТНУ — компрессорный блок теплонасосной установки; 1–9 — воздушные заслонки; 10 — трехходовой клапан на линии трубопроводов РПТ; 11 — двухходовой клапан на линии трубопроводов теплохолодоснабжения РПТ; 12, 13 — сдвоенные электромагнитные клапаны (нормально закрыты); 14 — циркуляционный насос РПТ; 15 — бустерный насос; 16 — циркуляционный насос системы теплохолодоснабжения РПТ; 17 — вытяжной вентилятор; 18 — приточный вентилятор; 19 — электрический воздухонагреватель; 20, 21 — карманные фильтры

Контрольно-измерительные приборы, исполнительные механизмы и регуляторы представлены следующими устройствами:

- датчиками (сенсорами) температуры канального воздуха, воздуха помещения и наружного воздуха;
- датчиками температуры тепло(хладо)носителя — антифриза;
- датчиками относительной влажности наружного, канального и комнатного воздуха;
- датчиками перепада давления на приточном и вытяжном вентиляторах;
- реле давления для контроля засоренности воздушных фильтров и обмерзания воздухо-воздушного пластиначатого рекуператора;
- канальными датчиками скорости воздушного потока на приточной, вытяжной, рециркуляционной линиях и на байпасе ВВР;
- канальными инфракрасными датчиками концентрации СО<sub>2</sub> в приточном воздухе и удаляемом из помещения (вытяжном);
- электронными регуляторами частоты вращения приточного и вытяжного вентиляторов от 0 до 70 Гц;
- электронным симисторным регулятором мощности электровоздухонагревателя от 0 до 100 %;
- исполнительными механизмами: сервоприводами воздушных заслонок и сервоприводом трехходового клапана на трубопроводах РПТ;
- датчиками перепада давления между помещением лаборатории и коридором, а также между помещением лаборатории и улицей;
- помещение лаборатории оборудовано гермодверью и воздухоплотными окнами.

АСУ позволяет реализовать различные варианты схемных решений СОМ благодаря наличию в своем составе энергосберегающего оборудования и возможностью варьировать различными технологиями обработки воздуха. Применение в установке различного рода сенсоров (датчиков) и исполнительных устройств позволяет в полной мере контролировать параметры микроклимата помещения и эффективность работы оборудования СОМ.

Рассмотрим принципиальную схему и работу МФУ, позволяющего варьировать технологиями обработки воздуха без реконструкции системы обеспечения микроклимата. Управление вентиляционными заслонками осуществляется сервоприводами с поворотом ламелей жалюзи на любой заданный программой управления угол от 0 до 90°.

Приведенная ниже схема МФУ (рис. 2) дает возможность изменять направление движения воздуха по вентиляционным каналам МФУ за счет управления углом поворота ламелей воздушных заслонок, тем самым меняя технологию обработки воздуха. Ниже приведены три базовых варианта технологии обработки воздуха.

Прямоточная приточно-вытяжная технология обработки воздуха помещения (рис. 3): вентиляционные заслонки 1, 2, 6 на приточной линии и 4, 5 на вытяжной линии открыты полностью. Заслонки 3, 7–9 закрыты.

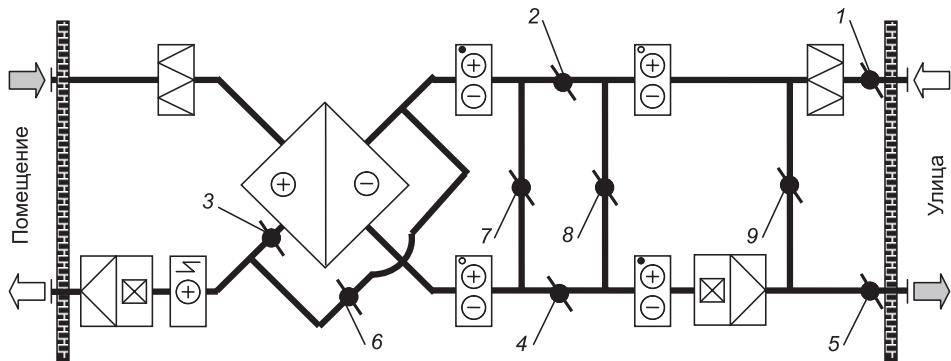


Рис. 2

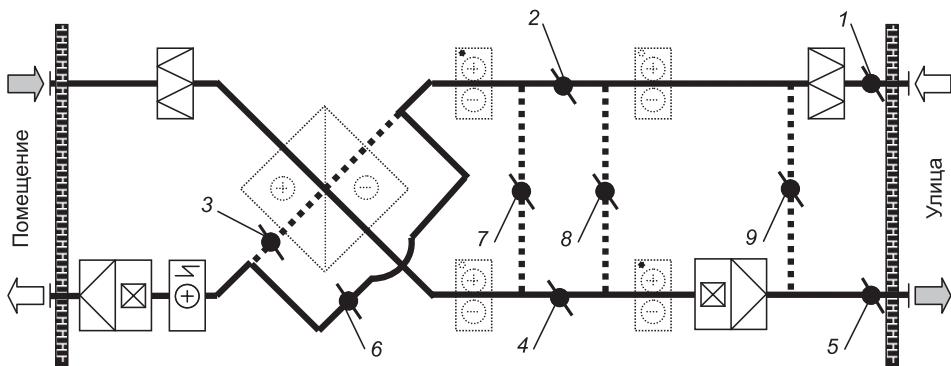


Рис. 3

Данный вариант позволяет реализовать следующие режимы:

- круглогодичное проветривание помещения при поддержании в помещении заданной температуры с использованием только наружного воздуха;
- создание в обслуживаемом помещении дисбаланса давлений различной полярности за счет изменения напоров приточного и вытяжного воздуха;
- изменение воздухообмена в помещении в зависимости от тепло- и влагоизбытков, а также от концентрации вредностей (например, CO<sub>2</sub>).

Приточно-вытяжная технология обработки воздуха помещения с переменной рециркуляцией (рис. 4): вентиляционные заслонки 1, 2, 6 на

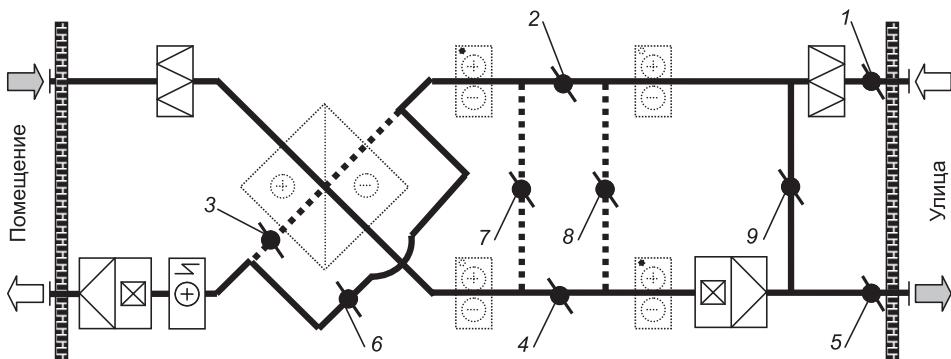


Рис. 4

приточной линии, 4 и 5 на вытяжной линии открыты полностью и 9 на рециркуляционной линии частично или полностью открыта. Заслонки 3, 7 и 8 закрыты.

Данный вариант аналогичен вышеизложенному (см. рис. 3) с включением рециркуляционного воздуховода и позволяет реализовать те же режимы, при этом доля рециркуляции может изменяться от 0 до 1 в зависимости от концентрации вредностей, например, CO<sub>2</sub> в обслуживаемом помещении.

Воздушно-отопительно-охладительная технология обработки воздуха помещения (рис. 5): вентиляционные заслонки открыты полностью 1 и 6 на приточной линии, 5 на вытяжной линии, 7 и 8 открыты полностью на байпасах. Заслонки 2–4 и 9 закрыты.

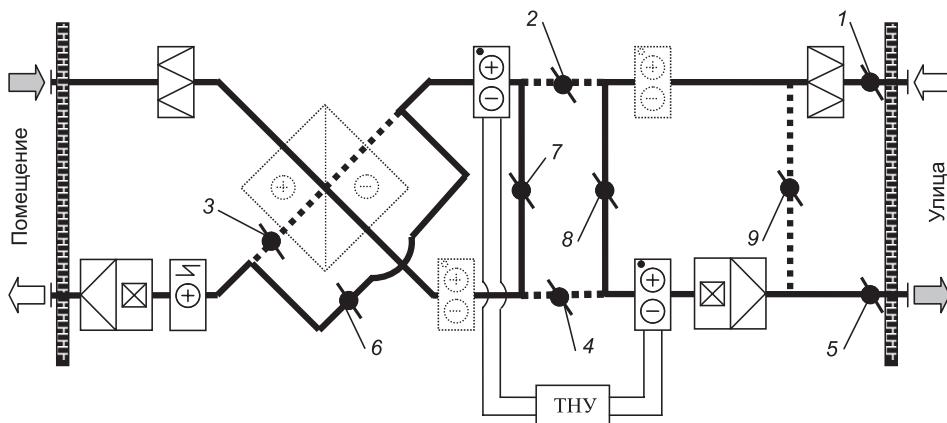


Рис. 5

Данный вариант позволяет реализовать следующие режимы:

- воздушное отопление помещения (без вентилирования) в переходный и холодный периоды года при использовании воздухонагревателя;
- воздушное отопление-охлаждение помещения (без вентилирования) при использовании ТНУ в режиме нагрева (теплообменник на приточном воздуховоде в роли конденсатора ТНУ) или охлаждения (теплообменник на приточном воздуховоде в роли испарителя ТНУ) в зависимости от периода года;
- незначительное приоткрытие заслонок 2 и 4 дает возможность частично вентилировать обслуживаемое помещение, что применимо для помещений с кратковременным пребыванием людей или при значительной ассимилирующей способности воздуха.

В заключение следует отметить, что по приведенным вариантам технологии обработки воздуха проведены натурные эксперименты, получен достаточно объемный экспериментальный материал. Более детальное описание работы МФУ будет предложено в последующих статьях.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кувшинов, Ю.Я. Интеллектуальная система управления процессами формирования микроклимата помещений [Текст] / Ю.Я. Кувшинов, Р.Ш. Мансуров // Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика («АВОК»). — 2011. — № 8. — С. 58–68.

2. Мансуров, Р.Ш. Энергосбережение в системах обеспечения микроклимата [Текст] / Р.Ш. Мансуров, А.Б. Костуганов // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: сб. материалов всерос. науч.-практ. конф. — Екатеринбург, 2011. — С. 130–133.

*МАНСУРОВ Рустам Шамильевич, канд. техн. наук, доц.  
Оренбургский государственный университет*

Получено после доработки 27.11.13

**Mansurov Rustam Shamiljevich**, candidate of technical sciences, assistant professor,  
Orenburg State University, Russia

### **MULTIFUNCTIONAL DEVICE OF AIR PROCESSING FOR MICROCLIMATE SYSTEM**

The principle circuit of multifunctional device with opportunity of changing of air processing technology without reconstruction of microclimate system is proposed. The constructive features of the setup allow to carry out air-heating (cooling) and direct-flow influx-and-extract technology of air processing of room with/without variable recycling.

**Key words:** microclimate system, power saving device, air processing technology, power and resource saving mode.

### **REFERENCES**

1. Kuvshinov, Yu.Ya. Intellectual system for control of local microclimate development processes [Text] / Yu.Ya. Kuvshinov, R.Sh. Mansurov // Heating, Ventilation, Air Conditioning («AVOK»). — 2011. — N 8. — P. 58–68.
  2. Mansurov, R.Sh. Power saving in microclimate system [Text] / R.Sh. Mansurov, A.B. Kostuganov // Power and resource saving. Power supply. Alternative and renewable energy sources. Proceedings of all-Russian conference. — Ekaterinburg, 2011. — P. 130–133.
-

УДК 697.133

О.Д. САМАРИН

## РАСЧЕТ УДЕЛЬНЫХ ТЕПЛОПОТЕРЬ ЧЕРЕЗ ТОЧЕЧНЫЕ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АКТУАЛИЗИРОВАННОЙ РЕДАКЦИИ СНиП 23-02

Рассмотрены особенности определения дополнительных теплопотерь через гибкие связи и кронштейны в конструкциях наружных стен по методике СП 50.13330.2012. Установлена связь между фактором формы и удельными теплопотерями точечных элементов ограждений и предложены инженерные рекомендации для их вычисления.

**Ключевые слова:** удельные потери теплоты, точечный элемент, фактор формы, сопротивление теплопередаче.

В последнее время в связи с появлением и распространением наружных ограждающих конструкций с повышенным сопротивлением теплопередаче и с наличием слоев из эффективных теплоизоляционных материалов вновь возникают вопросы, касающиеся определения температур на внутренней поверхности характерных элементов таких ограждений и приведенного сопротивления теплопередаче конструкций, включающих подобные элементы. В частности, это относится к наружным углам, оконным откосам, стыкам, гибким связям и кронштейнам в трехслойных стеновых панелях и другим участкам с двух- и трехмерным температурным полем. Необходимость такого рода расчетов в первую очередь связана с необходимостью возможно более точной оценки энергопотребления здания на нужды отопления, в том числе с целью установления класса энергоэффективности объекта, что особенно актуально в условиях действия федерального закона № 261-ФЗ «Об энергосбережении...» от 23 ноября 2009 г.

В то же время с 1 июля 2013 г. вступила в силу актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» — СП 50.13330.2012. В соответствии с ее требованиями предлагается определять удельные потери теплоты через точечную теплотехническую неоднородность  $\chi_k$ , Вт/К, по результатам расчета двухмерного температурного поля узла конструкций:

$$\chi_k = \frac{\Delta Q_k^K}{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}, \quad (1)$$

где  $t_{\text{в}}$  и  $t_{\text{н}}$  — соответственно температура внутреннего и наружного воздуха, °С;  $\Delta Q_k^K$  — дополнительные потери теплоты через точечную теплотехническую неоднородность  $k$ -го вида, Вт, определяемые по формуле

$$\Delta Q_k^K = Q_k - \tilde{Q}_k, \quad (2)$$

где  $Q_k$  — потери теплоты через узел, содержащий точечную теплотехническую неоднородность  $k$ -го вида, являющиеся результатом расчета температурного поля, Вт;

$\tilde{Q}_k$  — потери теплоты через тот же узел, не содержащий точечную теплотехническую неоднородность  $k$ -го вида, являющиеся результатом расчета температурного поля, Вт.

Более подробно о данной методике и различных ее вариантах, принятых в других европейских странах, рассказывается в работе [1]. Главная сложность при практическом использовании такого подхода для вычисления приведенного сопротивления теплопередаче ограждения в целом заключается, однако, в необходимости определения величины  $\Delta Q_k^K$  для каждого вида неоднородностей. В настоящее время это не является принципиальной трудностью, но для массового проектирования и особенно для оценочных расчетов было бы желательно иметь совокупность значений  $\chi_k$  хотя бы для наиболее часто встречающихся элементов либо по возможности простые инженерные правила их вычисления.

Ранее учет наличия элементов с двух- и трехмерным температурным полем обычно производился с использованием коэффициента теплотехнической однородности  $r$ , представляющего собой отношение приведенного сопротивления ограждения теплопередаче  $R_0^{\text{пр}}$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$ , к условному сопротивлению (по глади)  $R_0^{\text{ усл}}$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$  [2]. В СП 50.13330 данный показатель также сохранен, но как вспомогательная величина, характеризующая эффективность утепления конструкции и вычисляемая уже после расчета значения  $R_0^{\text{ усл}}$  с использованием показателей  $\chi_k$ . Однако к настоящему времени накоплено достаточно много данных по определению уровня  $r$  для различных вариантов конструкций наружных стен, и в том числе с современным уровнем теплозащиты [2, 3]. Поэтому представляется целесообразным использование этих сведений при расчете  $R_0^{\text{ усл}}$  по методике СП 50.13330. Покажем, как это можно сделать на примере гибких связей в трехслойных стенных панелях или кронштейнов в вентилируемых фасадах.

Очевидно, что для величины  $r$  можно записать соотношение

$$r = \frac{Q_{\text{ усл}}}{Q_{\text{ усл}} + N_j \Delta Q_k^K}, \quad (3)$$

поскольку при одной и той же разности внутренней и наружной температуры и площади конструкции тепловой поток будет обратно пропорционален только сопротивлению теплопередаче.

Здесь  $Q_{\text{ усл}} = \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{R_0^{\text{ усл}}} F_{\text{ фас}}$  — суммарные условные потери теплоты через

фасад без учета теплотехнической однородности, Вт;

$F_{\text{ фас}}$  — площадь фасада;

$N_j$  — общее число связей или кронштейнов.

Отсюда получаем

$$r = \frac{1}{1 + N_j \Delta Q_k^K / Q_{\text{ усл}}} = \frac{1}{1 + \frac{n_j \Delta Q_k^K R_0^{\text{ усл}}}{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}} = \frac{1}{1 + n_j \chi_k R_0^{\text{ усл}}}, \quad (4)$$

где  $n_j = N_j / F_{\text{фас}}$  — число связей или кронштейнов, приходящееся на 1 м<sup>2</sup> фасада. Следовательно, величина  $\chi_k$  может быть выражена через коэффициент теплотехнической однородности и другие необходимые параметры следующим образом:

$$\chi_k = \left( \frac{1}{r} - 1 \right) / (n_j R_0^{\text{усл}}). \quad (5)$$

На основании приведенных автором в работах [3, 4] результатов численных расчетов температурных полей стеновых конструкций с гибкими связями и кронштейнами можно предложить следующую аппроксимационную формулу для их коэффициента теплотехнической однородности:

$$r = 0,76(K')^{-1/7} \quad (6)$$

в зависимости от отношения суммарной тепловой проводимости связей к проводимости стены без учета связей

$$K' = \frac{F_{\text{kp}} \lambda_k}{F_{\text{фас}} \lambda_{\text{ут}}},$$

где  $F_{\text{kp}}$  — площадь поперечного сечения кронштейна;

$\lambda_k$  и  $\lambda_{\text{ут}}$  — теплопроводность материала кронштейнов и утеплителя;  
 $K' = 0,2 \dots 3,8$  — диапазон значений, когда формула для  $r$  справедлива.

Если  $F_{\text{kp}}$  относить к одному кронштейну, тогда  $F_{\text{kp}} = \frac{\pi d_{\text{kp}}^2}{4}$ , где  $d_{\text{kp}}$  — диаметр кронштейна, м. В то же время  $S_j = F_{\text{фас}} / N_j = 1 / n_j$  — площадь стены, приходящаяся на одно включение, м<sup>2</sup>. Тогда

$$K' = \frac{\pi d_{\text{kp}}^2 n_j \lambda_k}{4 \lambda_{\text{ут}}}.$$

Отсюда находим

$$\chi_k = \frac{1}{n_j R_0^{\text{усл}}} (1,316(K')^{1/7} - 1). \quad (7)$$

Для наглядности проведем расчет величины  $\chi_k$  в условиях примера, использованного в Приложении Н СП 50.13330:

$$n_j = 1,85 \text{ м}^{-2}; \quad R_0^{\text{усл}} = 3,64 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}; \quad \lambda_{\text{ут}} = 0,045 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К});$$

$$\lambda_k = 58 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К});$$

$F_{\text{kp}}$  примем равным 2 см<sup>2</sup> [5], т.е.  $2 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>. Тогда

$$K' = \frac{2 \cdot 10^{-4} \cdot 1,85 \cdot 58}{0,045} = 0,477 \quad \text{— лежит в пределах } 0,2 \dots 3,8.$$

Следовательно,

$$\chi_k = \frac{1}{1,85 \cdot 3,64} (1,316 \cdot (0,477)^{1/7} - 1) = 0,0274 \text{ Вт/К.}$$

На самом деле в Приложении Н СП 50.13330 для этого случая отмечается существенно меньший уровень  $\chi_k = 0,0052$  Вт/К. Однако это

можно объяснить, например, тем обстоятельством, что здесь было использовано более низкое значение  $F_{kp}$ , которое в примере СП непосредственно не указано. Обратным расчетом можно определить, что для наилучшего совпадения следовало бы принимать  $F_{kp} \approx 8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$ , что соответствует диаметру кронштейна 1 см и поэтому является весьма правдоподобной величиной, хотя в работе [5] минимальным рассматриваемым сечением является только  $2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ . Заметим, что при  $F_{kp} \approx 8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$  параметр  $K' \approx 0,2$  все еще лежит в области применимости соотношения (6), так что все наши рассуждения остаются справедливыми.

Таким образом, мы получили достаточно простые зависимости, связывающие удельные дополнительные потери теплоты через некоторые точечные теплотехнические неоднородности с известными параметрами для конструкций, содержащих данные элементы, а именно с коэффициентом теплотехнической однородности  $r$ . Такие зависимости имеют инженерный вид и могут быть использованы при оценочных расчетах приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций здания, и в первую очередь его наружных стен, с использованием методики СП 50.13330.2012.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гагарин, В.Г. Учет теплотехнических неоднородностей при оценке теплозащиты ограждающих конструкций в России и европейских странах [Текст] / В.Г. Гагарин, К.А. Дмитриев // Строительные материалы. — 2013. — № 6. — С. 14–16.
2. Богословский, В.Н. Строительная теплофизика [Текст] / В.Н. Богословский. — М. : Выш. шк., 1982. — 415 с.
3. Самарин, О.Д. Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность [Текст] / О.Д. Самарин. — М. : Изд-во АСВ, 2011. — 296 с.
4. Самарин, О.Д. Расчет температуры на внутренней поверхности наружного угла здания с современным уровнем теплозащиты [Текст] / О.Д. Самарин // Изв. вузов. Строительство. — 2005. — № 8. — С. 52–56.
5. Гагарин, В.Г. Теплотехнические особенности фасадов с вентилируемым воздушным зазором [Текст] / В.Г. Гагарин, В.В. Козлов // Сб. докл. 9-й конф. РНТОС 25 мая 2004 г. — С. 37–39.

*САМАРИН Олег Дмитриевич, канд. техн. наук, доц.  
Московский государственный строительный университет*

Получено 14.11.13

**Samarin Oleg Dmitrievich**, candidate of technical sciences, assistant professor,  
Moscow State University of Civil Engineering, Russia

#### **CALCULATION OF SPECIFIC HEAT LOSSES THROUGH POINT THERMAL NON-UNIFORMITIES USING ACTUALIZED EDITION OF SNIP 23-02**

Details of calculation of additional heat losses through the flexible braces and holders in external wall panels using the procedure of SP 50.13330.2012 are considered. Connection with form index and specific heat losses of enclosure point elements is determined, and engineering recommendations for their calculation are offered.

**Key words:** specific heat losses, linear element, form index, thermal resistance.

REFERENCES

1. Gagarin, V.G. Account of thermal non-uniformities during estimation of thermal performance of building enclosures in Russia and European countries [Text] / V.G. Gagarin, K.A. Dmitriev // Construction materials. — 2013. — N 6. — P. 14–16.
  2. Bogoslovsky, V.N. Building thermal physics [Text] / V.N. Bogoslovsky. — M. : Higher school, 1982. — 415 p.
  3. Samarin, O.D. Thermal physics. Energy saving. Energy efficiency [Text] / O.D. Samarin. — M. : Publishing house ASV, 2011. — 296 p.
  4. Samarin, O.D. Calculation of temperature on the internal surface of the external corner of a building with modern level of thermal performance [Text] / O.D. Samarin // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2005. — N 8. — P. 52–56.
  5. Gagarin, V.G. Thermal peculiarities of the facades with ventilated air clearance [Text] / V.G. Gagarin, V.V. Kozlov // Pap. of the 9<sup>th</sup> conf. of RSTSB, 2004, May the 25<sup>th</sup>. — P. 37–39.
-

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ

УДК 621.878.2:621.396

Ю.В. АВДЕЕВ, А.Д. КОНОНОВ, А.А. КОНОНОВ, Н.А. ВАРДАНЯН

### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФАЗОВЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ В ЗАДАЧАХ ДИСТАНЦИОННОГО АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ МАШИНАМИ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

На основе анализа точностных характеристик фазовых методов определения координат и исследования применимости различных радионавигационных методов обоснован выбор разностно- дальнометрической системы для автоматического управления движением строительных и дорожных машин.

**Ключевые слова:** дистанционное управление, строительно-дорожные машины, радионавигационные системы.

Важным направлением повышения эффективности применения строительных и дорожных машин (СДМ), например, в строительстве автомобильных дорог, и безопасности жизнедеятельности операторов является развитие систем дистанционного радиоуправления [1]. Решение проблемы дистанционного управления СДМ включает в себя ряд задач [2], часть из которых могут быть решены теоретически, например [3, 4].

При дистанционном управлении радионавигационная система (РНС) должна задать в определенной системе координат закон движения СДМ, который выражал бы зависимость координат ее центра тяжести от времени. Эта зависимость может быть рассчитана с учетом динамики конкретной машины заранее или выработана в процессе движения. Характер закона движения определяется конкретными условиями и должен обеспечивать заданную точность управления и требуемую экономичность.

Для решения общей задачи дистанционного автоматического управления необходимо оперативное измерение параметров действительного движения СДМ и непрерывное сопоставление их с заданными характеристиками, на основе которого будут вноситься необходимые регулирующие воздействия для минимизации отклонения от заданного движения объекта [2].

В поставленной задаче будем считать, что цель реализована при достижении абсолютной погрешности измерения координат в 2–3 см или относительной погрешности порядка  $10^{-5}$ , что для СДМ вполне допустимо.

Среди систем определения координат наиболее приемлемыми можно считать фазовые радиотехнические системы, позволяющие измерять расстояния и углы с высокой точностью, которая ограничивается лишь инструментальными погрешностями и ошибками, возникающими при распространении в радиоволновом канале.

Определение угловых координат объекта осуществляется путем измерения сдвига фаз в двух точках пространства. Достоинством фазовых систем является то, что в них отсутствует поиск и для фазовых пеленгаторов высокой точности не требуется сложных и жестких конструкций.

Среди фазовых РНС наиболее распространены угломерные, дальномерные, угломерно-дальномерные и разностно-дальномерные системы.

Проблема выбора РНС для целей дистанционного управления объектом должна рассматриваться в аспекте сравнения этих систем по многим параметрам, имеющим различные весовые коэффициенты. В частности, можно использовать в качестве критерия эффективности значение некоторого обобщенного параметра  $R_i$ , который для  $i$ -й РНС может быть записан как

$$R_i = \sum_{j=1}^m C_j K_{ij},$$

где  $C_j$  — весовой коэффициент, учитывающий вклад каждого  $j$ -го параметра (частного критерия эффективности);

$K_{ij}$  — значение  $j$ -го параметра  $i$ -й РНС;

$m$  — число параметров, по которым ведется сравнение систем.

Оптимальным можно считать выбор такой РНС, для которой обобщенный параметр  $R_i$  принимает экстремальное значение при определенном наборе  $C_j$  и  $K_{ij}$ . Сразу надо отметить, что выбор числа параметров и их весовых коэффициентов, по которым ведется сравнение систем, представляет весьма сложную задачу. Если на практике ограничиться рассмотрением только наиболее существенных параметров, которые дают примерно одинаковые вклады в  $R_i$ , то сравнительный анализ значительно упрощается.

Так, для оценки применимости радионавигационных методов для автоматического управления движением СДМ можно использовать следующую методику оценки точности определения местонахождения при различных способах определения координат.

Точность определения координат зависит от расстояния относительно радионавигационных точек РНТ (опорные точки, в которых может располагаться аппаратура РНС для сравнения значений навигационных параметров), от точности определения линии положения (на плоскости — это геометрическое место точек, соответствующих одному значению навигационного параметра) при заданной вероятности и от угла пересечения линий положения.

Так как все эти величины меняются в широких пределах, то интегральная оценка применимости конкретной РНС в системах автоматического управления СДМ носит относительный характер. Тем не менее из анализа выражений<sup>1, 2</sup> можно отметить, что при определении координат машины *угломерными* РНС ошибка обратно пропорциональна расстоянию от центра базы антенн. Влияние длины базы (апertureы) сказывается

<sup>1</sup> Белавин О.В. Основы радионавигации. М.: Сов. радио, 1977. 320 с.

<sup>2</sup> Астафьев Г.П. Радиотехнические средства навигации летательных аппаратов. М.: Сов. радио, 1962. 283 с.

таким образом, что на больших дальностях ошибки обратно пропорциональны величине базы, а на малых — квадрату базы.

Для дальномерных РНС на малых расстояниях ошибка определения места, как и в угломерных системах, обратно пропорциональна расстоянию, а на больших расстояниях — пропорциональна первой степени дальности, что является преимуществом их перед угломерными.

Увеличение влияния длины базы приводит к уменьшению ошибок на больших расстояниях, так же как и в угломерных РНС, но зато на малых расстояниях ошибки дальномерных РНС при увеличении базы будут возрастать медленнее, чем у угломерных.

Для угломерно-дальномерных РНС на малых расстояниях от РНТ ошибки определяются погрешностью дальномерных измерений, а на больших — погрешностью угломерных измерений.

Энергетика угломерно-дальномерных РНС на малых дальностях выше, чем у дальномерных и ошибки не зависят от направления на мобильный объект.

Для разностно-дальномерных РНС на малых расстояниях ошибка не зависит от расстояния, что является их преимуществом перед дальномерными, у которых ошибка обратно пропорциональна дальности и пропорциональна длине базы.

На больших расстояниях разностно-дальномерная и угломерная системы примерно одинаковы, хотя у первой есть преимущества в отношении влияния длины базы, так как ошибка обратно пропорциональна квадрату базы, а у угломерной — обратно пропорциональна первой степени длины базы.

Заметим, что приведенная методика<sup>1, 2</sup> сравнения перечисленных РНС на основе анализа формульных зависимостей ошибок измерений от дальности до объекта и величины базы для больших и малых расстояний не может дать полного представления о преимуществах той или иной РНС, так как значения ошибок зависят не только от геометрических свойств системы, но также и от точности определения линий положения.

В этом смысле разностно-дальномерные системы имеют существенные преимущества, так как вследствие более высокой точности измерений дают возможность создания более «плотной» сетки линий положения, что повышает точность навигационных измерений.

Поэтому для оценки применимости той или иной РНС в задачах ориентации СДМ целесообразно рассмотреть ошибки места (ошибки определения местоположения объекта), возникающие при нахождении координат различными РНС применительно к конкретному рабочему участку.

Ошибка места определяется выражением<sup>1</sup>

$$r = \operatorname{cosec} \gamma \cdot \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + 2u_1 u_2 \cos \gamma}, \quad (1)$$

где  $\gamma$  — угол пересечения линий положения;

$u_1, u_2$  — ошибки определения линий положения.

Возводя в квадрат обе части выражения (1) и усредняя, получаем

$$\overline{r^2} = \operatorname{cosec}^2 \gamma \cdot (\overline{u_1^2} + \overline{u_2^2} + 2\overline{u_1 u_2} \cos \gamma). \quad (2)$$

Необходимо учитывать, что

$$\overline{u_1^2} = \sigma_{u1}^2; \quad \overline{u_2^2} = \sigma_{u2}^2; \quad \overline{u_1 u_2} = \rho \sigma_{u1} \sigma_{u2}, \quad (3)$$

где  $\sigma_{u1}, \sigma_{u2}$  — средние квадратические значения ошибок линий положения,

$\rho$  — коэффициент корреляции отсчетов.

Средний квадрат ошибки места представляется

$$\overline{r^2} = r_\sigma^2 = \operatorname{cosec}^2 \gamma \cdot (\sigma_{u1}^2 + \sigma_{u2}^2 + 2\rho \sigma_{u1} \cdot \sigma_{u2} \cdot \cos \gamma). \quad (4)$$

Величина, характеризующая точность определения местоположения

$$r_\sigma = \operatorname{cosec} \gamma \cdot \sqrt{(\kappa_1 \sigma_{p1})^2 + (\kappa_2 \sigma_{p2})^2 + 2\rho \cdot \kappa_1 \cdot \kappa_2 \cdot \sigma_{p1} \cdot \sigma_{p2} \cdot \cos \gamma}, \quad (5)$$

где  $\kappa_1$  и  $\kappa_2$  — коэффициенты ошибок линий положения;

$\sigma_{p1}, \sigma_{p2}$  — среднеквадратические значения ошибок параметров для первого и второго устройства.

Точность  $r_\sigma$  зависит от расстояния  $R_0$  центра базы до подвижного объекта и от угла  $\Theta$ , образованного перпендикуляром к базе и направлением на подвижную точку.

Для независимых ошибок параметров  $\rho = 0$  и точность  $r_\sigma$  записывается:

— для угломерных РНС

$$r_\sigma = \frac{0,017 \sigma_0^2}{\sin \gamma} \sqrt{R_1^2 + R_2^2}, \quad (6)$$

где  $\sigma_0$  — средняя квадратическая ошибка измерения азимута;

$R_1$  и  $R_2$  — расстояния от РНТ до объекта;

— для дальномерных РНС

$$r_\sigma = \frac{\sigma_0}{\sqrt{2 \cdot \sin \gamma}}; \quad (7)$$

— для угломерно-дальномерных РНС

$$r_\sigma = \sqrt{(R_0 \sigma_\Theta)^2 + \frac{\sigma_R^2}{4}}, \quad (8)$$

где  $\sigma_R, \sigma_\Theta$  — средние квадратические ошибки измерения  $R$  и  $\Theta$ ;

— для разностно-дальномерных РНС

$$r_\sigma = \operatorname{cosec} \gamma \cdot \frac{\sigma}{2} \sqrt{\frac{1}{\sin^2 \beta_1} + \frac{1}{\sin^2 \beta_2}}, \quad (9)$$

где  $\beta_1 = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \frac{R_1 \cdot d \cdot \cos \Theta_1}{R_1^2 - \frac{d^2}{4}}$ ;  $\beta_2 = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \frac{R_2 \cdot d \cdot \cos \Theta_2}{R_2^2 - \frac{d^2}{4}}$ ;

$d$  — сторона обрабатываемого участка строящейся дороги.

В общем случае для различных РНС средний квадрат ошибки определения местоположения объекта

$$r_{\sigma} = f(R, \gamma, \Theta, \sigma_i).$$

Выразив геометрические параметры  $R, \gamma, \Theta$  через координаты характерных точек рабочего участка и положив  $\sigma_i = 1$ , можно оценить применимость той ли иной РНС для автоматического управления подвижными агрегатами с учетом точностных характеристик, экономической стоимости и технической реализуемости.

Таким образом, определяем рабочую зону РНС, ограниченную площадью, в пределах которой ошибка места с заданной вероятностью не превышает выбранного значения.

Для угломерной РНС параметры  $R_1, R_2$  и  $\text{cosec } \gamma$  определяются как

$$R_1 = \sqrt{x^2 + y^2}; \quad R_2 = \sqrt{(d - x)^2 + y^2}; \quad \text{cosec } \gamma = \sqrt{1 + \frac{1}{\tan^2 \gamma}}, \quad (10)$$

$$\text{где } \tan \gamma = \frac{k_2 - k_1}{1 + k_1 k_2}, \quad k_1 = \frac{y}{x}, \quad k_2 = -\frac{y}{d - x}.$$

Для угломерно-дальномерной РНС

$$R_0 = \sqrt{x^2 + y^2}. \quad (11)$$

Для дальномерной РНС

$$\text{cosec } \gamma = \frac{\sqrt{(1+k_1^2)(1+k_2^2)}}{k_2 - k_1}, \quad k_1 = \frac{y}{x}, \quad k_2 = -\frac{y}{d - x}. \quad (12)$$

Для разностно-дальномерной РНС

$$r_{\sigma} = \sigma \cdot \text{cosec } \gamma \cdot \sqrt{\frac{1}{2 \left( 1 + \frac{x(x-d_1) + y^2}{R_1 \cdot R_2} \right)} + \frac{1}{2 \left( 1 + \frac{x + y(y-d_2)}{R_1 \cdot R_3} \right)}}, \quad (13)$$

где  $d_1$  и  $d_2$  — размеры участка по осям  $x$  и  $y$ ,

$$R_1 = \sqrt{x^2 + y^2}, \quad R_2 = \sqrt{(d_1 - x)^2 + y^2}, \quad R_3 = \sqrt{x^2 + (d_2 - y)^2}, \quad a_1 = \frac{R_1 + R_2}{2},$$

$$b_1^2 = a_1^2 - \frac{d_1^2}{4}, \quad k_1 = -\frac{x - d_1}{2} \cdot \frac{b_1^2}{a_1^2}, \quad a_2 = \frac{R_1 + R_3}{2}, \quad b_2^2 = a_2^2 - \frac{d_2^2}{4},$$

$$k_2 = -\frac{x}{y - \frac{d_2}{2}} \cdot \frac{a_2^2}{b_2^2}, \quad \tan \gamma = \frac{k_2 - k_1}{1 + k_1 k_2}, \quad \text{cosec } \gamma = \sqrt{1 + \frac{1}{\tan^2 \gamma}}.$$

В качестве иллюстраций в соответствии с записанными аналитическими выражениями на рис. 1–4 приведены поля средних ошибок для рассматриваемых РНС, при этом расположение угломерных или дальномерных устройств обозначено двойными кружочками.

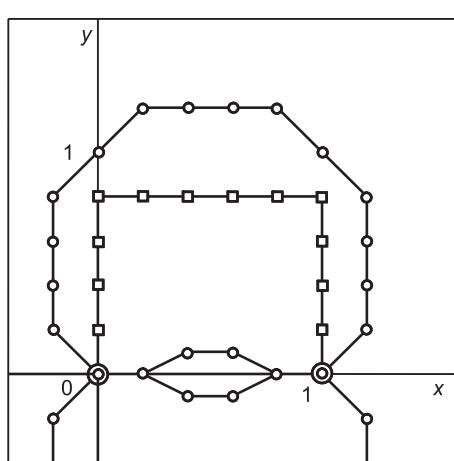


Рис. 1. Поля средних ошибок для угломерной РНС

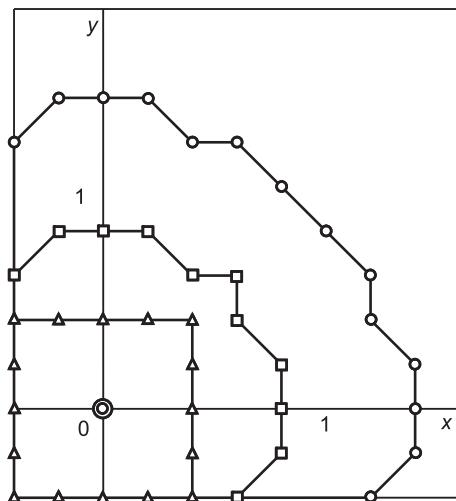


Рис. 2. Поля средних ошибок для угломерно-дальномерной РНС

Для удобства проведения сравнения возможностей различных систем пронормируем для каждой РНС значения средних ошибок на минимальную. Допустимые значения средней ошибки  $\frac{r_\sigma}{r_{\sigma \min}}$  определяют граничицы полей для всех рассматриваемых РНС. На рис. 1–4 границы отношения  $\frac{r_\sigma}{r_{\sigma \min}}$ , не превосходящего 3, обозначены линией с кружочками, при  $\frac{r_\sigma}{r_{\sigma \min}} < 2$  — линией с квадратами, а при  $\frac{r_\sigma}{r_{\sigma \min}} \leq 1,5$  — линией с треугольниками.

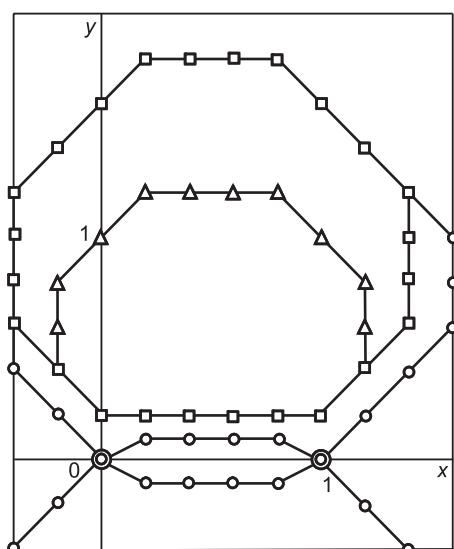


Рис. 3. Поля средних ошибок для дальномерной РНС

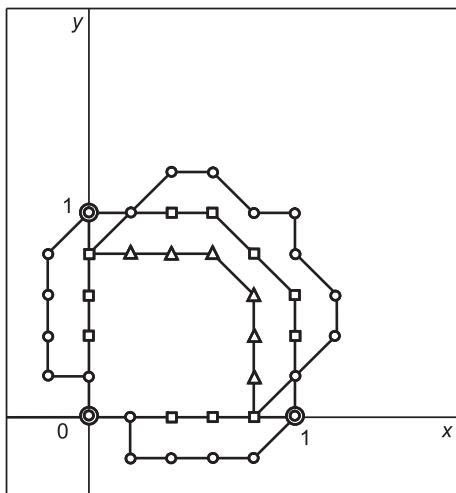


Рис. 4. Поля средних ошибок для разностно-дальномерной РНС

Если в качестве параметров для сравнения систем выбрать общую площадь и конфигурацию рабочей зоны дорожного строительства, реакцию уменьшения площади на снижение допустимой ошибки и компактность расположения устройства РНС и далее в первом приближении принять весовые коэффициенты частных критериев равными единице, то значение обобщенного критерия эффективности  $R_i$  представляется суммой нормированных значений  $k_{ij}$

$$R_i = \sum_{j=1}^m k_{ij} \quad \text{при } m = 4. \quad (14)$$

Такой анализ по указанным выше показателям отдает предпочтение среди рассмотренных РНС разностно-дальномерной системе.

Полученные результаты могут быть полезны разработчикам систем дистанционного управления машинами в дорожном строительстве.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Авдеев, Ю.В. Анализ принципов дистанционного адаптивного управления землеройно-транспортными машинами [Текст] / Ю.В. Авдеев, А.Д. Кононов, А.А. Кононов // Изв. вузов. Строительство. — 2012. — № 9. — С. 41–46.
2. Кононов, А.Д. Алгоритм формирования сигналов управления в системах следящего дистанционного управления землеройно-транспортными машинами [Текст] / А.Д. Кононов, Ю.В. Авдеев, А.А. Кононов // Изв. вузов. Строительство. — 2010. — № 1. — С. 81–86.
3. Авдеев, Ю.В. Устройство цифровой обработки выходных сигналов координатомерной системы для дистанционного управления землеройно-транспортными машинами [Текст] / Ю.В. Авдеев, А.Д. Кононов, А.А. Кононов и др. // Изв. вузов. Строительство. — 2011. — № 10. — С. 74–79.
4. Авдеев, Ю.В. К вопросу исследования радиоволнового канала системы дистанционного управления землеройно-транспортными машинами [Текст] / Ю.В. Авдеев, А.Д. Кононов, А.А. Кононов и др. // Изв. вузов. Строительство. — 2010. — № 10. — С. 86–92.

*АВДЕЕВ Юрий Валентинович, канд. техн. наук, доц.*

*Воронежский государственный архитектурно-строительный университет  
КОНОНОВ Александр Давыдович, канд. физ.-мат. наук, доц.*

*Воронежский государственный архитектурно-строительный университет  
КОНОНОВ Андрей Александрович, д-р техн. наук; E-mail: kniga16@mail.ru*

*Воронежский государственный архитектурно-строительный университет  
ВАРДАНЯН Нара Арташесовна, асп.*

*Воронежский государственный архитектурно-строительный университет*

Получено 11.11.13

**Avdeev Yuriy Valentinovich**, candidate of technical sciences, assistant professor, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

**Kononov Aleksandr Davydovich**, candidate of physical and mathematical sciences, assistant professor, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

**Kononov Andrey Alexandrovich**, doctor of technical sciences; E-mail: kniga16@mail.ru, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

**Vardanyan Nara Artashesovna**, post-graduate student, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

**THE COMPARATIVE ANALYSIS OF PHASE  
METHODS OF A COORDINATES SETTING IN PROBLEMS  
OF REMOTE AUTOMATIC CONTROL OF MACHINES  
OF A ROAD-BUILDING COMPLEX**

On the basis of the analysis of performances of phase methods of a coordinates setting and examination of applicability of different radio navigational methods the select of difference ranging system for automatic control of driving of building and road machines is justified.

**Key words:** full remote control, building road machines, radionavigation systems.

**REFERENCES**

1. Avdeev, Yu.V. The analysis of principles of a remote adaptive technique by autorgraders, scrapers and bulldozers [Text] / Yu.V. Avdeev, A.D. Kononov, A.A. Kononov // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2012. — N 9. — P. 41–46.
  2. Kononov, A.D. Algorithm of forming of a management signals in systems of tracking full remote control by autorgraders, scrapers and bulldozers [Text] / A.D. Kononov, Yu.V. Avdeev, A.A. Kononov // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2010. — N 1. — P. 81–86.
  3. Avdeev, Yu.V. The device of numeral handling of output signals of system of measuring of coordinates for full remote control by autorgraders, scrapers and bulldozers [Text] / Yu.V. Avdeev, A.D. Kononov, A.A. Kononov etc. // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2011. — N 10. — P. 74–79.
  4. Avdeev, Yu.V. To a problem of examination of a wave duct of a remote control system by autorgraders, scrapers and bulldozers [Text] / Yu.V. Avdeev, A.D. Kononov, A.A. Kononov etc. // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2010. — N 10. — P. 86–92.
-

## НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

УДК 624.01:519.2

В.А. СОКОЛОВ

### ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ФИЗИЧЕСКОГО ИЗНОСА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕРОЯТНОСТНЫХ МЕТОДОВ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Оценку технического состояния и физического износа элементов зданий предлагается выполнить с использованием вероятностного теоретического аппарата технической диагностики, разработанного для распознавания состояний сложных технических систем. Приведен пример расчета вероятностей пяти состояний и физического износа кирпичных стен зданий старой городской застройки.

**Ключевые слова:** техническое состояние, техническая диагностика, вероятностные методы, теория информации, физический износ, диагностическое дерево.

Для оценки технического состояния, т.е. для определения категорий технического состояния элементов зданий в соответствии с [1], предложен подход, основанный на теоретическом аппарате технической диагностики<sup>1</sup>, использующем вероятностные методы распознавания состояний сложных технических систем. Диагностирование выполняется статистическим методом с применением обобщенной формулы Байеса [2, 3]

$$P(S_i / K^*) = \frac{P(S_i)P(K^* / S_i)}{\sum_{s=1}^n P(S_s)P(K^* / S_s)}. \quad (1)$$

После вычисления апостериорных вероятностей состояний  $P(S_i / K^*)$  для каждого конструктивного элемента по указанной зависимости осуществляется анализ и обработка полученных результатов с использованием методов теории информации. Этот подход применен при построении многоуровневой иерархической модели диагностирования конструктивных элементов всего здания в виде так называемого диагностического дерева [3].

В настоящей работе именно на этой основе предлагается выполнить и расчет физического износа диагностируемых конструкций. Такую модель диагностирования состояний и определения физического износа для строительных конструкций зданий предлагается применить впервые, что определяет научную новизну работы.

<sup>1</sup> Биргер И.А. Техническая диагностика. М.: Машиностроение, 1978. 240 с.

Известно, что в ходе обследований зданий практически всегда требуется определить физический износ как элементов, так и объекта в целом. Методика определения физического износа и необходимые для этого данные изложены в [4]. В соответствии с этим документом под физическим износом конструктивного элемента и здания в целом следует понимать утрату ими первоначальных технико-эксплуатационных качеств: несущей способности (прочности, устойчивости) и надежности в результате воздействия природно-климатических факторов и жизнедеятельности человека. По нормам [4] физический износ на момент его оценки выражается соотношением стоимости объективно необходимых ремонтных мероприятий, устраняющих повреждения конструкции, элемента, системы или здания в целом, и их восстановительной стоимости. Этим документом пользуются и по сей день при решении очень многих вопросов, в том числе связанных с оценкой недвижимости, так как физический износ всегда входил и входит в зависимости для определения стоимостных оценок строений. Таким образом, документ весьма важен и нужен в настоящее время, причем он должен соответствовать требованиям сегодняшнего дня, особенно в части стоимостных определений. Очевидно, что нормативный документ, введенный более 25 лет назад, в настоящее время устарел, имеет множество недостатков, т. е. требует существенной переработки.

Необходимы изменения, а может быть и замена данных, в таблицах долей восстановительной стоимости конструктивных элементов в общей восстановительной стоимости всего здания. Возможно, следует вообще изменить принцип определения долевого вклада состояний отдельных элементов в состояние здания в целом. В условиях рыночной экономики и меняющегося ценообразования, при определении физического износа целесообразно заменить стоимостную основу долевого «участия» каждого элемента в формировании технического (физического) состояния строительной системы (здания) в целом на некий другой долевой вклад, отражающий именно техническое (физическое) состояние каждого элемента.

Этим долевым вкладом предлагается считать информационную составляющую о техническом состоянии конструктивного элемента в виде количества внесенной информации (остаточной энтропии или степени определенности) о его состоянии, выраженной в вероятностной форме, в частности, в виде вероятностей степени определенности. Такие параметры вычисляются и вводятся в процедуру построения решения на каждом уровне диагностирования, что и продемонстрировано в [2, 3]. Не исключено также, что необходимо изменить и саму методику расчета физического износа, увязав ее с установленными и сформулированными категориями технического состояния, например, по [1] и положив в основу вероятностные принципы построения решения.

Предлагаемый в данной работе подход рассматривается далее на примере диагностирования состояний и оценки физического износа кирпичных стен здания старой городской застройки. На основании данных ретроспективного анализа результатов обследований прошлых лет для таких зданий получена статистика по состояниям (диагнозам) кирпичной

кладки стен и по определяющим эти состояния характерным повреждениям (диагностическим признакам). В методе Байеса эти статистические данные упорядочиваются и укладываются в соответствующие таблицы, называемые диагностическими матрицами. Пример построения такой матрицы для участков стен представлен в виде табл. 1, в которой даны численные значения априорных вероятностей пяти состояний для участка стены  $P(S_i)$ , где  $i = 1, 2, \dots, 5$ , и численные значения вероятностей  $p(k_{js}/S_i)$ , характеризующих проявление указанных восьми диагностических признаков  $j$  (характерных повреждений) со своими разрядами  $s$ . Весь численный материал табл. 1 — это, как отмечалось, статистические данные, полученные по результатам прошлых обследований участков стен в данном случае, например, для ста подобных зданий. Под участками стен здания здесь подразумеваются стены лицевого, дворового и двух торцевых фасадов.

Далее, для следующего объекта (сто первого) реализация указанных в табл. 1 разрядов признаков определяется при обследовании каждого

Таблица 1. Диагностическая матрица для участков кирпичных стен

№ п/п	Диагностические признаки	$k_{js}$	Разряды признаков	$p(k_{js})$	Состояние				
					$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
					$P(S_1)$	$P(S_2)$	$P(S_3)$	$P(S_4)$	$P(S_5)$
1	Повреждения защитных и отделочных слоев	$k_{11}$	Да	$p(k_{11})$	0,08	0,25	0,51	0,65	0,82
		$k_{12}$	Нет	$p(k_{12})$	0,92	0,83	0,49	0,46	0,18
2	Нарушение сплошности кладки, деструкция	$k_{21}$	Да	$p(k_{21})$	0,06	0,19	0,43	0,77	0,87
		$k_{22}$	Нет	$p(k_{22})$	0,94	0,81	0,57	0,23	0,13
3	Отклонения элементов стен от вертикали	$k_{31}$	Нет	$p(k_{31})$	0,96	0,76	0,50	0,40	0,07
		$k_{32}$	< Пред.	$p(k_{32})$	0,03	0,18	0,35	0,20	0,03
		$k_{33}$	$\geq$ Пред.	$p(k_{33})$	0,01	0,06	0,15	0,40	0,90
4	Увлажнение и замачивание, вымывание и выветривание раствора	$k_{41}$	Да	$p(k_{41})$	0,06	0,17	0,34	0,51	0,80
		$k_{42}$	Нет	$p(k_{42})$	0,94	0,83	0,66	0,49	0,20
5	Трецинообразование в результате неравномерных осадок	$k_{51}$	Нет	$p(k_{51})$	0,93	0,88	0,69	0,35	0,17
		$k_{52}$	$\leq 2,0$ мм	$p(k_{52})$	0,05	0,07	0,21	0,40	0,53
		$k_{53}$	$> 2,0$ мм	$p(k_{53})$	0,02	0,05	0,10	0,25	0,30
6	Силовое трецинообразование	$k_{61}$	Нет	$p(k_{61})$	0,89	0,70	0,35	0,20	0,07
		$k_{62}$	$\leq 2,0$ мм	$p(k_{62})$	0,08	0,07	0,21	0,40	0,53
		$k_{63}$	$> 2,0$ мм	$p(k_{63})$	0,03	0,05	0,10	0,25	0,30
7	Трецинообразование в результате температурных деформаций	$k_{71}$	Нет	$p(k_{71})$	0,84	0,75	0,59	0,25	0,07
		$k_{72}$	$\leq 2,0$ мм	$p(k_{72})$	0,10	0,15	0,26	0,45	0,53
		$k_{73}$	$> 2,0$ мм	$p(k_{73})$	0,06	0,10	0,15	0,30	0,40
8	Удовлетворение условия по несущей способности	$k_{81}$	Да	$p(k_{81})$	0,94	0,90	0,86	0,69	0,08
		$k_{82}$	Нет	$p(k_{82})$	0,06	0,10	0,14	0,31	0,92

выделенного участка здания. Так, например, для кирпичной кладки стены лицевого фасада этого сто первого здания выявлена следующая картина реализации вероятностей разрядов признаков  $p(k_{is}/S_i)$ : первый признак — « $k_{11}$ »; второй — « $k_{22}$ »; третий — « $k_{32}$ »; четвертый — « $k_{41}$ »; пятый — « $k_{52}$ »; шестой — « $k_{61}$ »; седьмой — « $k_{71}$ »; восьмой признак — « $k_{81}$ ». Численные значения вероятностей  $p(k_{is}/S_i)$  в соответствующих строках матрицы в табл. 1 выделены цветом. После этого для выделенных участков стен выполняется серия расчетов апостериорных вероятностей  $P(S_i/K^*)$  по обобщенной формуле Байеса (1).

Результаты этих расчетов удобно представить в табличном виде (табл. 2). Очевидно, что  $\Sigma P(S_i/K^*) = 1$ .

**Таблица 2. Численные значения вероятностных параметров состояний и надежности для главных балок**

Участки	$P(S_1/K^*)$	$P(S_2/K^*)$	$P(S_3/K^*)$	$P(S_4/K^*)$	$P(S_5/K^*)$
Лицевой фасад	0,000	0,005	<b>0,524</b>	<b>0,411</b>	0,060
Дворовый фасад	0,000	0,003	0,185	<b>0,678</b>	0,134
Торцевой фасад 1	0,006	0,051	<b>0,702</b>	0,240	0,001
Торцевой фасад 2	0,000	0,010	0,391	<b>0,549</b>	0,050
Подсистема «наружные стены»	0,002	0,018	0,458	<b>0,464</b>	0,059

В последней строке табл. 2 представлено распределение вероятностей состояний для подсистемы «наружные стены» в целом. Результат получен с использованием предложенной в [2, 3] расчетной процедуры построения решения на основе многоуровневой иерархической модели диагностирования, рассмотренной в данном случае только для части здания — подсистемы «наружные стены», т. е. только для одной ветви разработанного «диагностического дерева» [3]. При построении этой модели использованы такие основные понятия теории информации, как информационная энтропия (степень неопределенности системы) [2, 3], максимальная энтропия, остаточная энтропия (степень определенности системы или количество внесенной информации), вероятности степени определенности.

В табл. 2 шрифтом выделены максимальные значения вероятностей состояний, которые в соответствии с решающим правилом, сформулированным в монографии<sup>1</sup>, могут стать вполне обоснованным основанием отнесения технического состояния кирпичной кладки стены лицевого фасада к третьей (или четвертой) категории, дворового фасада — к четвертой категории, торцевого фасада № 1 — к третьей категории, торцевого фасада № 2 — к четвертой категории. Подсистема «наружные стены» в целом характеризуется, как видно, четвертой категорией технического состояния.

На основании полученных вероятностных результатов можно предложить следующий принцип построения методики расчета физического износа для этих элементов стен. Предлагается физическим износом считать попадание рассматриваемого участка здания в четвертое и пятое со-

стояния (предаварийное и аварийное), что никак не противоречит представленному выше определению физического износа по нормам [4]. Таким образом, физическим износом предлагается считать сумму вероятностей этих состояний, выраженную в процентах. Для этого предлагается выполнить разделение и последующее комбинирование апостериорных вероятностей состояний по схеме «3 + 2».

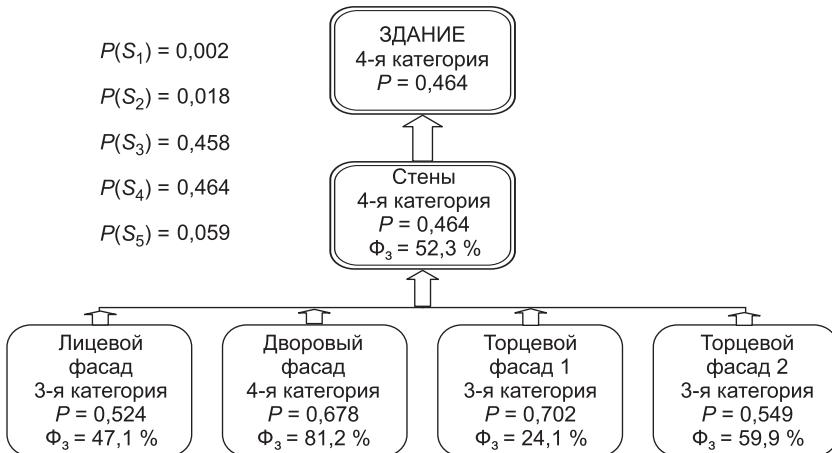
Для проверки возможности применения такого подхода предлагается определить физический износ кирпичных стен четырех фасадов здания по зависимостям норм [4]. Для этого признаки выявленных повреждений кирпичной кладки стен по [4] приняты близкими (насколько это возможно) к тем диагностическим признакам, которые составляют основу диагностических матриц участков кирпичных стен и которые использовались в выполненных вероятностных расчетах по диагностированию состояний наружных стен в целом. Признаки в [4] приняты по таблице № 10. Пусть площади фасадных стен в два раза больше площадей торцевых стен, а выявленные повреждения зафиксированы по всей площади. По правилам расчета физического износа для каждой стены в соответствии с таблицей 10 [4] получены следующие результаты: для кирпичной кладки стены лицевого фасада — 45 % износа с проявлением повреждений на 0,33 суммарной площади всех стен; для кирпичной кладки стены дворового фасада — 60 % износа с проявлением повреждений тоже на 0,33 суммарной площади всех стен; для кирпичной кладки стены торцевого фасада № 1 — 25 % износа с проявлением повреждений на 0,17 суммарной площади всех стен; для кирпичной кладки стены торцевого фасада № 2 — 60 % износа с проявлением повреждений тоже на 0,17 суммарной площади всех стен. Тогда для подсистемы «наружные стены» физический износ получился равным

$$\Phi_k = 45\% \times 0,33 + 60\% \times 0,33 + 25\% \times 0,17 + 60\% \times 0,17 = 49,1\%.$$

Если использовать предлагаемую вероятностную методику и данные табл. 2 (выделены цветом), то для кирпичной кладки стены лицевого фасада получено 47,1 % износа, для кирпичной кладки стены дворового фасада — 81,2 %, для кирпичной кладки стены торцевого фасада № 1 — 24,1 %, для кирпичной кладки стены торцевого фасада № 2 — 59,9 %. Тогда для подсистемы «наружные стены» в целом физический износ, следуя предложенной вероятностной методике,  $\Phi_k = 52,3\%$ .

Стоит заметить, что по нормам [4] численные значения физического износа предлагается округлять, причем с точностью до величин, кратных 5 %, что в современных условиях неприемлемо и даже ошибочно, хотя бы потому что проценты износа участвуют в методиках стоимостных расчетов для объектов недвижимости, где фигурируют значительные денежные суммы.

Как видно из рассмотренного примера, значения физического износа для подсистемы «наружные стены», вычисленные двумя способами, получились достаточно близкими. Для других групп элементов и подсистем всего здания тоже получены близкие соотношения, но при условии полноты и достаточности информации по количеству и по описанию признаков износа конструктивных элементов в таблицах норм [4].



Часть «диагностического дерева» для подсистемы «наружные стены». Результаты расчета вероятностей состояний и физического износа

Результаты расчета удобно проиллюстрировать на диаграмме (см. рисунок). В ячейках диаграммы представлены численные значения максимальных вероятностей состояний и физического износа участков стен и подсистемы «наружные стены» в целом, вычисленные с использованием вероятностных методов распознавания.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. СП 13-102-2003. Свод правил по проектированию и строительству [Текст]. — М. : Госстрой России. ГУЛ ЦПП, 2003. — 28 с.
- Соколов, В.А. Построение решения для оценки технического состояния конструктивных систем зданий и сооружений с использованием вероятностных методов распознавания [Текст] / В.А. Соколов // Инженерно-строительный журнал. — 2010. — № 6. — С. 48–57.
- Соколов, В.А. Многоуровневый вероятностный анализ технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений [Текст] / В.А. Соколов // Дефекты зданий и сооружений: материалы XV науч.-метод. конф., № 15. — СПб. : ВИТИ, 2011. — С. 54–63.
- Правила оценки физического износа жилых зданий. ВСН 53-86 (р). [Текст]. — М. : Госгражданстрой, 1987. — 71 с.

*СОКОЛОВ Владимир Алексеевич, канд. техн. наук, проф.  
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет*

Получено после доработки 11.11.13

**Sokolov Vladimir Alexeevich**, candidate of technical sciences, professor,  
Saint-Petersburg State Polytechnic University, Russia

## TECHNICAL CONDITION ASSESSMENT AND PHYSICAL DETERIORATION CONSTRUCTION USING PROBABILISTIC METHODS OF TECHNICAL DIAGNOSTICS

Assessment of technical condition and physical deterioration of buildings elements are invited to perform with the use of probabilistic theoretical apparatus of technical diagnostics developed for the recognition of states of complex technical systems. An example of

calculating the probabilities of five states and the physical deterioration of the brick walls of the old city building.

**K e y w o r d s:** technical condition, technical diagnostics, probabilistic methods, information theory, physical deterioration, diagnostic tree.

#### REFERENCES

1. Terms of survey bearing structures of buildings and structures. SP 13-102–2003 . Set of rules for design and construction [Text]. — M. : State Committee of Russia, 2003. — 28 p.
  2. Sokolov, V.A. Building solutions for the technical condition assessment of structural systems of buildings and structures using probabilistic recognition methods [Text] / V.A. Sokolov // Civil Engineering magazine. — 2010. — N 6. — P. 48–57.
  3. Sokolov, V.A. Multilevel probabilistic analysis of technical condition of constructions and structures [Text] / V.A. Sokolov // Defects buildings: Materials XV Scientific Conference, N 15. — St. Petersburg : VITI, 2011. — P. 54–63.
  4. Rules for assessing physical deterioration of residential buildings. VSN 53-86 (p). [Text]. — M. : Gosgrazhdstroy, 1987. — 71 p.
-

УДК 539.3:534.1

С.В. СЕРЁГИН

## О СОБСТВЕННЫХ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЯХ ТОНКОСТЕННЫХ СТЕРЖНЕЙ ОТКРЫТОГО ПРОФИЛЯ

Методом конечных элементов (МКЭ) изучаются крутильные колебания тонкостенного стержня, как системы связанных пластин при различных граничных условиях. Значения низших собственных частот сопоставляются с частотами, найденными по стержневой теории методом граничных элементов (МГЭ), а для случая шарнирного закрепления – с теоретическим решением В.З. Власова. Показано, что переход от одноосной системы к пространственной конструкции позволяет точнее исследовать динамические характеристики стержня, а также позволяет увеличить варианты граничных условий на торцах стержня.

**Ключевые слова:** метод конечных элементов, метод граничных элементов, решение В.З. Власова, крутильные колебания тонкостенных стержней, система связанных пластин, пространственная конструкция.

**1. Введение.** Стержневая аппроксимация тонкостенного стержня открытого профиля, широко используемая при определении динамических характеристик, основывается на ряде допущений, которые не позволяют учесть его пластинчатые свойства. В настоящей работе в рамках метода конечных элементов в MSC «NASTRAN» показано, что такая аппроксимация, пренебрегающая, в частности, силами инерции, возникающими в стенках и полках профиля, может привести к существенной погрешности в частотах и формах собственных крутильных колебаний [1, 2].

**2. Численное моделирование МКЭ в MSC «NASTRAN».** Рассматривается двутавр со следующими геометрическими и механическими характеристиками:  $h = 60$  см — высота стенки,  $b = 30$  см — ширина полки,  $\delta_1 = \delta_2 = 1$  см — толщина стенки и полки соответственно,  $L = 10$  м — длина стержня,  $E = 2 \cdot 10^{11}$  Н/м<sup>2</sup> — модуль Юнга,  $\rho = 7800$  кг/м<sup>3</sup> — массовая плотность. Количество конечных элементов — 10 000. Такие параметры стержня выбраны для возможности сопоставления результатов численного анализа с результатами работы [1], полученными методом граничных элементов (МГЭ).

Переход от одноосной конструкции к пространственной системе неизбежно приводит к появлению всевозможных форм колебаний. Выбор преимущественно крутильных колебаний основывается на визуальном представлении таких форм.

Закрепление торцов при моделировании стержня системой связанных пластин производится вдоль грани пластинчатых элементов (*AC*, *DF*, *BE*) (рис. 1), а не на оси, как это принято в балочной идеализации. Аналитическое представление граничных условий не отличается от общепринятых в стержневой теории [2]. Для жесткого за-

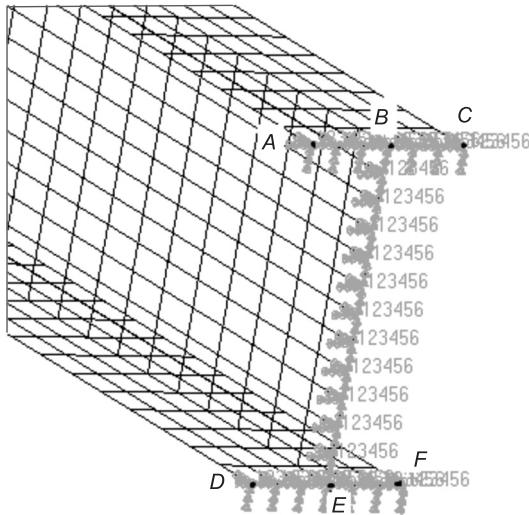


Рис. 1. Условия закрепления и разбиение пространственной системы стержня на конечные элементы

крутильных колебаний тонкостенного стержня, система пластин, в случае жесткой заделки с одной стороны и шарнирного закрепления с другой:

$$W(0) = 0, W'(0) = 0, \quad W(l) = 0, W''(l) = 0.$$

В случае жесткого закрепления торцов стержня с двух сторон получим следующие частоты и формы колебаний (рис. 2, б):

$$W(0) = 0, W'(0) = 0, W(l) = 0, W''(l) = 0.$$

При рассмотрении случая шарнирного закрепления для максимальной имитации допущений и выдерживания гипотез стержневой теории закрепим пространственную конструкцию в точках, находящихся на продольной оси стержня — центр изгиба (в данном случае и центр тяжести) с одной стороны:  $W(0) = 0, W''(0) = 0$  и с другой стороны:  $W(l) = 0, W''(l) = 0$  (рис. 3, точка *B*). И закрепим стержень в местах пересечения осей полок и стенки двутавра (рис. 3, точки *A*, *C*), так чтобы полки стержня были подвижны в продольном направлении

$$W(0) = 0, W'(0) = 0, W(l) = 0, W''(l) = 0.$$

Частоты и формы колебаний представлены на рис. 4, а.

В строительстве и в других отраслях техники встречаются случаи, когда граничные условия стержня предполагают его закрепление только по нижней грани полки (см. рис. 1, прямая *DF*), а не в центре изгиба (при таком закреплении стержень теряет устойчивость из своей плоскости). Моделирование стержня системой связанных пластин позволяет рассмотреть и этот случай (рис. 4, б), который, заметим, не может быть изучен в рамках стержневой теории.

щемленного стержня (рис. 1, 2, а) граничные условия на торцах запишем в виде:

$$W(0) = 0, W'(0) = 0,$$

$$W''(l) = 0, W'''(l) = 0,$$

где  $W(x)$  — динамическое перемещение сечения стержня.

Процедура моделирования пространственной системы стержня, разбиение на конечные элементы и создание граничных условий аналогична и при рассмотрении других вариантов закреплений.

На рис. 2, б представлены частоты и формы собственных

смоделированного систем

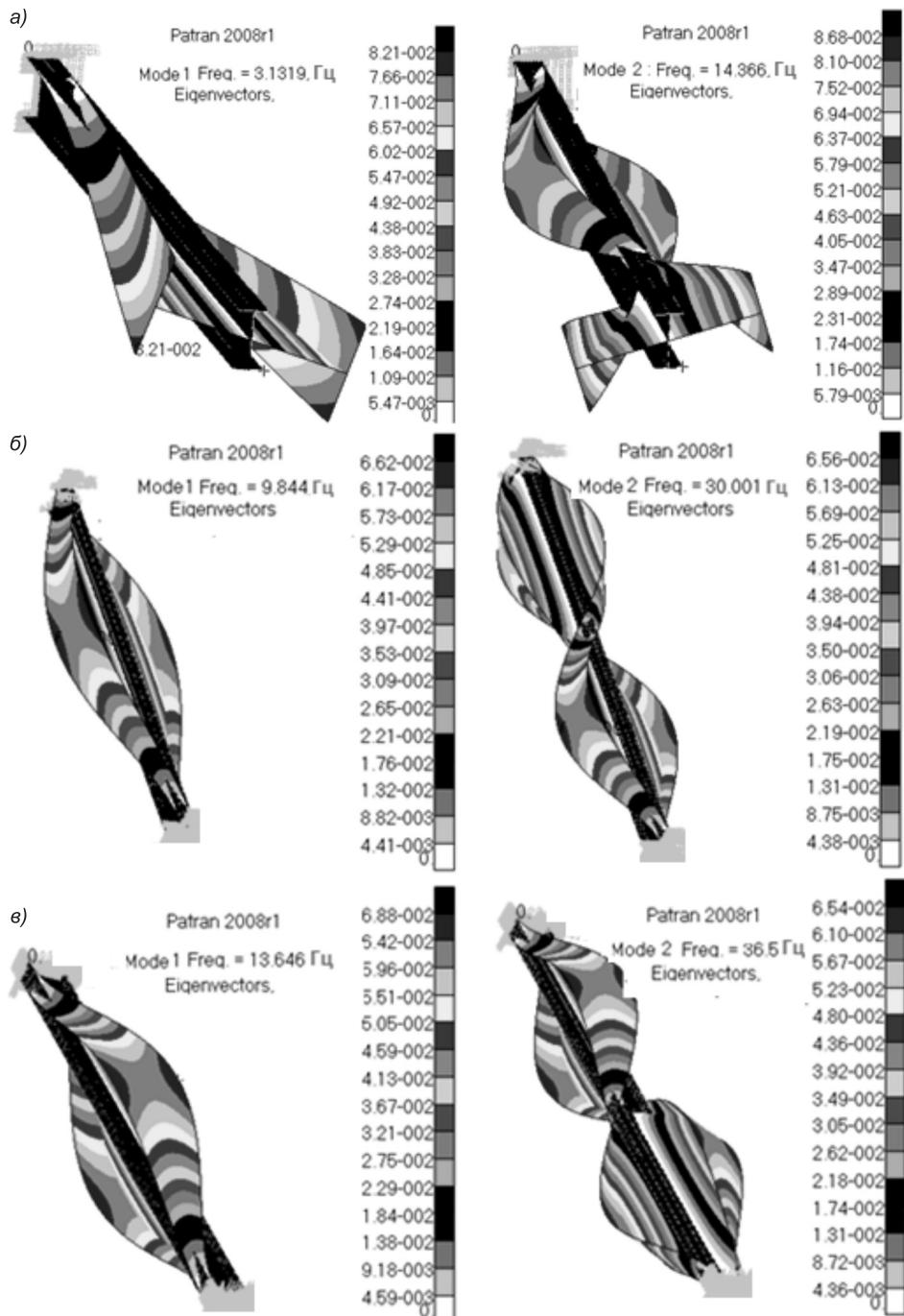


Рис. 2. Частоты и формы крутильных колебаний

а — для случая консольного закрепления стержня ( $\omega_1 = 3,13$  Гц,  $\omega_2 = 14,4$  Гц); б — для случая жесткой заделки с одной стороны и шарнирного закрепления с другой ( $\omega_1 = 9,84$  Гц,  $\omega_2 = 30,0$  Гц); в — для случая жесткого закрепления с двух сторон ( $\omega_1 = 13,6$  Гц,  $\omega_2 = 36,5$  Гц)

Аналитическое представление граничных условий не отличается от предыдущего варианта:

$$W(0) = 0, \quad W''(0) = 0, \quad W(l) = 0, \quad W''(l) = 0.$$

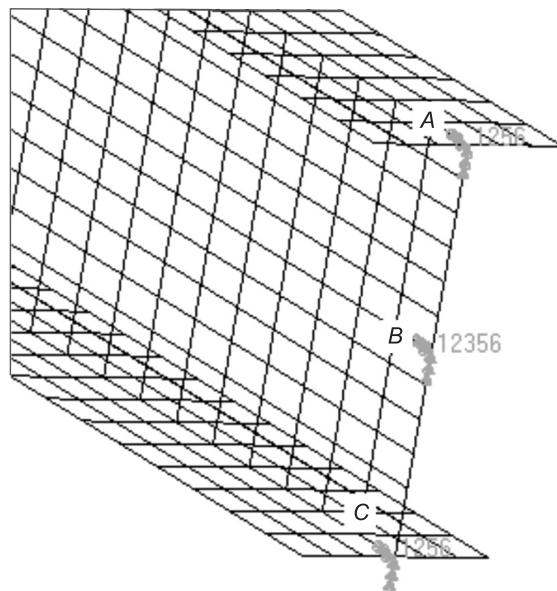


Рис. 3. Условия закрепления и разбиение пространственной системы стержня на конечные элементы

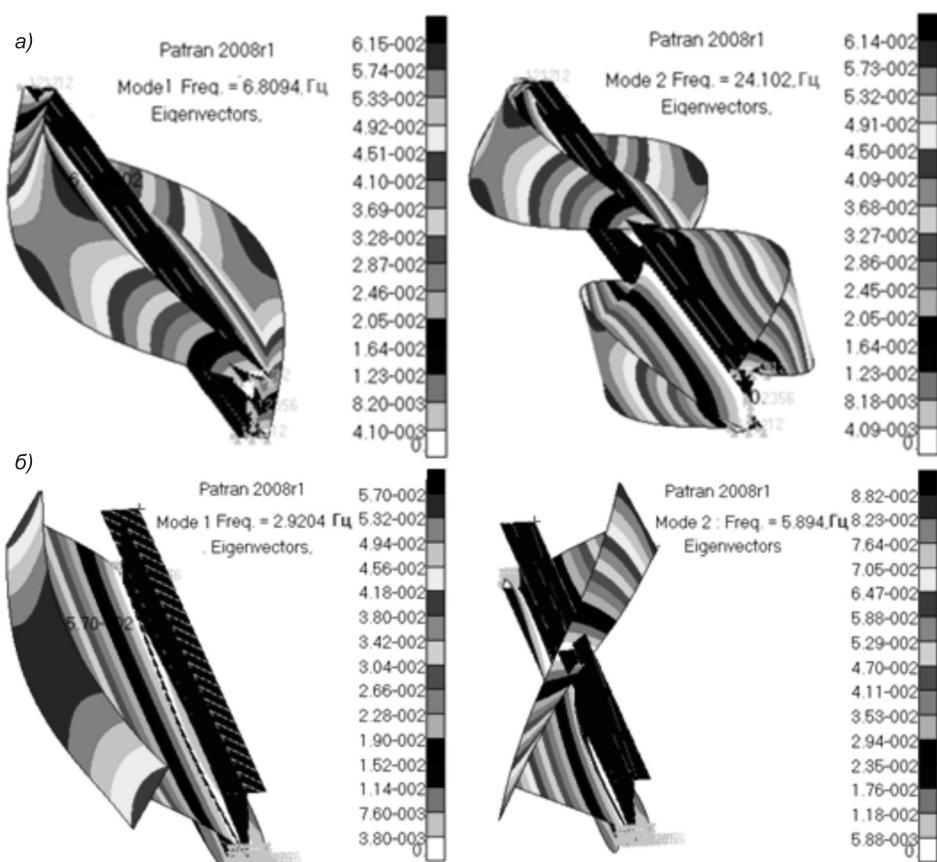


Рис. 4. Частоты и формы крутильных колебаний

а — при шарнирном закреплении по торцам ( $\omega_1 = 6.81$  Гц,  $\omega_2 = 24.1$  Гц); б — при шарнирном закреплении нижней грани полки стержня ( $\omega_1 = 2.92$  Гц,  $\omega_2 = 5.89$  Гц)

Из рис. 4 видно, что закрепление стержня по нижней грани полки существенно уменьшает его жесткость. Для принятых параметров двутавра частота основного тона уменьшилась более чем в два раза.

**3. Анализ полученных результатов.** На рис. 4, а представлены частоты низших тонов крутильных колебаний тонкостенного стержня, вычисленные МКЭ и МГЭ [1] для различных вариантов закрепления его торцов.

На рис. 5, а (для случая шарнирного закрепления) показаны частоты, вычисленные по формуле В.З. Власова [2]. Видно, что для рассматриваемого стержня первые три собственные частоты, вычисленные МКЭ и по формуле В.З. Власова, практически не отличаются друг от друга, при этом погрешность составляет менее 5 %. Расчеты показывают, что с ростом номера тона погрешность возрастает.

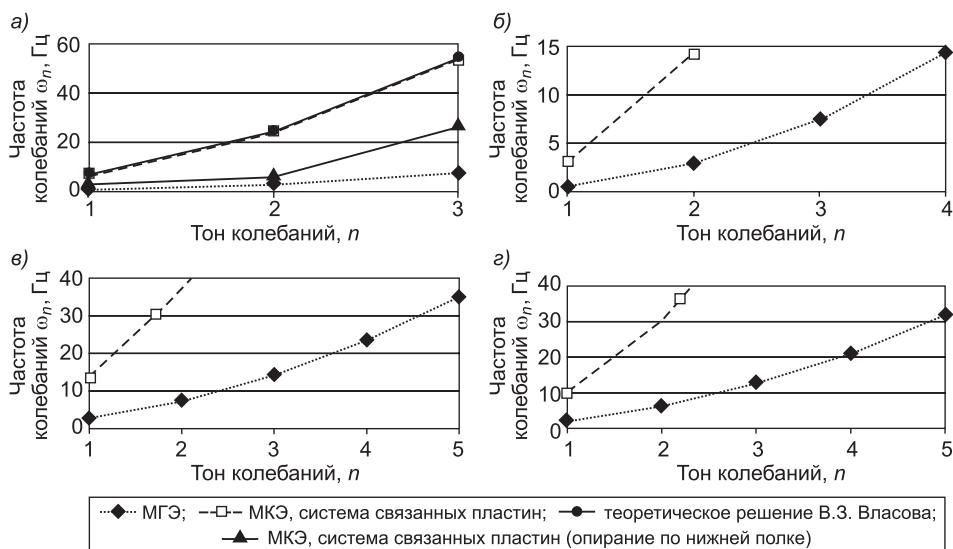


Рис. 5. Частоты собственных крутильных колебаний  
а — шарнирное закрепление; б — консоль; в — жесткая заделка по торцам; г — жесткая заделка и свободное закрепление

Здесь же представлен и случай шарнирного закрепления двутавра по нижней грани полки.

Частоты, найденные МГЭ, значительно отличаются от соответствующих частот, вычисленных МКЭ для всех вариантов граничных условий.

Дополнительный анализ показал, что МГЭ дает «лишние» частоты. Так, при шарнирном закреплении торцов «лишними» являются первая и вторая частоты, а третья частота, найденная МГЭ, практически равна основной частоте МКЭ. Для консольного стержня первая и третья частоты «лишние», вторая и четвертая отвечают первому и второму тону МКЭ соответственно. Для случая жесткой заделки обоих концов, а также при жесткой заделке с одной стороны и шарнирного закрепления с другой «лишними» являются первая, вторая и четвертая частоты, третья соответствует первой, а пятая второй.

В некоторых случаях «лишним» частотам соответствуют не крутильные, а изгибные колебания стержня (рис. 6).

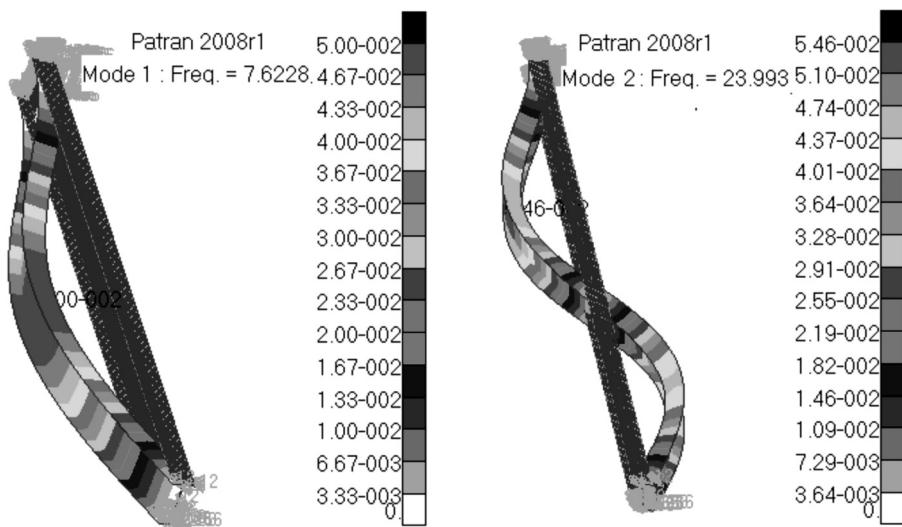


Рис. 6. Частоты и формы изгибных колебаний для случая жесткой заделки по торцам ( $\omega_1 = 7,62$  Гц,  $\omega_2 = 24,0$  Гц)

**Выводы.** 1. Моделирование тонкостенного стержня системой связанных пластин позволяет точно описать его динамические характеристики. Переход от одноосной системы к пространственной конструкции также позволяет рассмотреть и всевозможные условия закреплений его торцов, отражающие реальные сопряжения стержня в условиях его эксплуатации, которые не могут быть изучены в стержневой теории.

2. Алгоритм решения динамических задач МГЭ имеет проблему собственных значений. Методика определения частот собственных крутильных колебаний МГЭ, используемая в [1], не предусматривает анализа форм колебаний, что приводит к «лишним» значениям. Некоторым из частот, как показано в настоящей статье, соответствуют на самом деле не крутильные, а изгибные колебания.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Оробей, В.Ф. Собственные крутильные колебания тонкостенных стержней [Текст] / В.Ф. Оробей, Н.Г. Сурьянинов, А.М. Лимаренко // Труды Одесского политехн. ун-та. — 2007. — № 1. — С. 19–23.
2. Власов, В.З. Тонкостенные упругие стержни [Текст] / В.З. Власов. — М. : Физматгиз, 1959. — 568 с.

СЕРЁГИН Сергей Валерьевич, асп.

Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет

Получено после доработки 25.11.13

**Seregin Sergei Valerevich**, post-graduate student, Komsomolsk-na-Amure State Technical Universitet, Russia

#### ABOUT OWN TORTIONAL FLUCTUATIONS OF THIN-WALLED CORES OF THE OPEN PROFILE

The Method of Final Elements (MFE) studies torsional fluctuations of a thin-walled core under various boundary conditions, as systems of the connected plates. Values of the lowest own

frequencies are compared with the frequencies found on the rod theory the method of boundary elements (MBE), and for a case of hinged fixing — with V.Z. Vlasov's theoretical decision. It is shown that transition to a spatial design yields more exact quantitative results and allows to increase options of boundary fixing at core end faces.

**Key words:** method of finite elements, method of boundary elements, V.Z. Vlasov's decision, torsional fluctuations of thin-walled cores, system of the connected plates, spatial design.

#### REFERENCES

1. Orobey, V.F. Proper torsional vibrations of thin-walled cores [Text] / V.F. Orobey, N.G. Suryaninov, A.M. Limarenko // Proceedings of the Odessa Polytechnic University. — 2007. — N 1. — P. 19–23.
  2. Vlasov, V.Z. Thin-walled elastic rods [Text] / V.Z. Vlasov. — M. : Fizmatgiz, 1959. — 568 p.
-

## В ЛАБОРАТОРИЯХ ВУЗОВ

УДК 624.074.2.011.1

Б.В. МИРЯЕВ, С.А. ТОЛУШОВ

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЖАТО-ИЗГИБАЕМЫХ ДЕРЕВЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КУПОЛА В ПРЕДЕЛЬНОМ СОСТОЯНИИ

Приводятся результаты экспериментально-теоретического исследования сжато-изгибаемых деревянных элементов купола в предельном состоянии. Прогнозируется характер разрушения элементов.

Ключевые слова: деревянные сжато-изгибающие элементы купола, численное исследование, экспериментальное исследование.

Сетчатые деревянные купола имеют в большинстве случаев треугольную решетку, несущие ребра таких конструкций выполняются из цельной или клееной древесины. Сопряжение ребер в узлах осуществляется, как правило, с помощью многогранной стальной узловой детали посредством нагельного соединения или соединения на вклеенных стержнях (рис. 1).

Известно, что древесина обладает нелинейной зависимостью между деформациями и напряжениями, причем эта физическая нелинейность существенно зависит от влажности древесины [1]. Под воздействием по-перечной нагрузки ребра в сетчатых деревянных куполах деформируются, и в них появляются дополнительные изгибающие моменты от продольной силы. Общая картина напряженно-деформированного состояния элементов купола дополнительно усложняется конструктивной нелинейностью работы элементов в зоне примыкания к узловой детали. Эта нелинейность обусловлена переменной зоной контакта между деревянным элементом и стальной узловой детали (эффект «отлипа»), а также нелинейной работой нагельного соединения.

Для исследования напряженно-деформированного состояния деревянных сжато-изгибаемых элементов сетчатых куполов был разработан алгоритм и написана специальная программа «РАДЭСК» (Расчет деревянных элементов сетчатого купола). Созданные алгоритм и программа реализуют метод конечных элементов и учитывают нелинейные зависимости. При решении данной задачи применялась конечно-элементная расчетная модель, упрощенный вид которой показан на рис. 1.

Так как древесина имеет анизотропные свойства, то при формировании матрицы жесткости конечных элементов, моделирующих древесину,

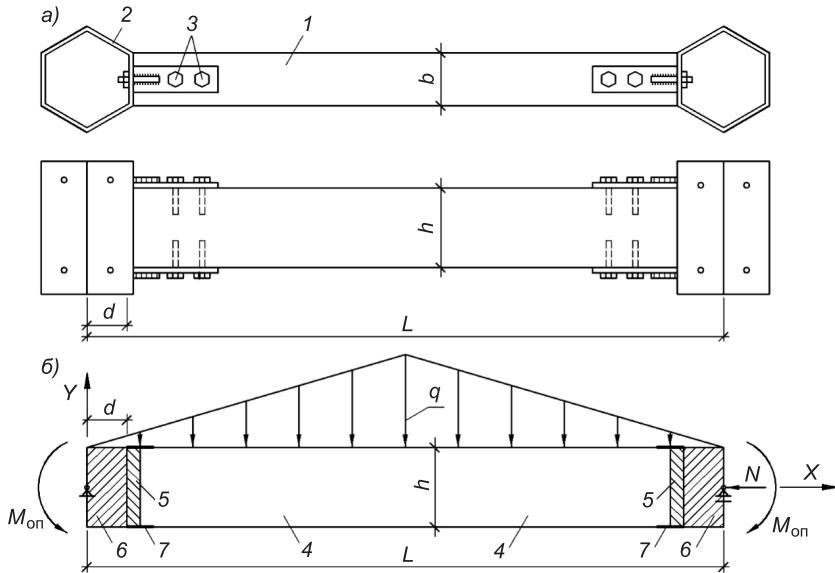


Рис. 1. Несущее ребро купола

*a* — конструктивное решение; *б* — расчетная модель

1 — деревянное ребро; 2 — стальная узловая деталь; 3 — нагельное соединение; 4 — поле треугольных конечных элементов, моделирующих древесину; 5 — конечные элементы, моделирующие древесину в зоне контакта с узловой деталью; 6 — поле треугольных конечных элементов, моделирующих узловую деталь; 7 — стержневые конечные элементы, моделирующие нагельное соединение

использовалась матрица упругости трансверсально-изотропного материала, которая имеет вид

$$[D] = \frac{E_2}{(1-n\mu_2^2)} \begin{bmatrix} n & n\mu_2 & 0 \\ n\mu_2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & m(1-n\mu_2^2) \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где  $n = E_1/E_2$ ;  $m = G/E_2$ ;

$E_1$  — модуль упругости древесины вдоль волокон;

$E_2$  — модуль упругости древесины поперек волокон;

$G$  — модуль сдвига древесины;

$\mu_2$  — коэффициент Пуассона для древесины поперек волокон.

Физически нелинейная работа сжатой древесины моделировалась зависимостью вида

$$\sigma = a\varepsilon + b\varepsilon^2 + c\varepsilon^3, \quad (2)$$

где  $a, b, c$  — постоянные параметры, зависящие от влажности древесины, принятые по [1].

Модуль упругости сжатой древесины вдоль волокон определялся по формуле

$$E_1 = a + 2b\varepsilon + 3c\varepsilon^2. \quad (3)$$

При формировании матриц жесткости конечных элементов, моделирующих деревянное ребро в растянутой зоне и стальную узловую деталь, использовалась диаграмма Прандтля.

Жесткость стержней, моделирующих работу нагельных соединений, определялась по формуле

$$E_c A_c = a_h l_c + 2b_h l_c^2 \varepsilon_c + 3c_h l_c^3 \varepsilon_c^2, \quad (4)$$

где  $E_c A_c$  — продольная жесткость стержней;

$l_c$  — длина стержней;

$\varepsilon_c$  — относительная деформация стержней;

$a_h$ ,  $b_h$ ,  $c_h$  — параметры диаграммы деформирования нагельного соединения описываемой зависимостью вида

$$N = a_h \delta + b_h \delta^2 + c_h \delta^3, \quad (5)$$

здесь  $N$  — усилие, действующее на нагельное соединение;

$\delta$  — абсолютная деформация нагельного соединения.

Таким образом, деформативность этих стержней назначалась равной деформативности нагельного соединения при соответствующей нагрузке.

В алгоритме использовалась комбинация шагового и итерационного методов. Вся нагрузка, действующая на конструкцию, разбивалась на заданное количество шагов. В пределах каждого шага нагружения применялся итерационный метод. При этом анализировалось напряженное состояние конечных элементов, расположенных в зоне контакта деревянного ребра с узловой деталью, и сравнивалось с напряженным состоянием, полученным в ходе предыдущей итерации. Если в каких-то конечных элементах появлялись растягивающие усилия, то эти элементы выключались из работы. При получении устойчивого решения, т.е. при стабилизации размера зоны контакта, итерации на данном шаге прекращались.

На каждом последующем шаге в зависимости от полученных напряжений уточнялись модуль деформации сжатой древесины  $E_d$ , жесткость стержней, моделирующих нагельное соединение  $E_c A_c$ , и пересчитывались координаты узлов конечных элементов.

Большое практическое значение имеет величина разрушающей нагрузки, поэтому было проведено численное исследование работы сжато-изгибаемых элементов при нагрузках, близких к разрушающим, т.е. моделировалось так называемое виртуальное разрушение конструкций. Исследование проводилось при влажности древесины 20 % и различных значениях параметра  $\beta_s$

$$\beta_s = \frac{\sigma_c}{\sigma_{max}}, \quad (6)$$

где  $\sigma_c$  — сжимающее напряжение от действия продольной силы;

$\sigma_{max}$  — максимальное краевое сжимающее напряжение, возникающее в торце деревянного элемента от совместного действия продольной силы и изгибающего момента.

Параметр  $\beta_s$  косвенным образом зависит от положения элемента в куполе. Анализ существующих и проектируемых купольных покрытий показал, что для элементов, расположенных вблизи вершины купола вдоль меридионального направления, характерно значение  $\beta_s = 0,3...0,4$ .

При приближении к основанию  $\beta_s$  увеличивается до 0,5 ... 0,6 (для пологих куполов) и до 0,6...0,7 (для подъемистых куполов).

Опорный изгибающий момент определяется как максимальное значение  $q$

$$M_{\text{оп}} = \frac{5}{96} q L^2, \quad (7)$$

а продольная сила — с учетом параметра  $\beta_s$ :

$$N = \frac{\beta_s}{1 - \beta_s} \cdot \frac{M_t A}{W}, \quad (8)$$

где  $A$  — площадь поперечного сечения ребра;

$W$  — момент сопротивления сечения ребра;

$M_t$  — изгибающий момент, действующий в торце деревянного элемента, определяемый по формуле

$$M_t = q \left( \frac{5}{96} L^2 - \frac{Ld}{4} + \frac{d^3}{3L} \right), \quad (9)$$

здесь  $d$  — расстояние от опоры до торца элемента.

В качестве исследуемой конструкции было принято ребро купола при  $l = 2,8$  м,  $b = 40$  мм,  $h = 200$  мм,  $d = 100$  мм.

Так как на элемент действует одновременно продольная сила, изгибающий момент и поперечная нагрузка в качестве параметра, характеризующего общую суммарную нагрузку, был принят относительный обобщенный вектор нагрузки

$$\bar{P} = \frac{P_i}{P}, \quad (10)$$

где  $P_i$  — общая нагрузка, действующая на образец на  $i$ -м этапе нагружения;

$P$  — общая нагрузка, вызывающая максимальное сжимающее напряжение в торце деревянного элемента  $\sigma_{\max} = R_c = 13$  МПа, определенная по линейному расчету (без учета факторов нелинейности работы конструкции).

Одним из объективных критериев исчерпания несущей способности конструкции может быть скорость нарастания относительного прогиба. На рис. 2 показаны графики зависимости относительного прогиба элементов от относительного обобщенного вектора нагрузки. Из этих графиков следует, что при одинаковом относительном прогибе  $[f/l] = 0,01$  несущая способность элемента при  $\beta_s = 0,7$  практически исчерпана, тогда как элемент при  $\beta_s = 0,3$  имеет еще некоторый резерв прочности (см. рис. 2).

Следует заметить, что в алгоритме заложена диаграмма работы на растяжение чистой древесины при  $R_{\text{бр}} = 100$  МПа. В реальных конструкциях пороки в растянутой зоне сильно снижают предел прочности растянутой древесины, который равен  $R_{\text{бр}} = 25$  МПа [2]. Данное напряжение возникает в сжато-изгибаемых элементах в диапазоне  $\beta_s$  от 0,3 до 0,6,

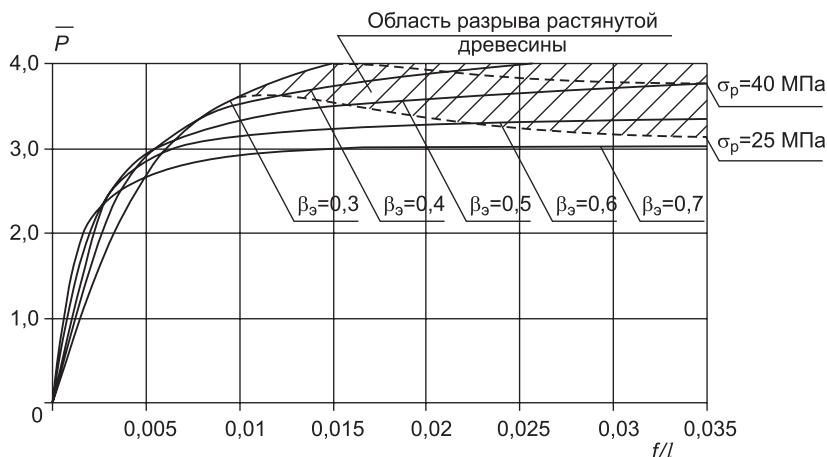


Рис. 2. Графики зависимостей относительных прогибов элементов в середине пролета от нагрузки при различных значениях  $\beta_3$

в частности при  $\bar{P} \approx 3,6$  для  $\beta_3 = 0,3$  и при  $\bar{P} \approx 3,3$  для  $\beta_3 = 0,6$ . На рис. 2 область возможного разрыва растянутой древесины заштрихована.

Для оценки результатов численного эксперимента были проведены испытания моделей сжато-изгибаемых деревянных ребер. Испытания выполнялись на специальном стенде (рис. 3), позволяющем прикладывать к ребрам продольную силу, поперечную нагрузку в виде четырех сосредоточенных сил, эквивалентных фактической нагрузке, и опорные изгибающие моменты (рис. 4).

Для проведения физического эксперимента было изготовлено семь образцов трех типоразмеров из сосны второго сорта. Сечение всех элементов было принято одинаковым — 20×100 мм, варьировалась только

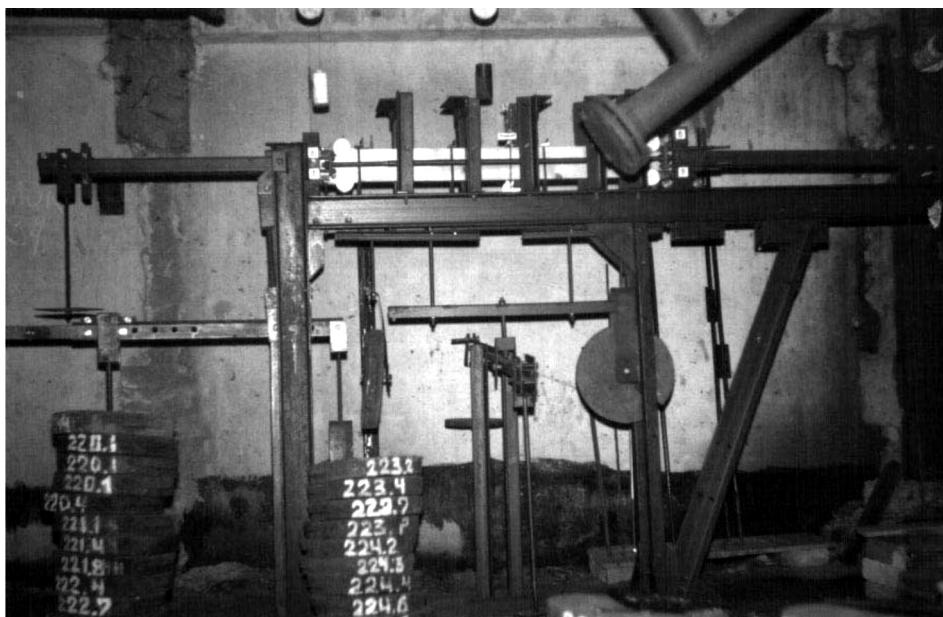


Рис. 3. Общий вид образца на испытательном стенде

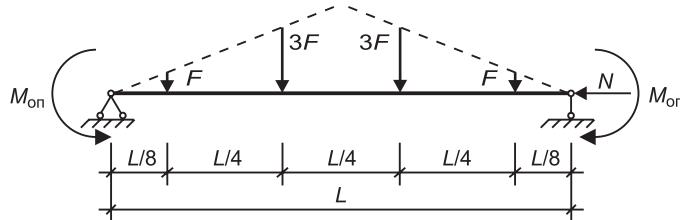


Рис. 4. Расчетная схема испытываемых образцов

длина, которая была назначена равной 1100, 1350 и 1600 мм. При размеже узловой детали, равном 25 мм, пролет балок составил 1150, 1400 и 1650 мм.

Опорный изгибающий момент назначался равным

$$M_{\text{оп}} = \frac{13}{16} FL. \quad (11)$$

Продольная сила определялась по формуле (8).

Нагружение образцов осуществлялось ступенями в равные промежутки времени (5 мин). Каждая ступень состояла из двух этапов. На первом этапе прикладывались опорные (концевые) моменты и поперечная нагрузка. На втором этапе прикладывалась продольная сила.

Из семи балок три доводились до разрушения при  $\beta_s = 0,3$  и четыре балки — при  $\beta_s = 0,4$ . Выбранные значения  $\beta_s$  регламентировались предельной прочностью самого стенда. Полученные в ходе физического эксперимента значения разрушающих нагрузок сравнивались с теоретическими значениями, расхождение составило от 5 до 22 % (см. таблицу).

При максимальной нагрузке между опорой и деревянным элементом в верхней зоне появлялся небольшой зазор (эффект «отлипа»), а в середине пролета фиксировались значительные деформации сжатия с образованием поперечной складки, рост прогибов при этом существенно уско-

#### Оценка несущей способности испытанных деревянных сжато-изгибаемых элементов (расчетная схема 1)

№ балки	$\beta_s$	Значение разрушающей нагрузки						$P_t / P_s$	
		теоретическое $P_t$ (по результатам численного эксперимента)			экспериментальное $P_s$ (полученное в ходе физического эксперимента)				
		$N$ , Н	$F$ , Н	$M$ , Нм	$N$ , Н	$F$ , Н	$M$ , Нм		
Б-11,5-1	0,4	38272	1146,7	1071,6	37440	1121,8	1048,3	1,02	
Б-11,5-2	0,3	28548	1330,4	1243,3	23400	1090,5	1019,1	1,22	
Б-14-3	0,3	28470	1066,9	1213,6	23400	876,9	997,5	1,22	
Б-14-4	0,4	37648	907,2	1035,3	35360	852,0	972,4	1,06	
Б-14-6	0,4	37648	907,2	1035,3	39520	952,3	1086,8	0,95	
Б-16,5-1	0,3	26910	843,5	1130,9	24960	782,4	1049,0	1,08	
Б-16,5-2	0,4	35360	712,6	957,1	39520	796,5	1069,7	0,89	

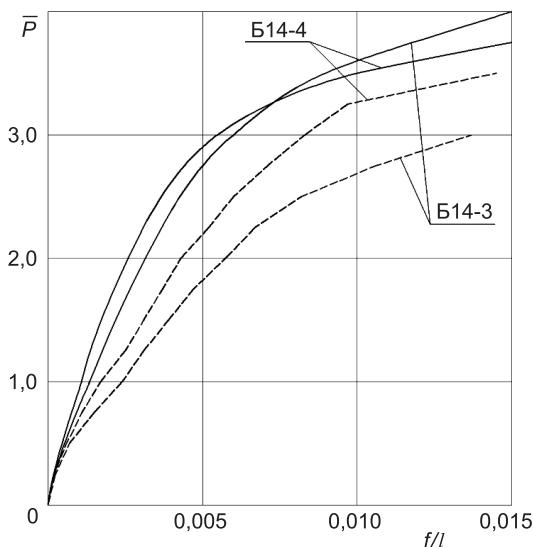


Рис. 5. Графики прогибов элементов

— теоретические значения;  
- - - экспериментальные значения

рялся (рис. 5). В некоторых элементах в торце появились продольные трещины.

Для всех элементов с  $\beta_s = 0,3$  разрушение начиналось с нагельного соединения, которое сопровождалось либо обмятием древесины в нагельном гнезде и расслоением древесины, либо разрывом древесины в растянутой верхней зоне (рис. 6). Затем после перераспределения усилий происходило разрушение элемента в середине пролета с характерным образованием складки в верхней сжатой зоне элемента и последующим разрывом волокон древесины в нижней зоне (рис. 7).

При  $\beta_s = 0,4$  разрушение элементов происходило одновременно в середине пролета и на опоре. В частности, для балки Б-11,5-1 в торце образовалась продольная трещина и поперечная складка (рис. 8). Разрушение большинства балок сопровождалось образованием характерной складки в верхней сжатой зоне и разрывом волокон древесины в нижней растянутой зоне в середине пролета. Разрушение балки Б-14-4 характеризовалось большими деформациями обмятия в торце и образованием складки в середине пролета при больших прогибах. Разрушение растянутой древесины в дан-

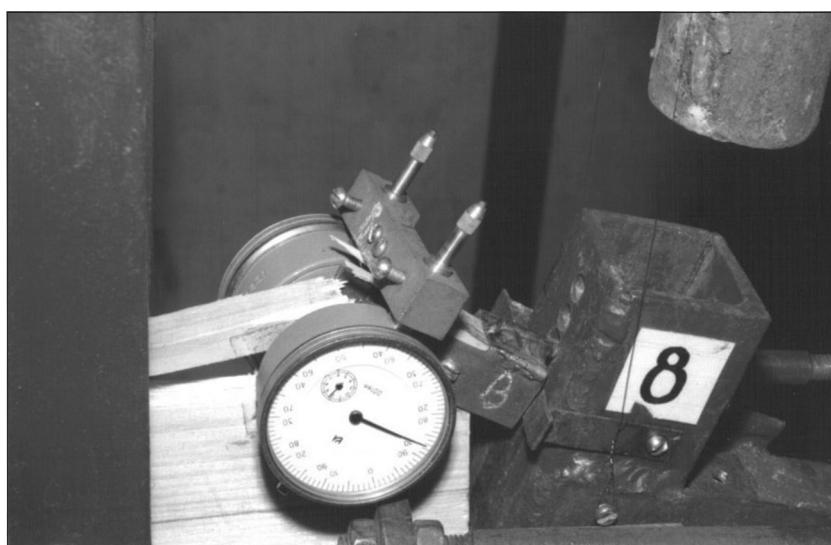


Рис. 6. Разрыв растянутой древесины в зоне нагельного соединения (Б-16,5-1)

ной балке не наблюдалось, так как вследствие больших прогибов грузовая подвеска оперлась на фундамент стендса.

В соответствии с «Рекомендациями по испытанию деревянных конструкций» [3] конструкция обладает необходимой несущей способностью, если выполняется условие

$$\frac{P_s}{P} \geq k, \quad (12)$$

где  $k = 1,86$  (для пластического разрушения и времени  $t = 4500$  с);

$P_s$  — разрушающая нагрузка;

$P$  — расчетная нагрузка, при которой напряжения сжатия достигают  $R_c$ .

Для испытанных элементов отношение  $\frac{P_s}{P}$  находится в пределах от 3,4 до 3,65, что свидетельствует о высокой несущей способности элементов купола.

**Выводы.** 1. На основании проведенного исследования можно сделать прогноз возможного характера разрушения сжато-изгибаемых элементов купола.

Для элементов, расположенных в вершине купола (при  $\beta_s = 0,3$ ), разрушение начинается с нагельного соединения. При увеличении нагрузки наблюдаются большие пластические деформации древесины в торце элемента с последующим переходом процесса разрушения на середину пролета, где в верхней зоне возможно образование складки, а в нижней возможен разрыв растянутой древесины.

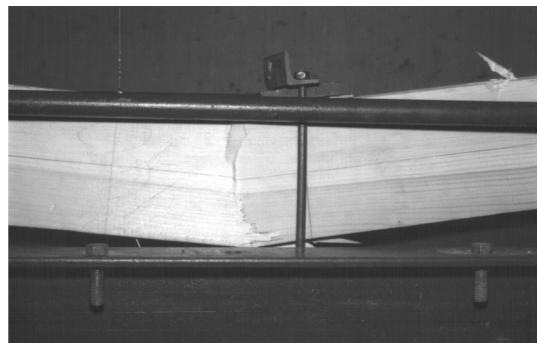


Рис. 7. Образование складки в верхней сжатой зоне элемента и разрыв волокон в нижней зоне (Б-11,5-2)

Для испытанных элементов отношение  $\frac{P_s}{P}$  находится в пределах от

3,4 до 3,65, что свидетельствует о высокой несущей способности элементов купола.

**Выводы.** 1. На основании проведенного исследования можно сделать прогноз возможного характера разрушения сжато-изгибаемых элементов купола.

Для элементов, расположенных в вершине купола (при  $\beta_s = 0,3$ ), разрушение начинается с нагельного соединения. При увеличении нагрузки наблюдаются большие пластические деформации древесины в торце элемента с последующим переходом процесса разрушения на середину пролета, где в верхней зоне возможно образование складки, а в нижней возможен разрыв растянутой древесины.

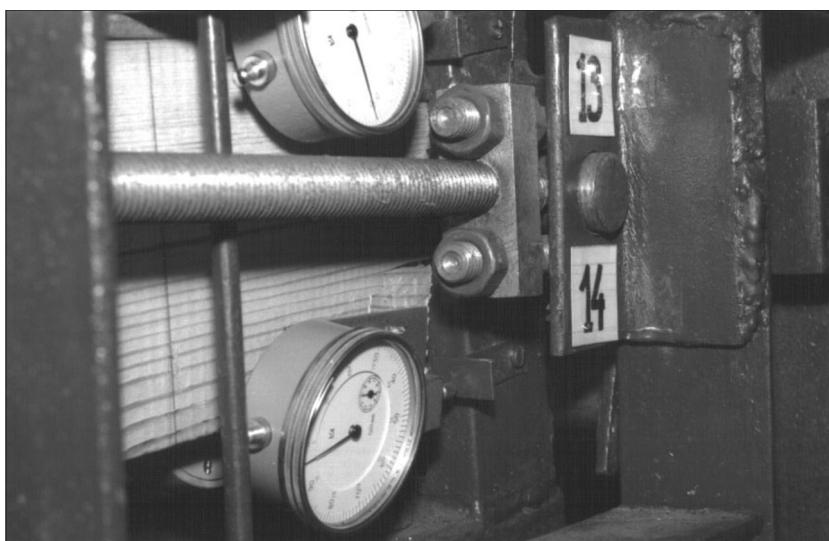


Рис. 8. Образование продольной трещины и поперечной складки в торце элемента (Б-11,5-1)

При  $\beta_s = 0,4\text{--}0,6$  процесс разрушения начинается с обмятия древесины в торце элемента, а завершается разрывом растянутой древесины, как при  $\beta_s = 0,3$ .

При  $\beta_s = 0,7$  происходит обмятие древесины в торце элемента и возможно образование поперечной складки в середине пролета при значительном нарастании прогиба. Разрыв растянутой древесины маловероятен.

2. Схемы разрушения, полученные в ходе физического эксперимента, в целом соответствуют схемам, полученным в ходе компьютерного моделирования; характер разрушения — пластический. Отношение разрушающей нагрузки к расчетной не меньше 3,4 — это свидетельствует о высокой несущей способности и надежности элементов купола.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Арленинов, Д.К. Эффективные деревянные конструкции и методы их расчета с учетом нелинейных зависимостей [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Д.К. Арленинов. — М., 1995. — 43 с.
2. СТО 36554501-002-2006. Деревянные клееные и цельнодеревянные конструкции. Методы проектирования и расчета / ФГУП «НИЦ «Строительство». — М., 2006.
3. Рекомендации по испытанию деревянных конструкций [Текст] / ЦНИИСК. — М. : Стройиздат, 1976. — 28 с.

*МИРЯЕВ Борис Васильевич, канд. техн. наук, доц.; E-mail: miryaev.b.v@mail.ru  
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства  
ТОЛУШОВ Сергей Александрович, канд. техн. наук; E-mail: stolushov@mail.ru  
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства*

Получено после доработки 12.11.13

**Miryaev Boris Vasiliyevich**, candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: miryaev.b.v@mail.ru, Penza State University of Architecture and Construction, Russia  
**Tolushov Sergey Alexandrovich**, candidate of technical sciences; E-mail: stolushov@mail.ru, Penza State University of Architecture and Construction, Russia

#### **EXPERIMENTAL AND THEORETICAL RESEARCHS OF COMPRESSED FLEXURAL WOODEN ELEMENTS OF THE DOME AT THE EXTREME STATE**

The results of experimental and theoretical study of compressed flexural wooden elements of the dome in the limiting condition. The character of elements destruction is prognosticated.

**Key words:** compressed flexural wooden elements dome, numerical analysis, experimental investigation.

#### REFERENCES

1. Arleninov, D.K. Effective wooden structures and methods of calculation taking into account the non-linear functions [Text] : Author's abstract of dissertation ... doctor of technical sciences / D.K. Arleninov. — M., 1995. — 43 p.
2. СТО 36554501-002-2006. Wooden laminated and solid timber structures Methods of design and calculation / The Federal State Unitary Enterprise «Research Center «Building». — M., 2006.
3. Recommendations on testing of wooden constructions [Text] / TSNIISK. — M. : Stroyizdat, 1976. — 28 p.

## НАШИ ЮБИЛЯРЫ

### ИЗВЕСТНЫЙ УЧЕНЫЙ И ПЕДАГОГ (к 75-летию Владимира Александровича Игнатьева)

6 декабря 2013 г. исполнилось 75 лет доктору технических наук, профессору, заслуженному деятелю науки и техники РСФСР Владимиру Александровичу Игнатьеву.

В 1960 г. он окончил строительный факультет Саратовского автомобильно-дорожного института, а в 1967 г. — вечернее романо-германское отделение Саратовского государственного университета по специальности «Немецкий язык и литература». С 1960 по 1962 г. работал на производстве.

С 1962 по 1983 г. Владимир Александрович преподавал в Саратовском политехническом институте и Саратовском высшем военно-инженерном училище химической защиты. Прошел путь от ассистента до профессора, заведующего кафедрой, декана факультета. В течение 25 лет (с 1983 по 2008 г.) был ректором Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета.

В.А. Игнатьев — автор более 200 печатных работ и 12 монографий, в том числе изданных за рубежом, имеет несколько авторских свидетельств на изобретения в области строительных конструкций. Им подготовлены 40 кандидатов и 9 докторов наук.

Владимир Александрович является основателем научной школы в области аналитических и численных методов строительной механики. В область его научных интересов входят разработка и совершенствование редукционных методов расчета сооружений (метод дискретных конечных элементов, метод разреженных сеток, метод конечных элементов в форме классического смешанного метода, методы частотно-динамической конденсации и др.).

В.А. Игнатьев — почетный профессор Ассоциации строительных вузов СНГ, член Президиума правления Ассоциации строительных вузов России, советник Российской академии архитектуры и строительных наук, член Американской ассоциации гражданских инженеров, академик



нескольких общественных академий: Международной академии наук высшей школы, Российской академии инженерных наук и др. Награжден орденом Почета и знаком «Почетный работник высшей школы». За организацию и успешное осуществление в течение 15 лет проекта немецкоязычного учебного процесса, позволившего студентам-участникам получать одновременно дипломы российских и немецких инженеров, награжден золотой медалью Университета прикладных наук г. Кёльна (Германия). В 2002 г. за большой вклад в подготовку высококвалифицированных специалистов и научную деятельность ему объявлена благодарность Президента Российской Федерации.

Владимир Александрович осуществляет большую общественную работу, в том числе в качестве члена экспертного совета ВАК по строительству и архитектуре.

В.А. Игнатьев является членом редакционных коллегий журналов «Известия вузов. Строительство», «Строительная механика и расчет сооружений» и «Вестник ВолГАСУ. Строительство и архитектура».

*Коллектив Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета, коллеги и друзья поздравляют Владимира Александровича Игнатьева с юбилеем и желают ему крепкого здоровья, долгих лет жизни и больших творческих успехов!*

*Редакция журнала «Известия вузов. Строительство» присоединяется к поздравлениям юбиляру и надеется на продолжение плодотворного творческого сотрудничества.*

# ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ РУКОПИСИ<sup>1</sup>

1. К рукописи, представляемой в редакцию на русском языке, необходимо приложить:
  - сопроводительное письмо руководства организации, откуда исходит рукопись;

**к сопроводительному письму должна быть приложена гарантия оплаты публикации статьи<sup>2</sup> за подписью автора или руководителя представляющей статью организацией. Плата за публикацию статей аспирантов не взимается. Гарантийное письмо не требуется, если статья представляется организацией, осуществляющей целевые взносы на издание нашего журнала;**

— рекомендацию соответствующей кафедры вуза (заверенную выписку из протокола заседания кафедры);

— экспертное заключение о возможности опубликования, оформленное в организации, откуда исходит рукопись;

— разрешение Роспатента на открытую публикацию материалов по заявке на изобретение.

2. Рукопись должна готовиться на компьютере в программе Microsoft Word и представляться в редакцию распечатанной в двух экземплярах, с приложением ее записи на CD (3", 5").

Текст рукописи набирают шрифтом Times New Roman Cyr размером 14 пт. с межстрочным интервалом 1,5. Объем рукописи — до 10 страниц. Обязательна нумерация страниц.

3. Порядок оформления статьи (см. макет статьи на Internet-сайте журнала):

— индекс УДК;

— инициалы, фамилии авторов;

— название статьи;

— аннотация (объемом до 0,3 страницы текста);

— ключевые слова;

— текст статьи;

— библиографический список не более четырех ссылок (при большем количестве их следует оформлять по ГОСТ Р 7.0.5–2008);

— сведения об авторах: **фамилии, имена, отчества (полностью), ученые степени, звания** (звания в негосударственных академиях наук и почетные звания не указывать); наименование учреждений, в которых работают авторы, на русском и **английском языках**;

— почтовые адреса, телефоны и e-mail авторов;

— название статьи на английском языке;

— аннотация на английском языке;

— ключевые слова на английском языке;

— библиографический список на английском языке.

4. На полях рукописи указываются места рисунков и таблиц (вставлять их в текст не нужно — это делается при верстке).

Статья должна быть тщательно отредактирована и подписана всеми авторами (с указанием даты отправки статьи).

5. Иллюстрации представляются в редакцию в виде файлов, созданных в программах CorelDraw или Microsoft Word, записанных с расширением \*.cdr (предпочтительно) или \*.doc, фотографий — TIFF или JPEG. Надписи и цифры набирать шрифтом Arial. Линии чертежа — не тоньше 1 пт. Иллюстраций, в том числе фотографий, должны быть черно-белыми с хорошей проработкой деталей.

Рисунки должны быть выполнены так, чтобы их можно было отредактировать (внести изменения, исправления, т.е. изменить шрифт, исправить возможные орфографические ошибки).

Иллюстрации должны быть распечатаны в двух экземплярах, с подписями к ним. Размер иллюстрации не должен превышать 20×30 см, их общее число, как правило, не более 4.

6. Таблицы печатаются каждая на отдельном листе. Все наименования в них даются полностью, без сокращения слов.

7. Формулы следует набирать на компьютере шрифтом Times New Roman размером 14 пт. Русские и греческие буквы и индексы, а также цифры, аббревиатуры и стандартные функции (Re, cos и др.) набираются прямым шрифтом. Латинские буквы набирать курсивом. Во избежание смешения сходных изображений прописных и строчных букв (*V* и *v*, *S* и *s*, *O* и *o*, *K* и *k* и др.), а также трудноразличимых букв и символов: *l*, *e* и *1* (цифра), *n* и *p*, *I* и *J* и т.п.) пояснения в необходимых случаях выполняются простым карандашом на полях. В статье должен быть необходимый минимум формул. Все второстепенные и промежуточные математические преобразования выносятся в приложение к статье (для рецензента).

<sup>1</sup> С дополнениями в соответствии с требованиями ВАК (выделены п/ж курсивом).

<sup>2</sup> На 2014 г. — из расчета 800 р. за 1 журнальную страницу.

(Окончание правил)

**8.** Следует применять физические величины, обозначения и единицы измерения в системе СИ(СИ).

**9.** В библиографический список включаются только те работы, которые опубликованы в печати, составленные в соответствии с ГОСТ 7.80–2000, ГОСТ 7.1–03.

Примеры оформления можно найти на Internet-сайте НГАСУ (Сибстрин) по адресу [www.sibstrin.ru](http://www.sibstrin.ru) и [www.izvuzstr.sibstrin.ru](http://www.izvuzstr.sibstrin.ru)

**10.** Если статья была или будет направлена в другое издание, или же была ранее опубликована, необходимо обязательно сообщить об этом редакции. Материалы уже публиковавшихся работ к рассмотрению не принимаются.

**11.** Рецензентов для статей редакция назначает по своему усмотрению. При доработке статьи после рецензии на первой странице указываются ее редакционный номер, число, месяц, год и пометка «рукопись после доработки». Доработанную статью необходимо присыпать в двух экземплярах с приложением ее записи в электронном виде. К доработанной рукописи обязательно прикладывать ответы на все замечания рецензента. Датой поступления статьи считается получение редакцией ее окончательного текста.

**12.** Рукописи, не принятые к опубликованию, авторам не высылаются. Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения текста рукописей. *Корректура статей авторам не представляется.*

**13.** Гонорар за опубликованные статьи *не выплачивается*.

**14.** Рукописи, не удовлетворяющие изложенным требованиям, отправляются авторам на доработку, что замедляет срок их опубликования.

## ПРИНИМАЕТСЯ ПОДПИСКА

на 1-е полугодие 2014 г.

НА НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИЗВЕСТИЯ  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

# «СТРОИТЕЛЬСТВО»

Журнал имеет разделы

Строительные конструкции  
Теория инженерных сооружений  
Строительные материалы и изделия  
Экономика и организация строительства  
Автоматизация и технология строительного производства  
Гидротехническое строительство  
Санитарная техника

Строительство автомобильных дорог и мостов  
Строительные и дорожные машины  
Научные проблемы архитектуры и экологии  
Научно-методический В лабораториях вузов  
Внедрение научных достижений в производство  
Научная информация

Каталожная цена за 6 месяцев — 2400 р.

Цена отдельного номера — 400 р.

Подписка принимается с любого месяца без ограничения всеми агентствами  
Роспечати и отделениями связи. Индекс 70377.

ББК 38  
И 33  
УДК 69

Научное издание

**Известия вузов**  
**СТРОИТЕЛЬСТВО**  
**№ 1 (661) 2014**

Научно-теоретический журнал

Редакторы: *С.М. Погудина, Н.И. Коновалова*  
Технический редактор *Н.М. Макаренко*  
Компьютерная верстка *Р.Г. Усова*  
Корректор *Г.И. Шведкина*