

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ

УДК 621.542.001

Д.Э. АБРАМЕНКОВ, Э.А. АБРАМЕНКОВ, Т.Ю. ВИГОВСКАЯ,  
А.А. КУТУМОВ, Р.Ш. ШАБАНОВ

## СИНТЕЗ И АНАЛИЗ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ УДАРНЫХ МЕХАНИЗМОВ ПРИ ВЫБОРЕ И ОБОСНОВАНИИ ИХ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ

Рассмотрена классификация дополнительных конструктивных признаков-элементов пневматических ударных механизмов. Предложен метод оценки конструктивных решений механизмов.

Ключевые слова: пневматические ударные механизмы, принципиальная схема, камера сетевого воздуха, камера рабочего хода, камера холостого хода, ступенчатый ударник.

### Анализ альтернативных и авторских технических решений.

Анализируя принципиальные конструктивные решения, представленные в справочнике [1], и сопровождающую их классификацию признаков-элементов пневмоударных механизмов (ПУМ), можно сделать вывод о необходимости дополнения классификаций [1] уточняющими конструктивными признаками-элементами комбинаций *C*, *E* и *K*.

Для конструктивных решений признаков *C*, *E* и *K* необходимы уточнения исполнения каналов кроме указания «в» («на») какой детали канал выполнен. То есть канал «в» элементе круглого сечения: прямой, конический, коленчатый, ступенчатый и т.п. Кроме отмеченного канал «на» элементе: паз прямой, паз под углом к образующей; лыска прямая, ступенчатая, наклонная; с различной глубиной выреза по длине, в каком направлении проходное сечение лыски увеличивается или уменьшается; винтовой канал и т.п. Все перечисленные каналы положения «в» и «на» могут выполняться различной формы в поперечном сечении: прямоугольной, треугольной, трапецидальной, овальной (часть окружности или эллипса) и т.п.

Конструктор при выборе того или иного решения исходит из условий работы пневматического ударного механизма. Например, каналы в виде лыски содержат меньшее количество концентраторов напряжений в сравнении с пазом; наклонные и винтовые каналы более эффективно очищают поверхность, с которой они контактируют в движении; каналы «в» элементе больше расположены к засорению.

Рассмотренные примеры исполнения приводят к увеличению или снижению прочности детали, надежности засорений и сохранения проходного сечения воздухоподводящего канала.

Все отмеченное приводит к поломкам деталей, увеличению трения между подвижными контактирующими деталями, нарушению рабочего

процесса пневматического ударного механизма и снижению эффективности применения надежных и экологически чистых пневматических машин ударного действия.

**Дополнения к классификациям признаков-элементов конструктивных признаков средств впуска-выпуска.** Дополнения учитывают уточнения конструктивных признаков-элементов для впуска, перепуска и выпуска воздуха в ПУМ. Не нарушая общей стройности построений [1, 2], в дополнении к ним сохраняются символы кодов для средств впуска *C* и добавляется знак ('), например, *C'*, что указывает на более точное исполнение конструктивного признака-элемента. Посколь-

**Классификация признаков-элементов, уточняющих конструктивное исполнение средств воздухопровода, воздухораспределения, виды выпуска и удаления отработавшего воздуха в пневматических молотах**

Динамические признаки			Конструктивные признаки		
код	базовые	код	дополнительные	код	базовые
1	2	3	4	5	6
<i>C'</i>	Средства воздухоподвода к средствам воздухораспределения	<i>a'</i>	Канал круглого сечения	1'	В (на) стержне неподвижен
				2'	В (на) стержне подвижен
				3'	В (на) трубке неподвижен
				4'	В (на) трубке подвижен
				5'	В (на) корпусе для ударника
				6'	В (на) ударнике
				7'	В (на) штоке ударника
				8'	В (на) поршне ударника
				9'	В (на) муфте
				01'	В (на) втулке
				02'	В (на) стакане
				03'	В (на) наковальне
				04'	В (на) направляющей
				05'	В (на) кинематическом звене
<i>E'</i>	Средства перепуска	<i>b'</i>	Канал-щель	То же 1'- 05'	
				» »	
				» »	
				» »	
				» »	
				» »	
				» »	
				» »	
<i>K'</i>	Средства выпуска отработавшего воздуха в атмосферу		Аналогично <i>C'</i> то же <i>a'</i> - <i>j'</i>	То же 1'-05'	
				» »	

ку функционально  $C$  и  $C'$  могут быть различными, то желательно указывать последовательно оба символа. Эти же обозначения распространяются на остальные комбинации основных и дополнительных признаков-элементов для средств, включающих  $D$  и  $D'$ ,  $E$  и  $E'$ ,  $F$  и  $F'$ ,  $G$  и  $G'$ ,  $H$  и  $H'$ ,  $K$  и  $K'$ . Средства  $D$ ,  $E$ ,  $F$ ,  $G$ ,  $H$  и  $K$  приведены в таблице классификации [1, 2]. Средства  $C$  и  $C'$  представлены в таблице.

Классификация дополнительных уточняющих конструктивное исполнение признаков-элементов  $C$ ,  $E$ ,  $K$  от 1' до 05' пневматических молотов не претендует на полноту описания молотов с ПУМ, но позволяет ориентироваться в созданной конструкции и более удачно при более глубоком знании назначения и физико-математических и других свойств признаков-элементов.

При анализе принципиальных схем применен алгоритм последовательности рассмотрения, представленный блок-схемой на рис. 1.

**Синтез принципиальных схем пневматических ударных механизмов для проходчика скважин бестраншейным способом.** Синтез механизмов основан на признаках-элементах классификаций [1, 2]. Применение известных признаков-элементов в новых комбинациях позволяет получать новые качества механизма с учетом его применения, например в пневмопробойниках, как без отбора грунта по трассе проходки скважины, так и частичным отбором грунта и транспортированием его на дневную поверхность, а также частичным уплотнением в стенки скважин.

Набор признаков-элементов, обеспечивающих преимущества перед уже известными механизмами [1, 2], осуществляется с целью снижения удельного расхода воздуха за счет осуществления его перепуска между камерами с последующим выпуском отработавшего воздуха только через камеру холостого хода, исключая его выпуск через боковые стенки механизма. При этом предусматривается центральная трубка для грунтопровода и возможность осуществления двух систем воздухоподвода в рабочие камеры дроссельного ПУМ со всем набором его положительных качеств [3, 4] и дроссельно-беззолотникового ПУМ с дополнительным под-

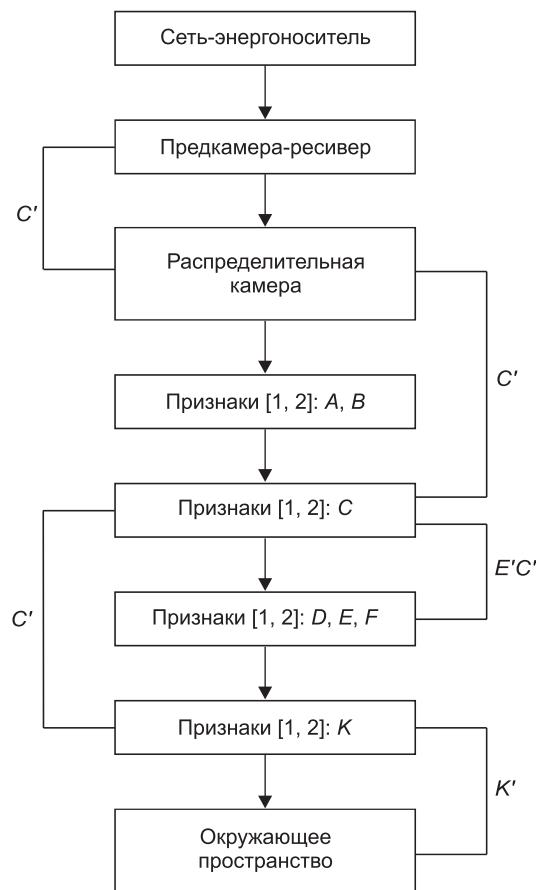


Рис. 1. Блок-схема взаимосвязей признаков-элементов механизма

водом воздуха в одну из рабочих камер, например, в камеру холостого хода [5].

Обе системы воздухоподвода пневматического ударного механизма должны обеспечивать непрерывное его движение.

Целесообразно предусматривать снижение сил отдачи, чем снижать отход корпуса в сторону, обратную направлению движения по трассе скважины. Отмеченное позволит использовать более полно энергию удара для движения механизма в направлении проходки скважины. Например, ступенчатые ударники позволяют резервировать кольцевые объемы камер рабочего хода вокруг распределительных камер, в которых перемещается штоковая часть ударника.

Рассмотрим примеры с двухканальной трубкой с подводом и отводом воздуха без центральной трубы грунтопровода и одноканальной трубы только с отводом отработавшего воздуха. Оба варианта предусматривают применение трубы грунтопровода.

**Анализ и выбор пневматического ударного механизма для проходчика скважин в грунтовых средах.** Представляется, что все конструктивные признаки-элементы обусловливаются и несут информацию о динамических признаках-элементах конкретного ПУМ.

В данном разделе для анализа представлены схемы ПУМ, построенные на признаках-элементах, влияющих на рабочий процесс как известных, так и синтезированных в связи с задачей выбора лучшего технического решения, удовлетворяющего условиям бестраншейной проходки скважин с частичным удалением грунта через грунтопровод и частичным уплотнением грунта для создания устойчивых стенок скважины на время проходки трассы.

Схемы, защищенные патентами РФ [6–8] (рис. 2–5), и синтезированные схемы (рис. 6–9) удовлетворяют процессу проходки скважин.

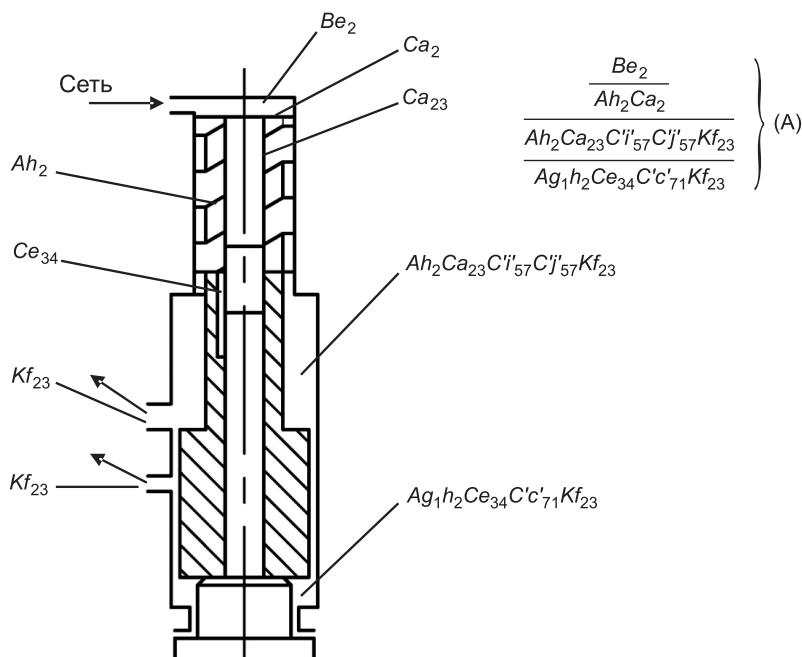


Рис. 2. Принципиальная схема по патенту РФ [6] и структурная формула описания

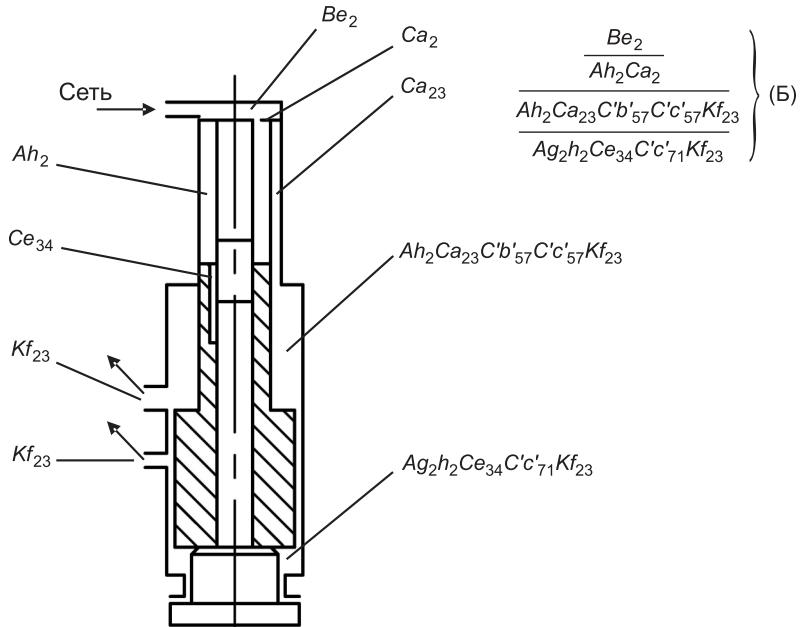


Рис. 3. Принципиальная схема по патенту РФ [7] и структурная формула описания

Схемы (см. рис. 2–9) построены и представлены в виде структурных формул согласно синтезу по классификации [1]. Анализ структурных формул выполнен с последующим исключением подобных комбинаций в строках, что позволяет оценивать только различные комбинации и упрощает процесс анализа значительного количества одновременно рас-

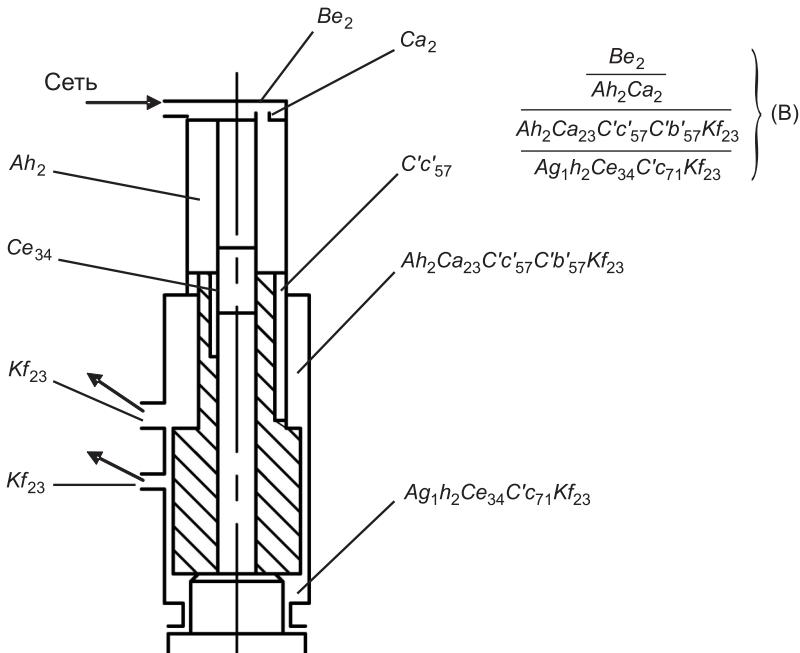


Рис. 4. Принципиальная схема по патенту РФ [8] и структурная формула описания

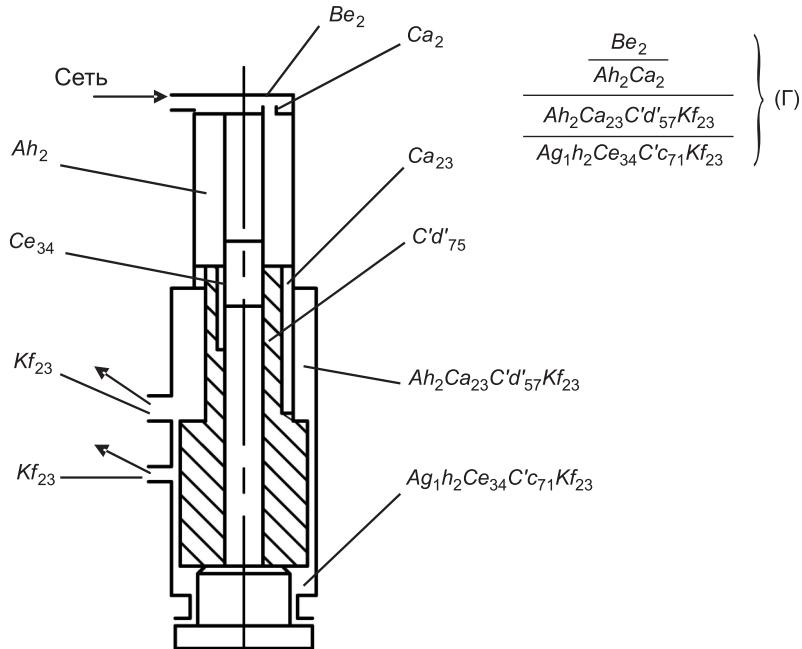


Рис. 5. Принципиальная схема по патенту РФ [8]  
и структурная формула описания

сматриваемых ПУМ. Схемы (рис. 2–9) снабжены полными структурными формулами (А)–(И), выполненными с применением обозначений, принятых в таблице, и таблиц признаков-элементов, заимствованных из работ [1, 2].

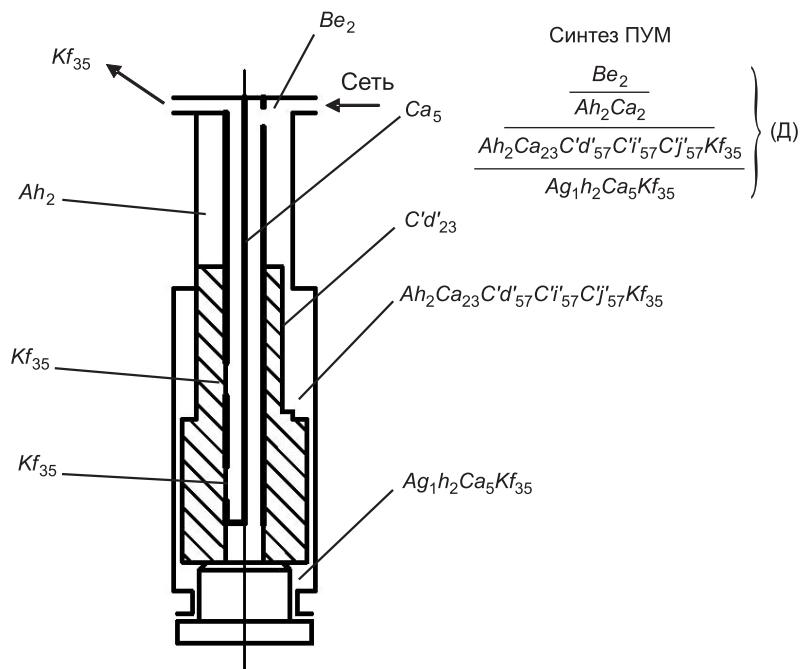


Рис. 6. Принципиальная схема механизма, синтезированного по [1, 2],  
и структурная формула описания

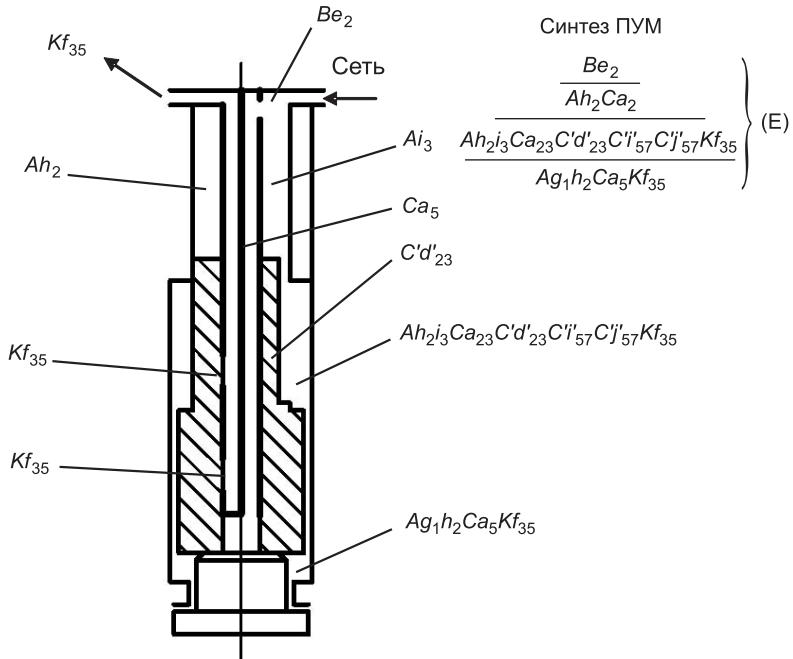


Рис. 7. Принципиальная схема механизма, синтезированного по [1, 2], и структурная формула описания

При сравнении механизмов опустим неучаствующие в рабочем процессе ПУМ признаки-элементы, относящиеся к конструктивному исполнению. Графическое изображение признаков-элементов представим в следующем описании в виде формул, подобно [1, 2].

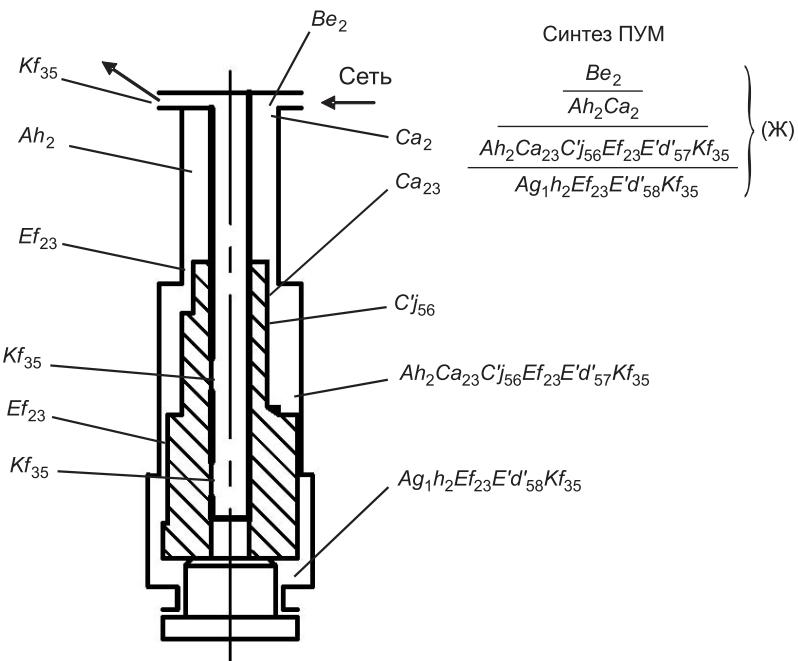


Рис. 8. Принципиальная схема механизма, синтезированного по [1, 2], и структурная формула описания

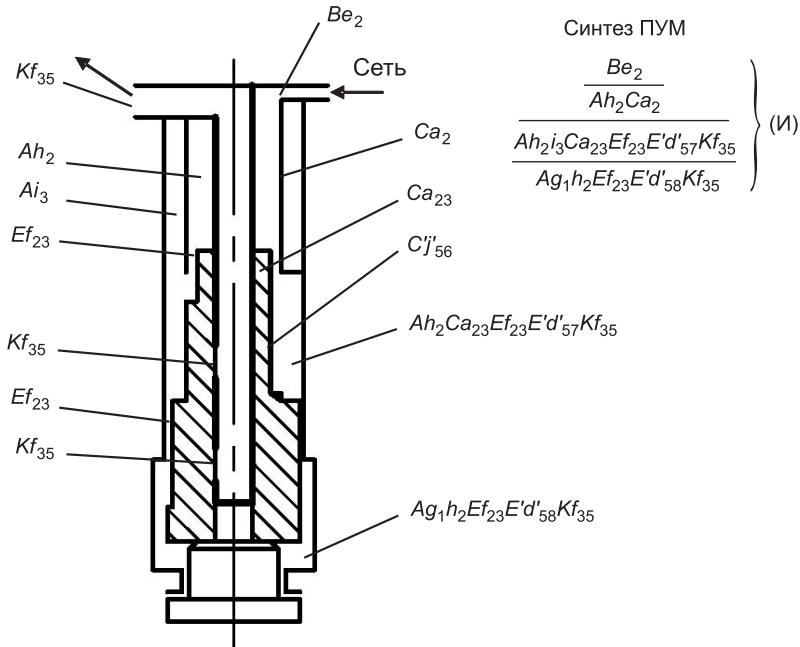


Рис. 9. Принципиальная схема механизма, синтезированного по [1, 2], и структурная формула описания

Согласно рис. 2–9, совокупность признаков-элементов в виде комбинации  $\frac{B\theta_2}{Ah_2Ca_2}$  повторяется для всех 1 и 2 строк рассмотренных схем ПУМ и их при анализе можно опустить, так как они обладают одинаковыми свойствами.

Следовательно, сравнению подлежат комбинации признаков-элементов ПУМ, представленные двумя нижними (3 и 4) строками:

$$\left[ \frac{Ah_2Ca_{23}C'i'_{57}C'j'_{57}Kf_{23}}{Ag_1h_2Ce_{34}C'c'_{71}Kf_{23}} \right], \quad (A')$$

$$\left[ \frac{Ah_2Ca_{23}C'c'_{57}C'b'_{57}Kf_{23}}{Ag_1h_2Ce_{34}C'c'_{71}Kf_{23}} \right], \quad (B')$$

$$\left[ \frac{Ah_2Ca_{23}C'c'_{57}Cb'_{57}Kf_{23}}{Ag_1h_2Ce_{34}C'c'_{71}Kf_{23}} \right], \quad (B')$$

$$\left[ \frac{Ah_2Ca_{23}C'd'_{75}Kf_{23}}{Ag_1h_2Ce_{34}C'c'_{71}Kf_{23}} \right], \quad (\Gamma')$$

$$\left[ \frac{Ah_2Ca_{23}C'd'_{57}C'i'_{57}Kf_{35}}{Ag_1h_2Ca_5Kf_{35}} \right], \quad (\Delta')$$

$$\left[ \frac{Ah_2i_3Ca_{23}C'd'_{23}C'i'_{57}Kf_{35}}{Ag_1h_2Ca_5Kf_{35}} \right], \quad (E')$$

$$\left[ \frac{Ah_2 Ca_{23} C' j'_{56} Ef_{23} E' d'_{57} Kf_{35}}{Ag_1 h_2 Ef_{23} E' d'_{58} Kf_{35}} \right], \quad (\text{Ж}')$$

$$\left[ \frac{Ah_2 i_3 Ca_{23} Ef_{23} E' d'_{57} Kf_{35}}{Ag_1 h_2 Ef_{23} E' d'_{58} Kf_{35}} \right], \quad (\text{И}')$$

Очевидно, что в представлении двух нижних строк комбинации записи ПУМ одинаковые комбинации  $\left( \frac{Ah_2 Ca_{23} C' j'_{57}}{Ag_1 h_2} \right)$  характеризуют одинаковые качественные свойства для  $C'b'_{57}$ ,  $C'i'_{57}$  и их из анализа можно исключить.

Таким образом, для выбора наиболее перспективного ПУМ для проходки подземных скважин бестраншейным способом из рассмотренных вариантов проанализируем комбинации:

$$\left[ \frac{C' i'_{57} Kf_{23}}{Ce_{34} C' c'_{71} Kf_{23}} \right], \quad (\text{A}'')$$

$$\left[ \frac{C' c'_{57} Kf_{23}}{Ce_{34} C' c'_{71} Kf_{23}} \right], \quad (\text{Б}'')$$

$$\left[ \frac{C' c'_{75} Kf_{23}}{Ce_{34} C' c'_{71} Kf_{23}} \right], \quad (\text{В}'')$$

$$\left[ \frac{C' d'_{75} Kf_{23}}{Ce_{34} Cc'_{71} Kf_{23}} \right], \quad (\Gamma'')$$

$$\left[ \frac{C' d'_{23} Kf_{35}}{Ca_5 Kf_{35}} \right], \quad (\text{Д}'')$$

$$\left[ \frac{Ai'_3 C' d'_{23} Kf_{35}}{Ca_5 Kf_{35}} \right], \quad (\text{Е}'')$$

$$\left[ \frac{Ef_{23} E' d'_{57}}{Ef_{23} E' d'_{58} Kf_{35}} \right], \quad (\text{Ж}'')$$

$$\left[ \frac{Ai'_3 Ef_{23} E' d'_{57}}{Ef_{23} E' d'_{58} Kf_{35}} \right]. \quad (\text{И}'')$$

Выбор комбинации с признаком  $i'_9$  будет привлекателен для ручных машин ударного действия, где желательно снизить силы отдачи и вибрации корпуса, отдавая предпочтение снижению силовых и вибрационных характеристик корпуса [3, 4]. Однако следует заметить, что пневматические машины ударного действия с энергиями единичного удара измеряемых ( $10^3 \dots 100^3$ ) кДж также будут нуждаться в гашении сил отдачи, обусловливающих значительный отход корпуса в направлении, обратном движению по трассе скважины, и может снизить скорость ее проходки.

Комбинации Ж'' и И'' предпочтительны, поскольку выпуск отработавшего воздуха осуществляется только одной камерой холостого хода, что обуславливает снижение расхода воздуха ПУМ и в большинстве случаев предпочтительно для повышения экономичности процесса проходки скважин с пневмотранспортированием части грунта на дневную поверхность.

Как было отмечено для схемы ПУМ на рис. 7, наличие признака-элемента в виде  $Ai_3$  и для схемы ПУМ на рис. 9 также можно опустить.

Из формул (А''), (Б''), (В'') и (Г'') достаточно взять для оценки (А'') и (Г''), поскольку (Г'') вмещает признаки, аналогичные (Б'') и (В''), т.е. представляют интерес признаки выполнения каналов:  $d'$  — канал-лыска для высокочастотных ПУМ и  $i'$  — канал винтовой для низкочастотного, что обусловлено скоростью заполнения рабочего объема камеры. То есть для следующего анализа остается комбинация:

$$\left[ \frac{C'd'_{57}Kf_{23}}{Ce_{34}Cc'_{17}Kf_{23}} \right] \quad (\Gamma'')$$

с возможной заменой признака-элемента  $d'$  на  $i'$ .

Из формул (Д'') и (Е'') предпочтительным будет комбинация (Д''), поскольку  $Ai_3$  — признак-элемент дополнительной камеры рабочего хода, расположенной на периферии распределительной камеры, что требует применения втулки, разделяющей обе камеры, а следовательно, усложнит конструкцию ПУМ.

Для следующего анализа остается комбинация:

$$\left[ \frac{C'd'_{23}Kf_{35}}{Ca_5Kf_{35}} \right]. \quad (\Delta'')$$

Следовательно, предпочтение можно отдать ПУМ (Ж'') на рис. 8 и рассматривать комбинацию:

$$\left[ \frac{Ef_{23}E'd'_{57}}{Ef_{23}E'd'_{58}Kf_{35}} \right] \quad (\text{Ж}'')$$

как приемлемую для применения в ПУМ машины ударного действия для проходки скважин с частичным отбором грунта по трассе.

Учитывая, что в ПУМ по схеме (Ж'') необходимо предусмотреть центральный канал в трубке для грунтопровода, необходимо ее модернизировать: за трубкой оставить функции управляемого выпуска воздуха в камеру холостого хода из распределительной камеры при взаимодействии с центральным каналом в ударнике; за трубкой оставить функции выпуска отработавшего воздуха в камеру холостого хода при взаимодействии с ударником; за ударником оставить функции перепуска воздуха из распределительной камеры в кольцевую камеру рабочего хода и перепуска из нее в камеру холостого хода при взаимодействии ударника с выточкой в корпусе. Принципиальная схема модернизированного ПУМ машины для проходки скважин с отбором грунта по трассе представлена на рис. 10.

### Дополнительные специфические рекомендации и условия при конструировании и расчете.

— Признаки  $E'd'_{57}$  и  $E'd'_{58}$ , выполненные на ударнике, более предпочтительны в сравнении с  $E'c'_{57}$  и  $E'c'_{58}$ , поскольку обладают вдвое меньшим количеством концентраторов напряжений, а следовательно, большей ударной прочностью обладает ударник. Большой прочности соответствуют и величина углов «перехода» между образующимися поверхностями: у каналов-пазов углы близки от  $> 90^\circ$  до равным  $90^\circ$ , у каналов-лысок углы  $>> 90^\circ$ .

— Если  $d'_{57}$  и  $d'_{58}$  заменить признаками  $h'_{57}$  и  $h'_{58}$  в виде кольцевых проточек, то следует ожидать упрощения технологии изготовления и снижения устойчивости штоковой части ударника в ограничительном буртике корпуса или втулки.

— При назначении размеров по длине каналов перепуска на штоковой части (*a*) и на поршневой части (*b*) ударника предпочтительны одинаковые размеры:  $a = b$  (см. рис. 10).

— Длина впускной части (*c*) канала впуска в камеру холостого хода не должна превышать длины до отсекающей кромки канала выпуска (*d*) с целью предотвращения непроизводительного расхода (из сети в атмосферу):  $c \leq d$ . В итоге  $d > c > a = b$  (см. рис. 10).

Рабочий процесс синтезированного ПУМ следующий.

После включения пускового устройства воздух из сети поступает по воздухопроводящему каналу 20 в крышке 2 крепежного стакана в предкамеру 21 сетевого воздуха. Далее через отверстия 22 подвода воздуха в кольцевом фланце 23 крышки 2 воздух поступает в распределительную камеру 13. Из кольцевой распределительной камеры 13 по каналу-пазу 18, образованному боковой поверхностью трубы 7 и стенкой сквозного осевого отверстия 6 в штоковой части 4 ступенчатого ударника 3 и его поршневой части 5, поступает в камеру 10 холостого хода. Одновременно сжатый воздух из распределительной камеры 13 по каналу-пазу 18, вскрытыму со стороны распределительной камеры 13, поступает в кольцевую камеру 12 рабочего хода, из

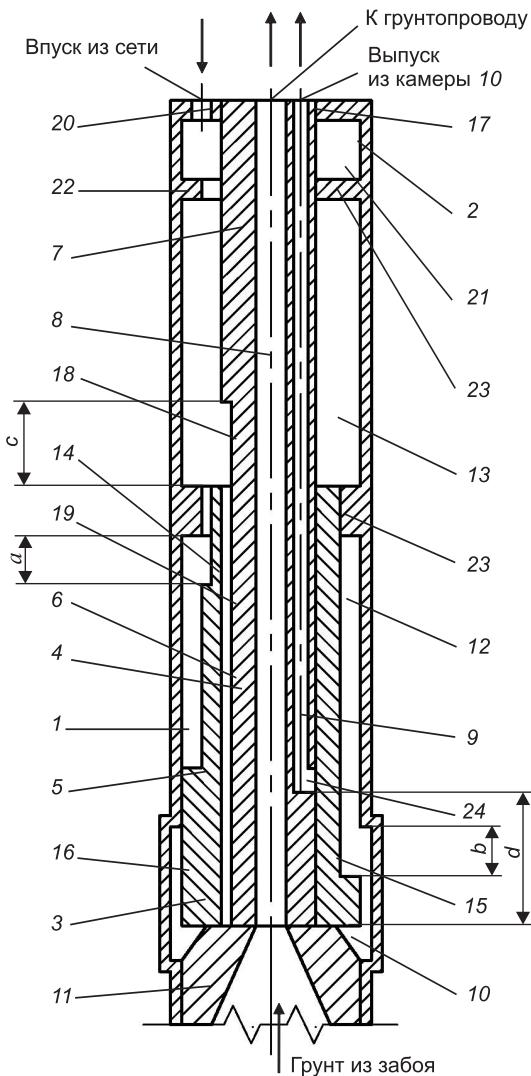


Рис. 10. Принципиальная схема ПУМ

которой одновременно перепускается по каналу-пазу 15, вскрытыму с ее стороны, в камеру 10 холостого хода. Канал-паз 15 ограничен по перепуску воздуха отсекающей кромкой выточки 16 камеры 10 холостого хода.

В начале движения при холостом ходе ступенчатого ударника 3 под действием давления воздуха со стороны камеры 10 холостого хода перепуск воздуха между распределительной камерой 13, кольцевой камерой 12 рабочего хода и камерой 10 холостого хода осуществляется в зависимости от положения ступенчатого ударника 3 при одинаковой протяженности каналов-пазов 14 и 15 на ступенчатом ударнике 3 и канала-паза 18 на боковой поверхности трубы 7.

После перекрытия каналов-пазов 15, 14 и 18 в распределительной камере 13 давление воздуха повышается за счет его поступления через отверстия 21 подвода в фланце 22 из предкамеры 13. Одновременно в кольцевой камере 12 рабочего хода осуществляется сжатие отсеченного в ней воздуха, а в камере 10 холостого хода осуществляется расширение воздуха, поступившего в нее в период перепуска из распределительной камеры 13.

При последующем движении ступенчатый ударник 3 своей поршневой частью 5 со стороны камеры 10 холостого хода откроет выпускной радиальный канал 24 в трубке 7 и посредством продольного канала 9 в трубке 7 камера 10 холостого хода сообщится с атмосферой или закорпунским пространством, в результате чего в камере 10 холостого хода давление воздуха понизится до атмосферного.

Исчерпав разницу импульса давления воздуха со стороны камеры 10 холостого хода и импульса противодавления воздуха со стороны кольцевой камеры 12 рабочего хода и распределительной камеры 13, ступенчатый ударник 3 затормозит свое движение и остановится в расчетном положении. Сразу же под действием импульса давления воздуха со стороны распределительной камеры 13 на торец штоковой части 4 и со стороны кольцевой камеры 12 на кольцевую площадь поршневой части 5 ступенчатого ударника 3 последний начнет движение в сторону камеры 10 холостого хода, совершая рабочий ход.

При последующем движении ступенчатый ударник 3 своей торцевой поверхностью со стороны камеры 10 холостого хода перекроет выпускной радиальный канал 24 в трубке 7 и в камере 10 холостого хода начнется процесс сжатия отсеченного в ней воздуха. Отмеченный период времени характеризуется частичным расширением воздуха в распределительной камере 13 и чистым расширением воздуха в кольцевом объеме камеры 12 рабочего хода.

Совершая последующее движение в сторону наковальни 11, ступенчатый ударник 3 откроет выпускные каналы-пазы 18 на трубке 7 и каналы-пазы 14 на штоковой части 4 и поршневой части 5 и после открытия канала-паза 15 отсекающей кромкой выточки 16 камеры 10 холостого хода.

В результате открытия каналов-пазов 14 сжатый воздух из распределительной камеры 13 будет поступать в камеру 10 холостого хода, а по каналам-пазам 14 на штоковой части 4 в кольцевую камеру 12 рабочего хода и по перепускным каналам-пазам 15 на поршневой части 5 ступенчатого ударника 3 в камеру 10 холостого хода.

Преодолевая сопротивление от противодавления воздуха со стороны камеры 10 холостого хода, ступенчатый ударник 3 наносит удар по наковальне 11.

Рабочий процесс после соударения ступенчатого ударника 3 с наковальней 11 будет повторяться с той разницей, что холостой ход ударника будет осуществляться за счет импульса сил давления воздуха и импульса отскока ступенчатого ударника 3 от наковальни.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А б р а м е н к о в , Э.А. Пневматические механизмы машин ударного действия: дроссельные, струйные, беззолотниковые, бесклапанные [Текст]: справ. пособие / Э.А. Абраменков, Д.Э. Абраменков. — Новосибирск : Изд-во Новосиб. ун-та, 1993. — 430 с.
2. К у т у м о в , А.А. Навесные пневматические молоты для разработки мерзлых грунтов [Текст]: монография / А.А. Кутумов, Д.Э. Абраменков, Э.А. Абраменков. — Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2008. — 376 с.
3. А б р а м е н к о в , Э.А. Создание ручных пневматических машин ударного действия с дроссельным воздухораспределением [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Э.А. Абраменков. — Новосибирск, 1989. — 48 с.
4. А б р а м е н к о в , Д.Э. Теория дроссельных пневматических механизмов и разработка типоразмерного ряда ручных машин ударного действия для строительства [Текст] : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Д.Э. Абраменков. — Омск, 2004. — 45 с.
5. А б р а м е н к о в , Д.Э. Пневмоударный механизм дроссельно-бесклапанного типа и его физико-математическое описание [Текст] / Д.Э. Абраменков, Э.А. Абраменков, В.А. Гвоздев, В.А. Крапивец, М.С. Малышев // Изв. вузов. Строительство. — 2014. — № 8. — С. 47–52.
6. Пат. 2477778 РФ. Пневматический ударный механизм [Текст] / Д.Э. Абраменков, Э.А. Абраменков, А.В. Грузин, Е.И. Крутиков, А.В. Куликов, Р.В. Чичканов. — Опубл. 2013; Бюл. № 8.
7. Пат. 2504634 РФ. Пневматический ударный механизм [Текст] / Д.Э. Абраменков, Э.А. Абраменков, А.В. Грузин, А.С. Дедов, Е.И. Крутиков, А.В. Куликов, М.В. Широких. — Опубл. 2014; Бюл. № 2.
8. Пат. 2504635 РФ. Пневматический ударный механизм [Текст] / Д.Э. Абраменков, Э.А. Абраменков, А.В. Грузин, А.С. Мельникова, Е.И. Крутиков, А.В. Куликов, А.С. Попова. — Опубл. 2014; Бюл. № 2.

*АБРАМЕНКОВ Дмитрий Эдуардович, д-р техн. наук, проф.*

*Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск*

*АБРАМЕНКОВ Эдуард Александрович, д-р техн. наук, проф.*

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)*

*ВИГОВСКАЯ Татьяна Юрьевна, канд. техн. наук, доц.*

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)*

*КУТУМОВ Алексей Анатольевич, директор*

*Рубцовский индустриальный институт, филиал Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, г. Барнаул*

*ШАБАНОВ Рамазан Шабанович, канд. техн. наук, доц.*

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)*

Получено 24.11.14

**Abramenkov Dmitriy Eduardovich**, doctor of technical sciences, professor, Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

**Abramenkov Eduard Alexandrovich**, doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

**Vigovskaya Tatyana Yurevna**, candidate of technical sciences, assistant professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

**Kutumov Alexey Anatolyevich**, director of the Rubtsovsk Industrial Institute, branch of Altay State Technical University of I.I. Polzunov, Barnaul, Russia

**Shabanov Ramazan Shabanovich**, candidate of technical sciences, assistant professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

## **SYNTHESIS AND ANALYSIS OF PNEUMATIC PERCUSSIONS MECHANISMS AT THE CHOICE AND THEIR JUSTIFICATION SCHEMATIC DIAGRAM**

Classification of additional constructive signs of elements of pneumatic shock mechanisms is considered. The method of an assessment of constructive solutions of mechanisms is offered.

**Key words:** pneumatic shock mechanisms, schematic diagram, camera of network air, camera of the working course, idling camera, step drummer.

### **REFERENCES**

1. Abramakov, E.A. Pneumatic mechanisms of cars of shock action: throttle, jet, bezzolotnikovy, avalvulvar [Text]: a help grant / E.A. Abramakov, D.E. Abramakov. — Novosibirsk : Publishing house Novosib. un-ta, 1993. — 430 p.
2. Kutumov, A.A. Hinged pneumatic hammers for development of frozen soil [Text]: monographs / A.A. Kutumov, D.E. Abramakov, E.A. Abramakov. — Novosibirsk : NSUACE (Sibstrin), 2008. — 376 p.
3. Abramakov, E.A. Creation of manual pneumatic machines of shock action with a throttle vozdukhoraspredeleniyem [Text]: avtoref. dis. ... doctor of technical sciences / E.A. Abramakov. — Novosibirsk, 1989. — 48 p.
4. Abramakov, D.E. The theory of throttle pneumatic mechanisms and development of a tiporazmerny number of manual cars of shock action for construction [Text] : avtoref. dis. ... doctor of technical sciences / D.E. Abramakov. — Omsk, 2004. — 45 p.
5. Abramakov, D.E. Pneumoshock mechanism of throttle and avalvulvar type and its physical and mathematical description [Text] / D.E. Abramakov, E.A. Abramakov, V.A. Gvozdev, V.A. Krapivets, M.S. Malyshev // News of Higher Education Institutions. Construction. — 2014. — N 8. — P. 47–52.
6. Pat. 2477778 Russian Federation. Pneumatic shock Mechanism [Text] / D.E. Abramakov, E.A. Abramakov, A.V. Gruzin, E.I. Krutikov, A.V. Kulikov, R.V. Chichkanov. — Opubl. 2013; Bull. N 8.
7. Pat. 2504634 Russian Federation. Pneumatic shock Mechanism [Text] / D.E. Abramakov, E.A. Abramakov, A.V. Gruzin, A.S. Dedov, E.I. Krutikov, A.V. Kulikov, M.V. Shirokikh. — Opubl. 2014; Bull. N 2.
8. Pat. 2504635 Russian Federation. Pneumatic shock Mechanism [Text] / D.E. Abramakov, E.A. Abramakov, A.V. Gruzin, A.S. Melnikova, E.I. Krutikov, A.V. Kulikov, A.S. Popova. — Opubl. 2014; Bull. N 2.

## **НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ**

**УДК 711.4(571.1)**

**О.А. МАНАЦКОВА**

### **КУЛЬТОВЫЕ СООРУЖЕНИЯ В ПЛАНИРОВОЧНОЙ СТРУКТУРЕ СОВРЕМЕННЫХ КРУПНЫХ ГОРОДОВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

Статья посвящена рассмотрению взаимосвязей сакральных православных сооружений с ландшафтом, застройкой и планировочной структурой исторических городов Сибири. В качестве наиболее ярких примеров таких городов были взяты Томск, Барнаул и Омск.

**Ключевые слова:** сакральные православные сооружения, ландшафт, архитектурные доминанты.

Первые сибирские города возникли в конце XVI — начале XVII в. как форпосты Российского государства на новых расширяемых территориях России. Томск, например, был четырнадцатым городом-крепостью, основанным по приказу Бориса Годунова (рис. 1).

Анализ показывает, что при дальнейшем развитии города в конце XVIII — начале XX в. значительное внимание уделялось взаимосвязи сакральных сооружений с окружающей застройкой, местоположению храмов в планировочной структуре. Общая градостроительная политика Российского государства, проводившаяся в конце XVIII в., предполагала регулярность в планировках всех российских городов.

Вторая половина XVIII в. была важной вехой не только в градостроительстве европейской территории России, но и Сибири, так как происходила реконструкция городов, приобретавших генеральные планы, согласно которым создавался градостроительный каркас — главные улицы, площади, магистрали, в результате чего начала активно развиваться ансамбливость застройки.

В Западной Сибири такими городами были Тюмень, Тобольск, Томск, Барнаул, позже Омск и др.

В результате градостроительных работ в конце XVIII — первой половине XIX в. создавались ансамбли площадей, доминирующими в которых были православные храмы.

Застойка площадей связывалась с застройкой улиц, подходящих к этим площадям по своим стилевым особенностям, отвечающих как требованиям своего времени, так и гармоничной композиции.

Планировочная система исследуемых городов была, как и всех других, линейной, формировалась вдоль речных магистралей с учетом особенностей природного ландшафта и рельефа местности. Историческое ядро города, его центр были включены в нее.



Рис. 1. Карта Сибири с городами-крепостями (по Ремезову)

При гармоничном использовании элементов ландшафта и застройки города организовывалось размещение доминант в пространстве в заданном природно-ландшафтном ритме и функционально-планировочных особенностях поселений (рис. 2).

С освоением территории Сибири в XVII в. началось храмостроительство.

Значительную роль в панорамах и силуэтах городов играли сакральные сооружения — православные храмы, расположенные на визуально выигрышных местах, они подчеркивали особенности рельефа, создавали гармоничную вертикальную композицию, отмечая своим местоположением значимые места города, а со стороны водного пространства — образуя доминанты в «речном фасаде» поселений.

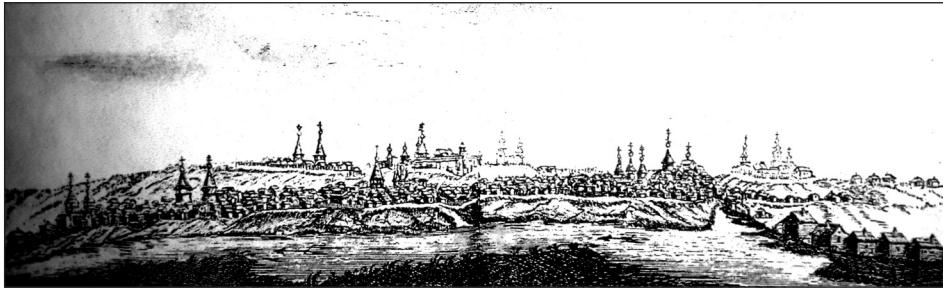


Рис. 2. Панорама Томска. Гравюра М.И. Махаева. XVIII в.

В историческом городе застройка была в основном малоэтажная. Использовались такие материалы, как дерево и в XVIII в. кирпич. Храмы в архитектурно-пространственной композиции всегда доминировали. Это касается в особенности таких городов Сибири, как Томск, Омск, Барнаул.

После революции 1917 г. многие сакральные сооружения, доминирующие в силуэте города, были или разрушены, или перефункционированы, исчезла гармоничность вертикальной композиции, связанной с ландшафтно-природным ритмом. Немногие сохранились благодаря их использованию не по назначению — как цеха, склады, архивы, жилые дома. Некоторые из них в последнее время были восстановлены и переданы верующим.

Во второй половине XX в. в структуре городов Томска, Омска, Барнаула появились девятиэтажные дома вне связи с природным рельефом, которые не способствовали созданию гармоничной вертикальной композиции, так как их размещение носило случайный характер (занимали свободное от застройки место в планировочной структуре города).

С повышением духовной культуры населения возникла необходимость строительства новых храмов. Центральная часть застраивалась другими зданиями с другими функциями.

Учитывалось их расположение в заданном ландшафтном ритме. На фоне плотной жилой невысокой застройки прежде всего выделялись высокоэстетичные доминанты сакральных сооружений, расположенных как вблизи речного пространства, так и в глубине застройки, подчеркивая ее компактность и масштабность. Основная застройка была деревянная, а храмы каменные, что тоже выделяло их как доминанты.

Сакральные сооружения играли большую роль в визуальном восприятии городов. Храмы, церкви, выделяющиеся среди окружающей застройки, формируют панораму и силуэт города.

В прошлом зодчие сосредотачивали свое внимание на вертикальных доминантах, создающих силуэт города.

Исторический город за счет контрастности форм (объем храма внизу и изящное завершение вертикали) обязан был выражать всю свою мощь. Композиция постепенно развивалась кверху.

Архитектурные доминанты располагались с учетом рельефа, объединялись, образуя гармоничные ансамбли, подчеркивали планировочно значимые места.

В ландшафтном отношении центральная часть города обычно занимает наиболее интересное место, связанное с началом города, — крутой берег, холм, излучина реки [1]. В таком месте и является логичным расположение сакрального сооружения как центра архитектурной композиции.

Для сибирского города более характерной является цепочка линейного композиционного построения: низкая и плотная застройка по бровке берега, а в глубине территории вертикали храмов, фиксирующие глубину пространственной композиции [2] (рис. 3).

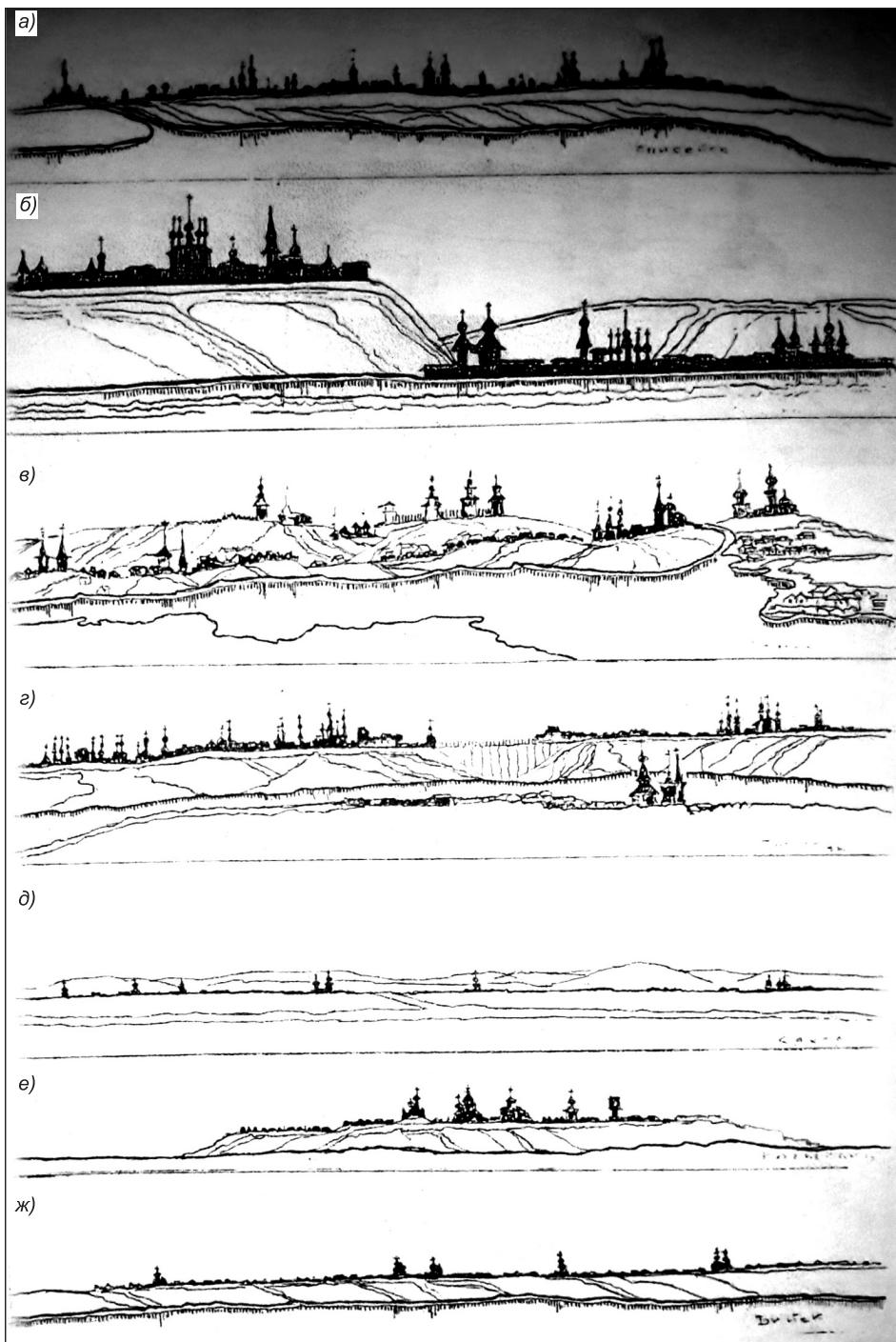


Рис. 3. Панорамы сибирских городов

а — Енисейск, б — Тобольск, в — Томск, г — Тюмень, д — Кяхта, е — Колывань, ж — Бийск

Структурно-планировочные узлы города, группируясь по линиям скоростного общественного транспорта, формируют направления преимущественного развития планировочной структуры крупного города. На смену равномерному территориальному росту крупных городов пришла направленная планировочная структура с размещением основных объектов нового строительства на нескольких направлениях, поддержанных мощным и скоростным транспортом [3].

В настоящее время под влиянием коренных перемен в социальной и культурной сфере общества в России происходит процесс возрождения религиозной жизни и восстановления памятников архитектуры культового наследия прошлого, а также бурное строительство новых храмов и монастырских комплексов.

В 90-е годы XX в. и особенно в начале XXI в. началось восстановление утраченных храмов, их колоколен. Большое внимание в крупных исследуемых городах было обращено на прибрежную территорию, где возведены многоэтажные комплексы, формирующие застройку со стороны реки.

При оценке городских территорий с точки зрения расположения сакральных сооружений важнейшее значение приобретает положение в транспортно-коммуникационной структуре. Практически все крупные сакральные сооружения в рассматриваемых городах находятся в узлах основных транспортных потоков, что можно проследить, оценив карту города.

Главная магистраль внутригородского района формируется вдоль наиболее протяженной оси со скоростным движением.

С центральной частью города связаны сложнейшие градостроительные проблемы сочетания нового и старого, обновления и реставрации взаимодействия старого в новом и нового в старом [3].

Эстетические качества архитектуры сакральных сооружений не должны пропадать при фрагментарном (не целостном) восприятии, а наоборот, усиливаться.

Между архитектурными стилями сакрального сооружения и зданиями, располагающимися на его площади, должна соблюдаться сложная система отношений. Должно быть отношение дополнительности.

Ведь ансамбль, если он сложился, большей частью соединяет разные здания в отношении объемной композиции, стиля, цвета, и то, что они вдруг составляют целое, воспринимается как апофеоз архитектурного мастерства.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вольская, Л.Н. Градостроительное наследие Сибири [Текст]: учеб. пособие. — Новосибирск : НГАХА, 1996. — 90 с.
2. Вольская, Л.Н. Архитектурно-градостроительное наследие Сибири [Текст] / Л.Н. Вольская. — Новосибирск : НГАХА, 2008. — 240 с.
3. Ильвицкая, С.В. Эволюция православной культовой архитектуры [Текст] : иллюстр. учеб. пособие / С.В. Ильвицкая; под ред. проф. И.Н. Иванова. — М. : ГУЗ, 2011. — 96 с.
4. Акимова, М.И. Формирование и развитие главной площади городов Западной Сибири (конец XVI — начало XX в.) [Текст]: автореф. дис. / М.И. Акимова. — Новосибирск, 2010.

МАНАЦКОВА Ольга Александровна, асп.; E-mail: Olgamanatskova@mail.ru  
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет  
(Сибстрин)

Получено 10.11.14

**Manatskova Olga Alexandrovna**, post-graduate student; E-mail: Olga-manatskova@mail.ru, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

## **RELIGIOUS BUILDINGS IN THE LAYOUT OF THE LARGE MODERN CITIES OF WESTERN SIBERIA**

The article is devoted to consideration of the relationship of sacred Orthodox buildings with the landscape, building and planning structure of the historic cities of Siberia. As the most striking examples of such cities were taken Tomsk, Barnaul and Omsk.

**Key words:** orthodox sacred buildings, landscape, architectural dominants.

### **REFERENCES**

1. V o l s k a y a, L.N. Urban heritage of Siberia [Text]: training manual / L.N. Volskaya. — Novosibirsk : Novosibirsk State Academy of Architecture and Fine Arts, 1996. — 90 p.
  2. V o l s k a y a, L.N. Architectural and urban heritage of Siberia [Text] / L.N. Volskaya. — Novosibirsk : Novosibirsk State Academy of Architecture and Fine Arts, 2008. — 240 p.
  3. I l v i t s k a y a, S.V. The evolution of Orthodox architecture [Text]: illustrated textbook / S.V. Ilvitskaya; under the ed. of prof. I.N. Ivanova. — M., 2011. — 96 p.
  4. A k i m o v a, M.I. The formation and development of the main` squares of the cities of Western Siberia (XVI–XX) [Text] : author's abstract of the dis. / M.I. Akimova. — Novosibirsk, 2010.
-

## НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

УДК 624.012.45

В.В. АДИЩЕВ, А.Г. ДЕМЕШКИН, В.К. ШУЛЬГА, М.С. ГРАЧЕВА,  
М.Н. ДАНИЛОВ, В.В. МАЛЬЦЕВ

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОНЫ АНКЕРОВКИ АРМИРУЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА ПРИ ВЫТЯГИВАНИИ ИЗ МАТРИЦЫ

Проведены экспериментальные исследования с использованием поляризационно-оптического метода, получены распределения нормальных и касательных напряжений в матрице при вытягивании из нее армирующего элемента. Получены теоретические оценки длины зоны анкеровки, или эффективной длины армирующего элемента на основе простейшей модели Аутвотера [7]. Использован ПК ANSYS для определения зоны анкеровки. Показано, что в первом приближении зону анкеровки можно определять, используя модель типа модели Аутвотера с 20–30 % погрешностью. По данным численного эксперимента в ПК ANSYS получена зависимость длины зоны анкеровки от изменения жесткостных характеристик, которая хорошо согласуется с теорией сопротивления железобетона. Отличие результатов численного моделирования от аналитического расчета объясняется влиянием закрепления, которое не описывается в математической модели.

**Ключевые слова:** зона анкеровки, армирующий элемент, матрица, железобетон, ANSYS.

**1. Введение.** В работах [1, 2] поставлена задача о построении алгоритма «сквозного» расчета изгибающего железобетонного элемента от начала нагружения до возникновения и стабилизации трещины нормального отрыва. Для составления энергетических соотношений необходимо знать, как изменяется напряженно-деформированное состояние в окрестности трещины при ее образовании, протяженность так называемой зоны анкеровки, в которой существенно изменяется напряженно-деформированное состояние. Под зоной анкеровки понимается характерная длина участка армирующего элемента, на котором существенными являются касательные напряжения в контактном слое матрицы. Характер совместного деформирования арматуры и бетона вблизи трещины в изгибающем элементе, очевидно, такой же, как при выдергивании арматуры из бетонного массива.

Распределение касательных напряжений по длине стержня в окрестности трещины нормального отрыва в изгибающем элементе соответствует решению, полученному при решении задачи о выдергивании арматурного стержня из массива бетона.

Существующая «техническая теория сцепления» [3] не позволяет получить адекватные физическому процессу решения. Задачей настоящего исследования является экспериментально-теоретическая оценка НДС на участке активного контактного взаимодействия армирующего элемента с матрицей связующего. Имеется достаточное количество публикаций [4–6], рассматривающих аналогичные задачи с использованием моделей типа модели Аутвотера [7].

С использованием поляризационно-оптического метода [8] экспериментально получены распределения нормальных и касательных напряжений вблизи пограничного слоя матрицы при вытягивании из нее армирующего элемента.

**2. Теоретическая оценка зоны анкеровки.** В первом приближении для оценки зоны анкеровки предлагается математическая модель, позволяющая оценить распределение напряжений в контактном слое связующего с армирующим элементом при воздействии на последний вытягивающего усилия. При этом по всей длине контакта предполагается «жесткое» сцепление армирующего элемента с матрицей, что соответствует модели Аутвотера. В процессе увеличения вытягивающего усилия, приложенного к армирующему элементу, по некоторому участку границы контакта происходит нарушение «жесткого» сцепления. Считается, что взаимодействие армирующего элемента и контактного слоя связующего материала на этом участке осуществляется за счет сил трения с интенсивностью  $q$ .

Рассмотрим полубесконечную пластину, в которой замоноличен стержень (рис. 1, а). К стержню приложено вытягивающее усилие  $N$ . Совместное деформирование по всей поверхности контакта (длина  $l_1$ ) осуществляется за счет адгезионных связей и зацепления материала матриц выступов (если стержень имеет периодический профиль).

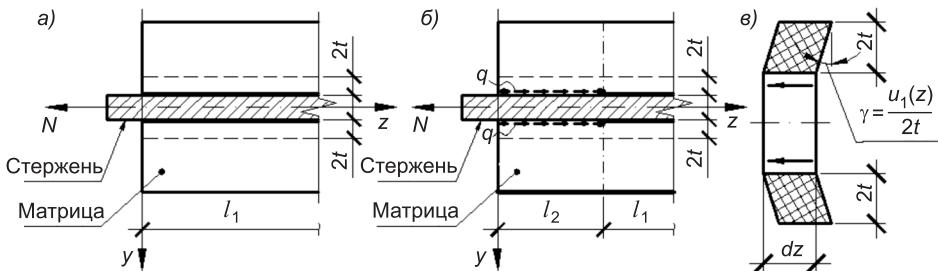


Рис. 1. Участок образца с «жестким» сцеплением армирующего элемента и матрицей (а); участок образца с нарушенным сцеплением армирующего элемента и матрицы (б); элемент под нагрузкой (в)

Уравнение равновесия для стержня (рис. 1, в) в соответствии с гипотезами Аутвотера [7] имеет вид

$$dN = 2\tau bdz,$$

где  $b$  — толщина стержня;  $\tau$  — касательные напряжения в контактном слое.

С учетом закона Гука получим

$$\frac{dN}{dz} = 2bG_A\gamma,$$

где  $G_A$  — модуль сдвига материала матрицы;

$\gamma = \frac{u_1(z)}{2t}$  — деформация сдвига;

$u_1(z)$  — перемещение сечения с координатой  $z$ ;

$t$  — половина толщины контактного слоя связующего.

Уравнение равновесия для стержня принимает вид

$$\frac{dN}{dz} - cu_1(z) = 0,$$

где  $c = G_A \frac{b}{t}$  — жесткость на сдвиг контактного слоя.

С учетом зависимостей между нормальными напряжениями, деформациями, модулями упругости и площадями поперечных сечений уравнение равновесия записывается в следующем виде:

$$\frac{d^2 u_1(z)}{dz^2} - \beta^2 u_1(z) = 0, \quad (1)$$

где  $\beta^2 = \frac{c}{E_s A_s}$ .

Общее решение дифференциального уравнения (1) имеет вид

$$u_1(z) = C_1 e^{\beta z} + C_2 e^{-\beta z}. \quad (2)$$

Перемещения  $u_1$  ограничены по длине границы контакта, поэтому можно считать  $C_1 = 0$ .

Рассмотрим равновесие пластины в случае, когда вытягивающее усилие  $N$  достигло значения  $P_{crc}$ , которое соответствует касательным напряжениям  $\tau$  в пограничном слое, превышающим сопротивление сдвига связующего  $R_{sh}$ , т. е. произошло нарушение сцепления на участке длиной  $l_2$ . Совместное деформирование связующего и вырываемого стержня на участке  $l_2$  осуществляется за счет сил трения интенсивностью  $q$  (рис. 1, б).

Уравнение равновесия для стержня на участке фрикционного взаимодействия записывается в следующем виде

$$\frac{dN}{dz} = -q$$

или

$$\frac{d^2 u_2(z)}{dz^2} = -\frac{q}{E_s A_s}. \quad (3)$$

Общее решение дифференциального уравнения (3):

$$u_2(z) = -\frac{qz^2}{2E_s A_s} + \bar{C}_1 z + \bar{C}_2. \quad (4)$$

Таким образом, перемещения стержня выражаются для участков с нарушенным сцеплением  $u_2(z)$  и с «жестким» сцеплением  $u_1(z)$  формулами:

$$\begin{cases} u_2(z) = -\frac{qz^2}{2E_s A_s} + \bar{C}_1 z + \bar{C}_2; \\ u_1(z) = C_2 e^{-\beta z}. \end{cases} \quad (5)$$

Склейка полученных решений осуществляется из условий равенства перемещений и деформаций при  $z = l_2$ :

$$\begin{cases} \left. \frac{du_1(z)}{dz} \right|_{z=l_2} = \left. \frac{du_2(z)}{dz} \right|_{z=l_2}; \\ u_1(l_2) = u_2(l_2) = u, \end{cases} \quad (6)$$

если

$$\begin{cases} -\frac{ql_2^2}{2E_s A_s} + \overline{C}_1 l_2 + \overline{C}_2 = C_2 e^{-\beta l_2}; \\ -\frac{q}{E_s A_s} l_2 + \overline{C}_1 = -\beta C_2 e^{-\beta l_2}. \end{cases} \quad (7)$$

Система уравнений (7) содержит неизвестные  $\overline{C}_1, \overline{C}_2, C_2, l_2$ .

Константы интегрирования  $\overline{C}_1$  и  $C_2$  находятся из краевого условия для деформаций при  $z = 0$  и условия нарушения сцепления  $\tau(l_2) = -R_{sh}$ .

$$\begin{cases} \left. \frac{du_2(z)}{dz} \right|_{z=0} = \frac{P_{crc}}{E_s A_s}; \\ R_{sh} = -\frac{u_1(l_2)}{t} G_A = -\frac{C_2 e^{-\beta l_2}}{t} G_A. \end{cases} \quad (8)$$

Константы  $\overline{C}_1$  и  $C_2$ :

$$\begin{cases} \overline{C}_1 = \frac{P_{crc}}{E_s A_s}; \\ C_2 = -\frac{R_{sh} t}{e^{-\beta l_2} G_A}. \end{cases} \quad (9)$$

Окончательно

$$\begin{cases} \overline{C}_1 = \frac{P_{crc}}{E_s A_s}; \\ \overline{C}_2 = -\frac{R_{sh} t}{G_A} + \frac{ql_2^2}{2E_s A_s} - \frac{P_{crc}}{E_s A_s} l_2; \\ C_2 = -\frac{R_{sh} t}{e^{-\beta l_2} G_A}; \\ l_2 = E_s A_s q^{-1} \left( \frac{N}{E_s A_s} - \beta \frac{R_{sh} t}{G_A} \right). \end{cases} \quad (10)$$

Выражения для перемещений, деформаций и напряжений для двух участков принимают вид:

$$\begin{cases} u_2(z) = \frac{q}{2E_s A_s} (l_2^2 - z^2) + \frac{P_{crc}}{E_s A_s} (z - l_2) - \frac{R_{sh} t}{G_A}; \\ u_1(z) = -\frac{R_{sh} t}{e^{-\beta l_2} G_A} e^{-\beta z}, \end{cases} \quad (11)$$

$$\begin{cases} \varepsilon_{2s} = \frac{du_2(z)}{dz} = \frac{(P_{crc} - qz)}{E_s A_s}; \\ \varepsilon_{ls} = \frac{du_1(z)}{dz} = \beta \frac{R_{sh} t}{e^{-\beta l_2} G_A} e^{-\beta z}, \end{cases} \quad (12)$$

нормальные напряжения  $\sigma$  в стержне и касательные напряжения  $\tau$  в матрице:

$$\begin{cases} \sigma_{2s} = \frac{(P_{crc} - qz)}{A_s}; \\ \sigma_{ls} = E_s \beta \frac{R_{sh} t}{e^{-\beta l_2} G_A} e^{-\beta z}; \\ \tau = \gamma G_A = \frac{u_1(z)}{t} G_A. \end{cases} \quad (13)$$

Параметр  $\beta$  в уравнениях систем (11)–(13) может быть определен экспериментальным путем.

Деформация стержня при  $0 \leq z \leq l_1$ :

$$\varepsilon_{ls} = -\beta C_2 e^{-\beta z}.$$

Длина зоны краевого эффекта соответствует деформации  $\varepsilon_{crc}$ , а  $\varepsilon_0$  — значению деформаций в месте приложения усилия, тогда система уравнений для определения деформаций в начале ( $z_0$ ) и в конце ( $z_{crc}$ ) зоны краевого эффекта примет вид

$$\begin{cases} \varepsilon_0 = -\beta C_2 e^{-\beta z_0}, \\ \varepsilon_{crc} = -\beta C_2 e^{-\beta z_{crc}}. \end{cases} \quad (14)$$

Решив систему уравнений (14), получим

$$\beta = \frac{\ln\left(\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_{crc}}\right)}{z_1 - z_0}. \quad (15)$$

Формулу (15) удобно использовать только для оценки  $\beta$  с помощью программных комплексов, так как формула содержит деформации в начале ( $\varepsilon_0$ ) и конце ( $\varepsilon_{crc}$ ) зоны краевого эффекта, а также непосредственно длину зоны краевого эффекта ( $z_1 - z_0$ ). В качестве параметров  $\varepsilon_0$  и  $\varepsilon_{crc}$  могут приниматься показания тензодатчиков.

Величина  $t$  — половина толщины сдвигаемого слоя связующего, определяется по формуле

$$t = \frac{G_A b}{E_s A_s \beta^2}. \quad (16)$$

**3. Экспериментальное исследование.** С целью апробации предлагаемой математической модели проведено экспериментальное и численное исследование напряженно-деформированного состояния опытных образцов — пластин с замоноличенными армирующими элементами (рис. 2).

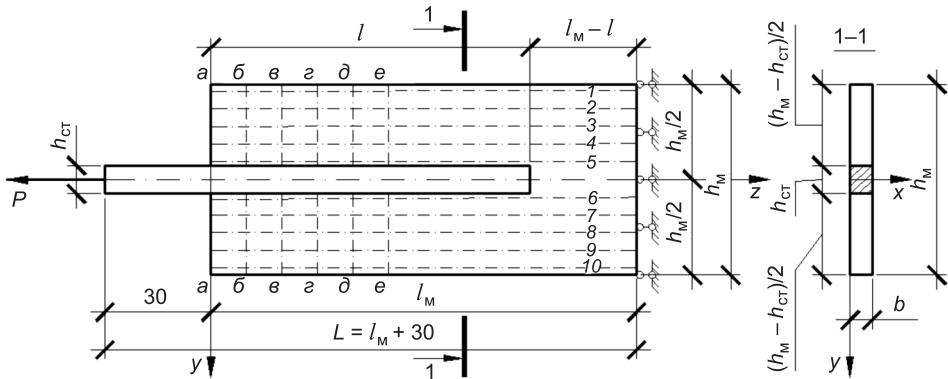


Рис. 2. Схема опытного образца с расчетными сечениями

Основные параметры опытных образцов: связующий материал — фенолформальдегид «Хромвинил V-276»; армирующий элемент — стеклопластик «АГ-4С». Соотношение предельных сопротивлений ( $R_{ct}$ ,  $R_m$ ):

$$\frac{R_{ct}}{R_m} \approx \frac{500[\text{МПа}]}{40[\text{МПа}]} \approx 12,5.$$

Остальные параметры для трех видов образцов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Исходные характеристики исследуемых образцов

№ п/п	Геометрические характеристики, мм					Процент армирования $\mu$ , %	Модуль Юнга, МПа		$\frac{E_{ct}}{E_m}$
	$h_m$	$h_{ct}$	$b$	$l$	$l_m$		$E_m$	$E_{ct}$	
1	54	8	6	90	120	14,8	3500	35000	10
2	48	7	5	90	120	14,6	3500	50000	14
3	54	8	6	90	90	14,8	3500	35000	10

Растягивающая нагрузка  $P$  прикладывается к свободному концу стержня с фиксацией матрицы с противоположной стороны. Ступень нагружения 250 Н. Максимальное значение усилия  $P_{max} = 2500$  Н.

Для определения напряжений и деформаций назначены продольные сечения (1–10) с шагом 5 мм и поперечные (a–e) с шагом 10 мм (см. рис. 2).

**3.1. Эксперимент.** Сцепление армирующего элемента с матрицей обеспечивается адгезией [5] и механическим контактом. Для усиления сцепления армирующего элемента с матрицей на поверхности стержня созданы канавки радиусом  $r = 0,5$  мм с шагом 20 мм.

Физический эксперимент проведен с образцами № 1, 2 с использованием тензометрической станции для определения продольных деформаций стержня и метода нелинейной фотоупругости для получения полей напряжений в матрице. В ходе проведения эксперимента в ненагруженных образцах были обнаружены полосы интерференции, свидетельствующие о наличии остаточных напряжений, возникших в результате усадки связующего при твердении.

В табл. 2 указаны координаты расположения четырех тензодатчиков (T1, T2, T3, T4), наклеенных на армирующий элемент (см. рис. 2).

В результате эксперимента получены эпюры касательных ( $\tau_{zy}$ ) и нормальных напряжений ( $\sigma_z$ ) для усилий  $P = 0 \div 2500$  Н в сечениях 2, 3, 4, 7, 8, 9 (рис. 3).

Таблица 2. Координаты  $z$  расположения тензодатчиков

Тензодатчик	T1	T2	T3	T4
Расположение датчиков, м	0,003	0,030	0,053	0,082

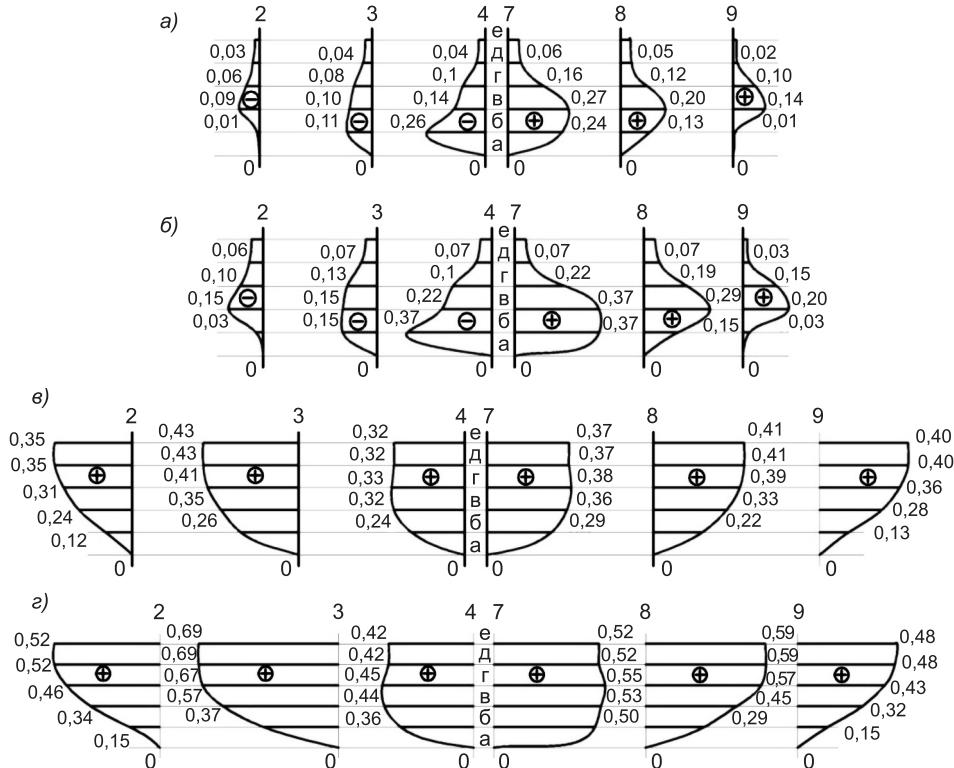


Рис. 3. Напряжения в образце № 1

а — касательные  $\tau_{xy}$  при  $P = 0$  Н; б — касательные  $\tau_{xy}$  при  $P = 500$  Н; в — нормальные  $\sigma_z$  при  $P = 0$  Н; г — нормальные  $\sigma_z$  при  $P = 500$  Н

Установлено, что независимо от величины нагрузки  $P$  при  $z \geq 40$  мм касательные напряжения ( $\tau_{xy}$ ) становятся пренебрежимо малыми, а нормальные напряжения ( $\sigma_z$ ) постоянными, т.е. длина зоны анкеровки  $\approx 40$  мм.

Для образца № 2 параметр  $\beta$  определен по формуле (16) для разных сочетаний тензодатчиков. По показаниям тензометрии (первого тензодатчика) было зафиксировано проскальзывание стержня в матрице (нарушение адгезии) при нагрузке 1000 Н, что соответствует кривой «destr.» на рис. 4, б.

Значения параметра  $\beta$ , представленные в табл. 3, имеют существенный разброс. Для описания нечеткой величины  $\beta$  использован метод обработки данных [9].

Таблица 3. Значение параметра  $\beta$  [1/м] в образце № 2 для разных сочетаний тензодатчиков

$P$ , Н	T2 и T3	T2 и T4	T3 и T4
600	31,26	97,33	149,73
700	28,19	50,73	68,60
800	25,60	39,86	51,17
900	23,97	33,43	40,94
1000	22,56	30,00	35,90
destr. 1000	25,70	32,13	37,23

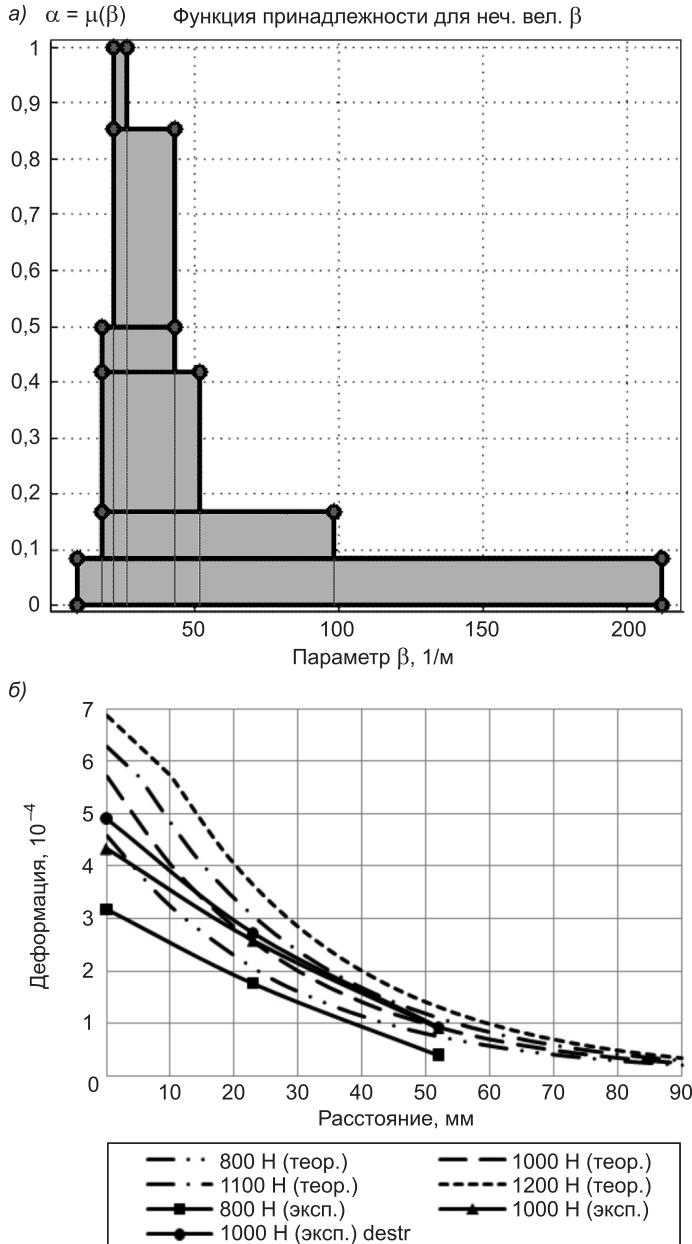


Рис. 4. Функция принадлежности для нечеткой величины  $\beta$  (а); продольные деформации в стержне в образце № 2 при  $P = 800 \div 1200$  Н (б)

Анализ функции принадлежности показал, что  $\beta \approx 35$ . Величина сдвигающего слоя  $2t$  по формуле (16) равна 6,2 мм, что соизмеримо с толщиной образца  $b = 5$  мм.

При построении кривых, полученных по математической модели (рис. 4, б), предполагалось, что при нагрузке  $P \leq 1000$  Н совместная работа армирующего элемента и матрицы происходит за счет адгезионных связей между ними (по модели Аутвоттера) [5], а при  $P > 1000$  Н образуется второй участок, на котором совместная работа арматуры и бетона осуществляется за счет фрикционного взаимодействия.

**3.2. Численный эксперимент.** Проведено численное моделирование процесса вырывания армирующего элемента из матрицы. Моделирование выполнено с помощью программного комплекса ANSYS 15.0 в рамках двумерной задачи теории упругости с учетом геометрической нелинейности.

Численное моделирование реализовано для образцов № 1, 3. Результаты расчетов, проведенных в ПК ANSYS для образца № 1, сопоставлены с экспериментальными и аналитическими данными (рис. 5, 6). Схема

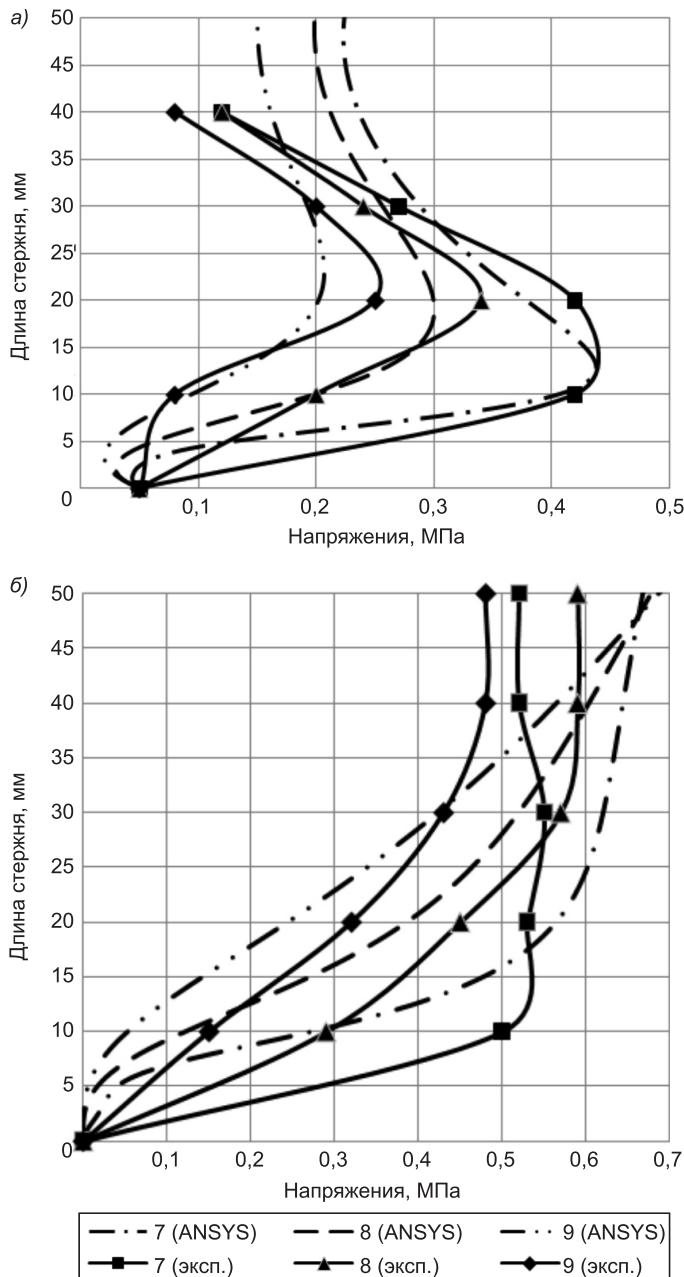


Рис. 5. Напряжения в матрице в образце № 1 при  $P = 500$  Н  
а — касательные ( $\tau_{zy}$ ); б — нормальные ( $\sigma_z$ )

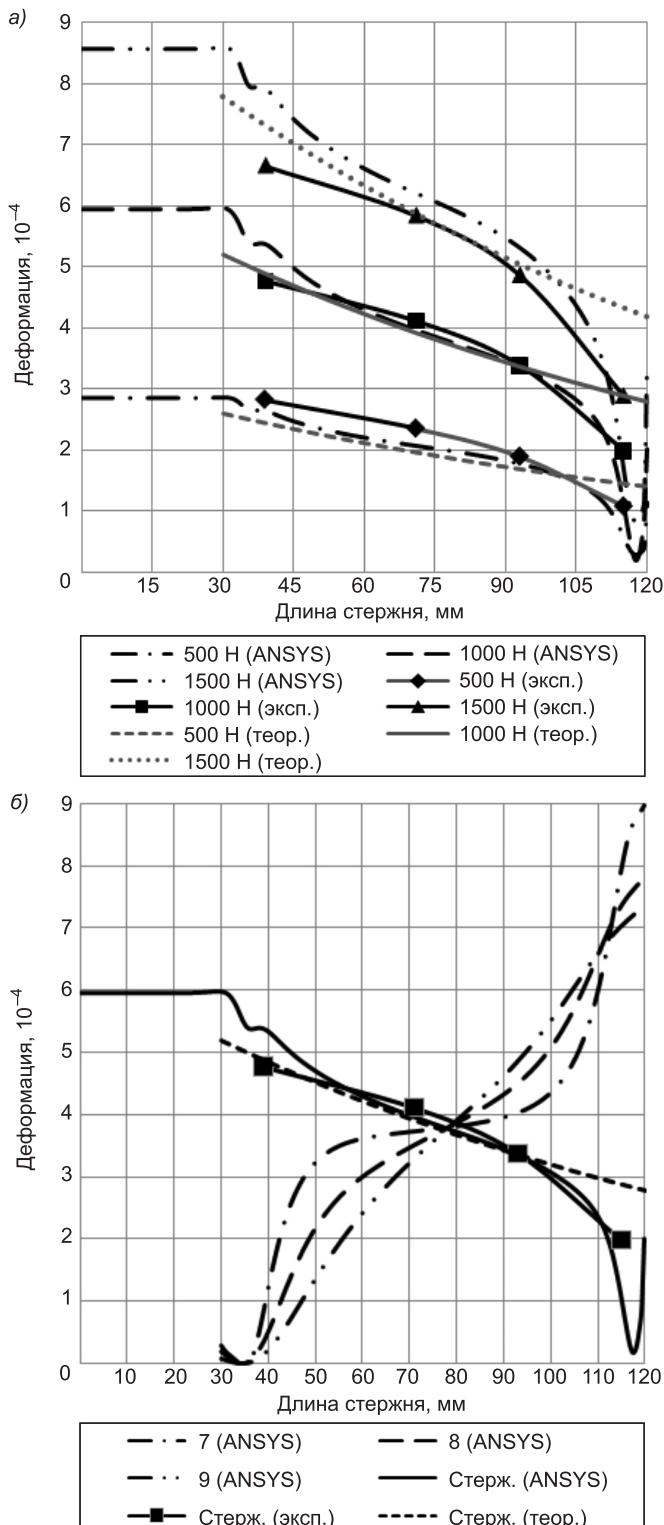


Рис. 6. Продольные деформации в образце № 1  
 а — в стержне при  $P = 500 \div 1500$  Н; б — в матрице и стержне при  
 $P = 1000$  Н

опытного образца с указанными расчетными сечениями 7, 8, 9 представлена на рис. 2.

По результатам численного моделирования в ПК ANSYS было выявлено, что зона краевого эффекта в образце № 1 составляет 44 мм, отличие от экспериментальных данных составляет  $\sim 9\%$ .

Резкое уменьшение величины продольных деформаций в правой части образца связано с конечной длиной образца, а также с использованными в расчете граничными условиями. При создании расчетной модели (см. рис. 2) приняты следующие допущения: 1) торец стержня не связан с матрицей; 2) адгезионные связи нарушены на расстоянии 5 мм от торцов стержня. Данные условия назначены на основании визуального обследования образцов в ходе эксперимента.

Длина зоны анкеровки определяется из условия равенства продольных деформаций в стержне и матрице образца, что соответствует точке пересечения кривых деформаций на рис. 6, б.

В ходе серии численных экспериментов с образцом № 3 за счет варьирования модуля Юнга матрицы связующего получена зависимость длины зоны анкеровки от отношения жесткостных характеристик (рис. 7).

В табл. 4 приведены значения длины зоны анкеровки, определенные по результатам эксперимента, данных расчета, полученных с использованием модели типа Аутвотера, и численного моделирования в программном комплексе ANSYS.

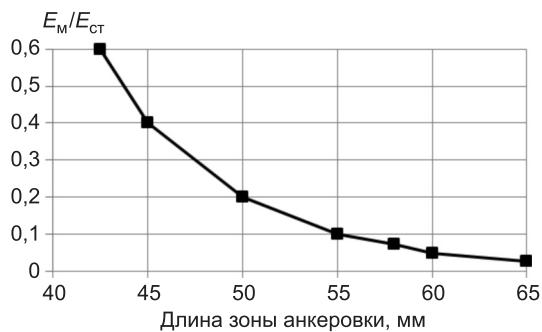


Рис. 7. Зависимость зоны анкеровки от отношения модуля упругости матрицы к модулю упругости армирующего элемента

Таблица 4. Длина зоны анкеровки, мм

№ п/п	Эксперимент	Аутвотер	ANSYS
Образец № 1	40	50 ÷ 60	40 ÷ 50
Образец № 2	50	50 ÷ 60	—
Образец № 3	—	—	50 ÷ 60

**Выводы.** 1. Проведено исследование применимости аналитической уточненной модели Аутвотера для решения задачи определения зоны анкеровки. Установлено, что в первом приближении длины зоны анкеровки может быть определена по модели Аутвотера с погрешностью 20÷30 % по сравнению с экспериментальными данными.

2. Проведенное на основе поляризационно-оптического метода экспериментальное исследование позволило подробно изучить процесс нарушения сцепления и определить с приемлемой точностью [8] напряженно-деформированное состояние вблизи пограничного слоя матрицы при вытягивании из нее армирующего элемента. В опытных образцах обнаружено наличие остаточных напряжений, учет которых позволил создать корректную численную модель.

3. По данным численного эксперимента в ПК ANSYS получена зависимость длины зоны анкеровки от изменения жесткостных характеристик, которая хорошо согласуется с теорией сцепления арматуры с бетоном [3]. Сопоставление результатов вычислительного эксперимента с экспериментальными данными показало адекватность математических моделей, заложенных в ПК ANSYS. Максимальное отклонение численных результатов от экспериментальных данных составляет 20 %.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Митасов, В.М. Основные предпосылки построения энергетической теории сопротивления железобетона [Текст] / В.М. Митасов, В.В. Адищев // Изв. вузов. Строительство. — 2010. — № 5. — С. 3–9.
2. Митасов, В.М. Основные положения энергетической теории сопротивления железобетона [Текст] / В.М. Митасов, В.В. Адищев // Изв. вузов. Строительство. — 2010. — № 6. — С. 3–7.
3. Холмянский, М.М. Контакт арматуры с бетоном [Текст] / М.М. Холмянский. — М. : Стройиздат, 1981. — 184 с.
4. Пановко, Я.Г. Механика деформируемого твердого тела [Текст] / Я.Г. Пановко. — М. : Наука, 1985. — 288 с.
5. Budiansky, B. Fiber-matrix debonding effects on cracking in aligned fiber ceramic composites [Text] / B. Budiansky, A.G. Evans, J.W. Hutchinson // International Journal of Solids and Structures. — 1995. — Vol. 32, N 3. — P. 315–328.
6. Работнов, Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела [Текст] / Ю.Н. Работнов. — М. : Наука, 1988. — 711 с.
7. Outwater, J.O. The fundamental mechanics of reinforced plastics [Text] / J.O. Outwater // ASME. — 1956. — 56 р.
8. Албаут, Г.Н. Основы методов нелинейной фотоупругости и их применение в инженерном проектировании конструкций [Текст] / Г.Н. Албаут, В.Н. Барышников. — Новосибирск : НГАСУ, 1997. — 107 с.
9. Адищев, В.В. Метод построения функции принадлежности с «прямой» обработкой исходных данных [Текст] / В.В. Адищев, Д.С. Шмаков // Труды НГАСУ. — 2013. — Т. 16, № 2 (56). — С. 45–66.

**АДИЩЕВ Владимир Васильевич, д-р техн. наук, проф.; E-mail: adishch@mail.ru**  
**Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)**

**ДЕМЕШКИН Александр Григорьевич, канд. физ.-мат. наук**  
**Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, г. Новосибирск**  
**ШУЛЬГА Виктор Константинович, инж.; E-mail: viktorsh\_kr@mail.ru**  
**Центр современного проектирования, г. Новосибирск**  
**ГРАЧЕВА Мария Сергеевна, асп.; E-mail: sanya@yandex.ru**  
**Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)**  
**ДАНИЛОВ Максим Николаевич, ассист.; E-mail: danilov-m-n@ya.ru**  
**Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)**  
**МАЛЬЦЕВ Виктор Васильевич, асп.; E-mail: malcevvikt91@yandex.ru**  
**Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)**

Получено после доработки 10.11.14

**Adishchev Vladimir Vasilievich**, doctor of technical sciences, professor; E-mail: adishch@mail.ru, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

**Demeshkin Alexander Grigorievich**, candidate of physical and mathematical sciences, Lavrentyev Institute of Hydrodynamics SB RAS, Novosibirsk, Russia

**Shulga Viktor Konstantinovich**, engineer; E-mail: viktorsh\_kr@mail.ru, Center for Contemporary design, Novosibirsk, Russia

**Gracheva Mariya Sergeevna**, post-graduate student; E-mail: sanyma@yandex.ru, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

**Danilov Maksim Nikolaevich**, assistant; E-mail: danilov-m-n@ya.ru, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

**Maltsev Viktor Vasilievich**, post-graduate student; E-mail: malcevviktor91@yandex.ru, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

## **DEFINITION OF THE ZONE OF ANCHORING OF THE REINFORCING ELEMENT WHEN PULLING FROM MATRIX**

Experimental investigations of anchorage by bond failure process were performed using the photoelastic method. Normal and shear stress distributions in the matrix were obtained during the pullout test. Theoretical estimates of lengths of the anchorage zone or the effective reinforcing element were obtained based on the simplest Outwater model [7]. The ANSYS software was used for determination of the anchorage zone. It has been shown that the anchorage zone can be determined in a first approximation to a precision of 20–30 % making use of the Outwater type model. According to the numerical experiment in PC ANSYS obtained the dependence the length of the anchorage zone for change stiffness characteristics, which is in good agreement with the theory of resistance of reinforced concrete. The difference results of numerical modeling for analytical calculation are explained by the influence of fixing, which is not described in a mathematical model.

**Key words:** the rone anchoring, reinforcing element, matrix, concrete strength, ANSYS.

## **REFERENCES**

1. Mitasov, V.M. Main preconditions of creating energy theory of reinforced concrete strength [Text] / V.M. Mitasov, V.V. Adishchev // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2010. — N 5. — P. 3–9.
2. Mitasov, V.M. Main regulations of energy theory of reinforced concrete strength [Text] / V.M. Mitasov, V.V. Adishchev // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2010. — N 6. — P. 3–7.
3. Kholmyansky, M.M. Reinforcement-concrete bond [Text] / M.M. Kholmyansky. — M. : Stroyizdat, 1981. — 184 p.
4. Panovko, Ya.G. Mechanics of deformable solids [Text] / Ya.G. Panovko. — M. : Science, 1985. — 288 p.
5. Budiansky, B. Fiber-matrix debonding effects on cracking in aligned fiber ceramic composites [Text] / B. Budiansky, A.G. Evans, J.W. Hutchinson // International Journal of Solids and Structures. — 1995. — Vol. 32, N 3. — P. 315–328.
6. Rabotnov, Yu.N. Mechanics of deformable solids [Text] / Yu.N. Rabotnov. — M. : Science, 1988. — 711 p.
7. Outwater, J.O. The fundamental mechanics of reinforced plastics [Text] / J.O. Outwater // ASME. — 1956. — 56 p.
8. Albaut, G.N. Fundamentals of nonlinear photoelasticity methods and their application in the engineering design of structures [Text] / G.N. Albaut, V.N. Baryshnikov. — Novosibirsk : NGASU, 1997. — 107 p.
9. Adishchev, V.V. The method of constructing membership functions with «direct» source data processing [Text] / V.V. Adishchev, D.S. Shmakov // Proceedings of NSUACE. — Novosibirsk : NSUACE (Sibstrin). — 2013. — Vol. 16, N 2 (56). — P. 45–66.

**УДК 624.07.014.2**

**А.В. БАРЫШНИКОВ, И.В. ХАРЛАМОВ**

## **МЕТОДИКА ПОИСКА РАЦИОНАЛЬНОЙ КОНСТРУКТИВНОЙ ФОРМЫ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАТРАТ**

Предложена методика поиска рациональной конструктивной формы металлоконструкций с учетом эксплуатационных затрат. Выбор рациональной конструктивной формы металлоконструкций позволит избежать нежелательных расходов как на стадии строительства, так и на стадии эксплуатации. Выявлены основные задачи для достижения поставленной цели. Подробно описана методика расчета долговечности элементов металлоконструкций и подбор необходимых сечений элементов для требуемого срока службы конструкции. Рассматривается пример выбора конструктивной формы металлической фермы из круглых труб при ее эксплуатации с наличием защитного покрытия, без нанесения покрытия, а также без его восстановления.

**Ключевые слова:** металлические конструкции, конструктивная форма, защитное покрытие, долговечность металлоконструкций, эксплуатационные затраты.

Неправильный выбор конструктивной формы металлоконструкций может привести к повышенным затратам как на стадии строительства, так и на стадии эксплуатации.

Встает необходимость разработки такой методики, которая позволила бы определять рациональную конструктивную форму металлических конструкций с учетом эксплуатационных расходов.

Рациональность конструктивной формы металлоконструкций определяется технико-экономическими показателями. Решающими среди них являются минимальная масса и минимальная стоимость. Снижение массы возможно за счет изменения конструктивного решения или увеличения прочности стали. Однако одно только снижение массы конструкции в большинстве случаев еще не является достаточным для применения более прочной стали [1]. Другое непременное условие — получение экономического эффекта. Экономический эффект чаще всего рассматривается проектировщиками только на момент строительства, а период эксплуатации упускается, что обусловлено сложностью и большой трудоемкостью расчетов из-за отсутствия методик подобных расчетов.

Анализ затрат на строительство и содержание зданий и сооружений необходимо проводить с учетом ремонтных и восстановительных работ, а также с учетом антакоррозионной защиты и при необходимости огнезащиты.

Для реализации поставленной цели выделены следующие основные задачи:

— выявление основных критериев, влияющих на технико-экономические показатели и рациональность конструктивной формы металлоконструкций;

---

**© Барышников А.В., Харламов И.В., 2014**

- разработка методики оценки долговечности антакоррозионной защиты;
- разработка методики оценки долговечности металлоконструкций без защитного покрытия;
- разработка программного комплекса в качестве инструмента определения наиболее рациональных конструктивных форм металлоконструкций;
- оценка эффективности разработанной методики и программного комплекса для технико-экономической оценки металлоконструкций различной конструктивной формы.

На данный момент решены основные задачи, и они реализованы в программном комплексе, на который получен сертификат. Одной из задач, которая требует детального рассмотрения, является разработка методики оценки долговечности металлоконструкций без защитного покрытия.

Но этот вариант эксплуатации приведет к увеличению сечений элементов конструкций для обеспечения несущей способности конструкции на нормативный срок эксплуатации. Под действием коррозионного износа конструкции будут терять несущую способность раньше предполагаемого периода. Для предотвращения этого случая изначально рассчитывается и закладывается большее сечение элементов конструкций. Это приведет к увеличению стоимости на строительство, но уменьшению затрат на эксплуатацию.

Согласно п. 1.2 и 1.9 СНиП П-23-81\*, в которых указано, что «увеличение толщины проката и стенок труб с целью защиты от коррозии не допускается», а также «элементы стальных конструкций должны иметь минимальные сечения», необходимо достигать максимальной экономии металла. Однако предлагаемый вариант эксплуатации противоречит этому требованию, но в то же время он может обеспечить другие требования, такие как минимальная трудоемкость и максимальная экономия средств.

Согласно п. 4.1.1 СП 16.13330.2011, актуализированной редакции СНиП П-23-81\*: «Увеличение толщины проката и стенок труб с целью защиты от коррозии и повышения предела огнестойкости конструкций допускается только при технико-экономическом обосновании», применение таких вариантов эксплуатации металлоконструкций допустимо.

Поэтому встает задача разработки такой методики, которая позволит обосновать рациональность эксплуатации конструкций без защитного покрытия. А далее предложить более рациональный вариант заказчику, определяющему окончательное решение.

Методика проведения оценки долговечности, разработанная Гипротехметом и МИСИ [2], основана на изменении несущей способности конструкции по мере уменьшения площади поперечных сечений отдельных элементов. При этом для элементов с начальной или остаточной после коррозии толщиной 5 мм и меньше для учета вероятности хрупкого разрушения вследствие возможного изменения механических характеристик стали расчетные сопротивления снижаются на 15 % в сильноагрессивной и на 10 % в среднеагрессивной среде [3].

Расчет по предложенной методике производится через коэффициенты уменьшения площади поперечного сечения и момента сопротивления, что не совсем точно учитывает изменение поперечного сечения элементов металлоконструкций с течением времени под действием коррозионного износа.

Кроме этого вопросами коррозионного воздействия на металл занимались и другие ученые. Функции коррозионного износа, предложенные А.И. Кикиным, А.А. Васильевым, Б.Н. Кошутиным, Е.В. Гороховым, Я.Брудка, М.Лубиньским, А.З. Манаповым, И.И. Маннановым отражают оценку надежности с учетом кинетики коррозионного разрушения [4].

А.З. Манаповым была предложена методика расчета вероятности отказа металлоконструкций в зависимости от продолжительности эксплуатации и учета коррозионного износа [5].

Однако такой подход не учитывает неравномерность коррозии и не позволяет определить долговечность конкретных конструктивных форм металлоконструкции в конкретных условиях.

Решающими факторами при определении рациональности варианта эксплуатации без защитного покрытия будет то, из каких элементов состоит конструкция, каких сечений и профилей, насколько необходимо увеличить сечение с учетом коррозионного износа и какую площадь поверхностей составляют элементы конструкции.

Для того чтобы определить необходимые сечения элементов конструкции, нужно рассчитать долговечность этих элементов с учетом коррозионного износа. А далее подобрать такие сечения, которые удовлетворяли бы требуемому сроку эксплуатации конструкции.

Долговечность незащищенных антикоррозионными покрытиями элементов стальных конструкций определяется с учетом скорости коррозии на различных участках поперечных сечений. В соответствии с [6, рис. 1.21] коррозия распространяется по периметру сечения неравномерно, что обуславливается разной степенью обтекаемости сечения. Пример скоростей коррозии для уголка приведен на рис. 1, а, б. Для того чтобы перейти от г / год в мм / год, используются скорости коррозии, замеренные на стержнях различных типов [3, рис. 1.26].

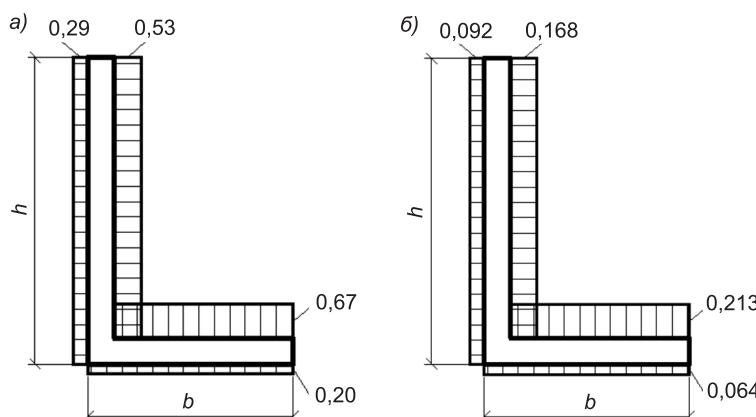


Рис. 1. Скорость коррозии на поверхности образца — уголок  
(а — г/год, б — мм/год)

Поскольку испытания по изучению скорости коррозии проводились в высокоагрессивной среде, необходимо учесть снижение скорости коррозии в средах с более низкой степенью агрессивности. Для этого параметры скорости коррозии следует задать через коэффициенты, которые будут умножаться на численное значение фактической скорости коррозии, известной для данной среды.

Также необходимо ввести коэффициенты, учитывающие изменение скоростей коррозии под различными углами поворота профилей, которые определяются отношением показателей коррозионной стойкости заданного элемента и горизонтального элемента, принятого за эталон.

Результирующие коэффициенты на примере уголка приведены в табл. 1. Коэффициенты указаны в следующем виде  $k_i^j$ , где  $k$  — коэффициент;  $i$  — номер плоскости (изменяется от 4 до 8 в зависимости от сечения профиля);  $j$  — номер участка (число рассматриваемых в ДП участков равно 2).

В табл. 1 приведено значение коэффициентов  $k_i^j$  в зависимости от вида сечения профиля и угла поворота.

После определения скорости коррозии можно рассчитать потери сечения профилей от воздействия агрессивной среды. Далее определяются геометрические характеристики полученных сечений в результате коррозионных разрушений на этапе эксплуатации конструкции в  $\tau$  лет. При этом определяются новые положения центров тяжести сечений, площадь сечений, моменты инерции и моменты сопротивления (рис. 2).

По полученным значениям геометрических характеристик и рассчитанным усилиям в элементах проводятся проверки на несущую способность по известным методикам нормативных документов (СП 16.13330.2011). Далее определяется такой период времени эксплуатации  $\tau$  лет, при котором произойдет разрушение конструкции.

Если этот период меньше нормативного срока эксплуатации конструкции, то сечения разрушенных элементов увеличиваются до тех пор, пока конструкция не станет удовлетворять требованиям.

Таким образом, можно подобрать сечения конструкций, способные выдержать воздействие агрессивных сред эксплуатации и при этом не требующие периодического восстановления защитного покрытия. Ожи-

Таблица 1. Значение коэффициентов скорости коррозии уголка при повороте на угол  $\alpha$

№ коэффициента	Угол поворота			
	0°	90°	180°	270°
$k_1^1$	4,182	6,279	4,182	2,909
$k_1^2$	4,182	6,279	4,182	2,909
$k_2^1$	7,636	3,353	2,909	9,682
$k_2^2$	7,636	3,353	2,909	9,682
$k_3^1$	9,682	2,909	3,353	7,636
$k_3^2$	9,682	2,909	3,353	7,636
$k_4^1$	2,909	4,182	6,279	4,182
$k_4^2$	2,909	4,182	6,279	4,182

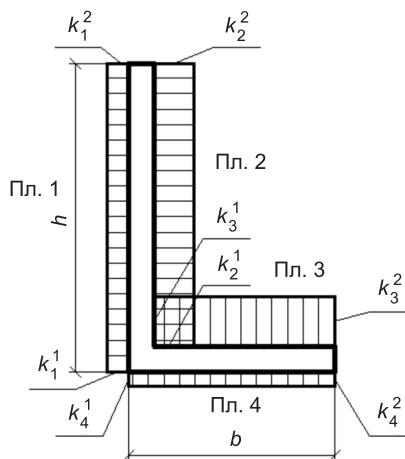


Рис. 2. Параметрическое описание скорости коррозии уголок

даем, что такой подход позволит проектировать конструкции с минимальной приведенной стоимостью.

Рассмотрим данную методику на примере выбора рациональной конструктивной формы ферм типовых серий. Согласно проведенному исследованию [7], наиболее рациональным будет вариант фермы из круглых труб по типовой серии 1.460.3-17 с металлизированным защитным покрытием.

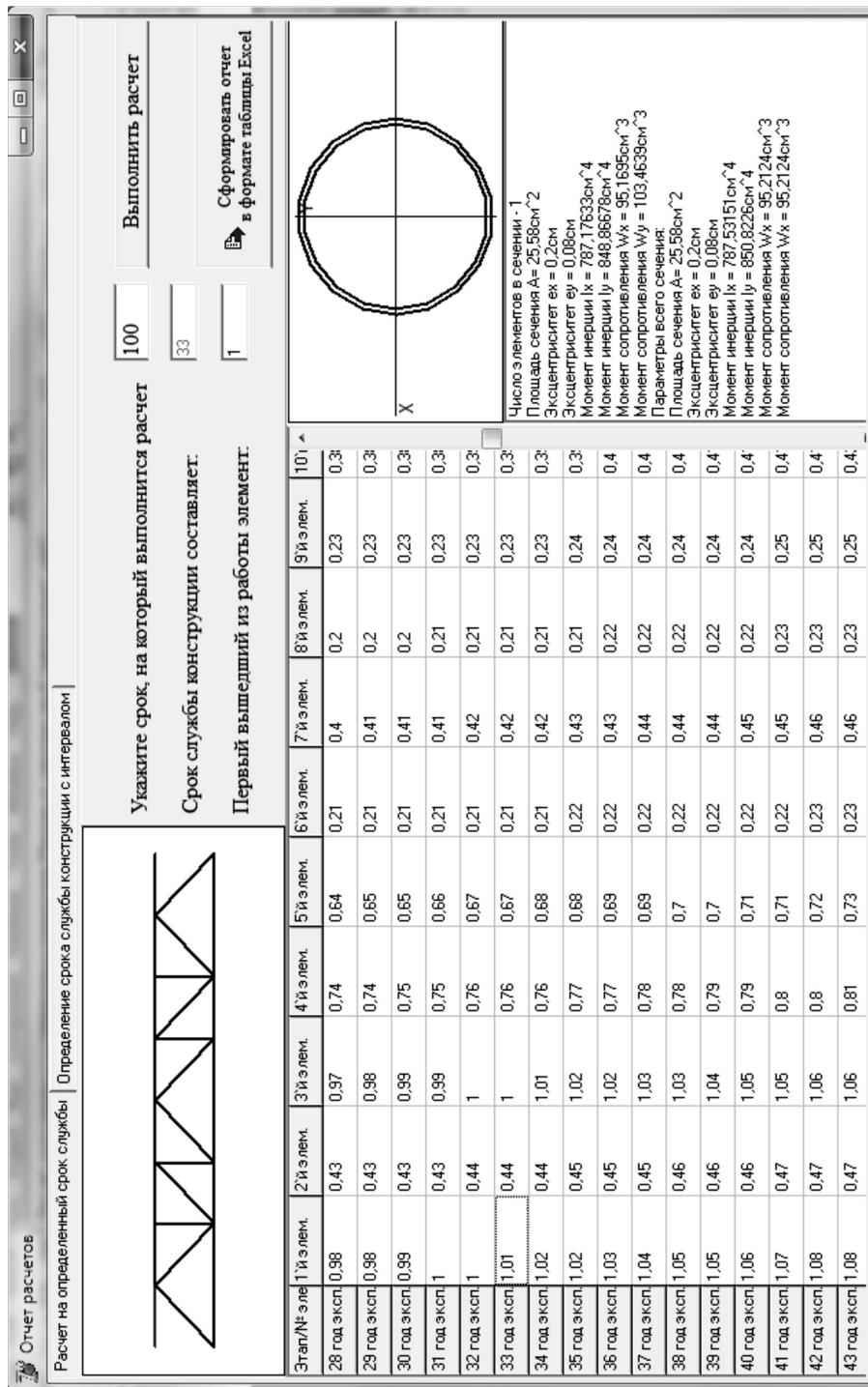


Рис. 3. Результаты расчета конструкции в программном комплексе PCMS

Проанализируем описанный выше вариант эксплуатации фермы из круглых труб как без защитного покрытия, так и с первоначальным нанесением защитного покрытия и последующей эксплуатацией без защитного покрытия.

Анализ варианта эксплуатации без защитного покрытия (вариант В) и вариантов с восстановлением (вариант А) или первоначальным нанесением и без последующего восстановления защитного покрытия (вариант Б) позволит выбрать наиболее рациональное конструктивное решение металлоконструкций.

Расчетный срок эксплуатации здания примем 100 лет. Среда эксплуатации в закрытых помещениях со средней степенью агрессивности и влажностью воздуха 65 %.

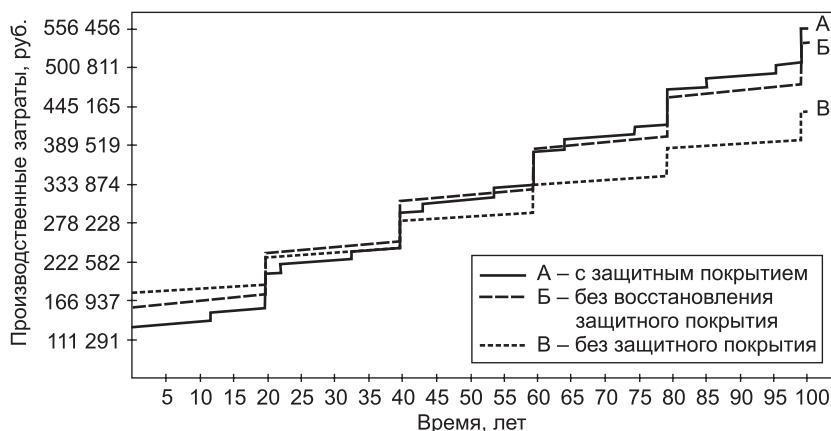
В первую очередь необходимо подобрать такие сечения элементов, которые бы удовлетворяли нормальной эксплуатации конструкции на заданный срок службы.

При эксплуатации без защитного покрытия конструкция прослужит 33 года (рис. 3). Первыми из строя выйдут крайние раскосы и верхний пояс. Результаты подбора сечений для эксплуатации конструкции на срок 100 лет приведены в табл. 2.

**Таблица 2. Результаты расчета фермы при разных условиях эксплуатации на срок 100 лет**

Элемент	Сечение элементов при эксплуатации		
	с защитным покрытием (А)	без восстановления защитного покрытия (Б)	без защитного покрытия (В)
Верхний пояс	168×6	219×8	273×7
Раскос	168×6	219×6	273×7
Раскос	159×6	159×6	219×6
Стойка	127×4	127×4	127×5

Результаты расчета всех трех вариантов (рис. 4) показали, что до начала эксплуатации наиболее выгодным будет вариант с применением защитного покрытия, однако уже через 35 лет вариант эксплуатации конструкции без защитного покрытия окажется более рационален. Таким образом, экономический эффект на одну конструкцию при эксплуатации



*Рис. 4. Результаты сравнения всех вариантов*

Таблица 3. Результаты расчета затрат на срок 100 лет

Вариант эксплуатации	Стоимость до начала эксплуатации, тыс. руб.	Сметная стоимость через 100 лет, тыс. руб.
С защитным покрытием А	<b>129,3</b>	555,6
Без возобновления защитного покрытия Б	158,4	535,5
<b>Без защитного покрытия В</b>	179,6	<b>436,7</b>

тации без защитного покрытия спустя 100 лет составит 118,9 тыс. руб. (табл. 3).

**Выводы.** Основным фактором, определяющим эффективность металлоконструкций, является минимальная стоимость как на изготовление, так и на эксплуатацию металлоконструкций. Сопоставление результатов определения технико-экономических показателей выявило, что эксплуатационные расходы оказывают наибольшее влияние на принятие решения по выбору рациональной конструктивной формы. При меньших затратах на строительство эксплуатационные расходы, как правило, оказываются больше.

При рассмотрении варианта эксплуатации конструкции без возобновления защитного покрытия, или без его восстановления, необходимо учесть неравномерное коррозионное поражение элементов конструкции, а также изменение геометрических характеристик сечений с каждым годом эксплуатации. При этом для обеспечения требуемого срока эксплуатации следует учитывать необходимость увеличения сечений элементов или замену типа сечений.

Для облегчения и ускорения расчетов технико-экономических показателей и получения рекомендаций к выбору рациональной конструктивной формы металлоконструкций создан программный комплекс для ЭВМ.

Созданная методика поиска рациональной конструктивной формы металлоконструкций позволит еще на стадии проектирования проектировщику принять правильное решение и избежать нежелательных перепрасходов денежных средств.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Стрелецкий, Н.С. Избранные труды [Текст] / Н.С. Стрелецкий. — М. : Стройиздат, 1975. — 422 с.
- Руководство по повышению долговечности строительных конструкций, эксплуатируемых в агрессивных средах предприятий цветной металлургии [Текст] / Гипрочувствет. — М., 1983. — 67 с.
- Горохов, Е.В. Долговечность стальных конструкций в условиях реконструкции [Текст] / Е.В. Горохов, Я. Будка, М. Лубиньски и др.; под ред. Е.В. Горохова. — М. : Стройиздат, 1994. — 488 с.
- Майстренко, И.Ю. Оценка остаточного ресурса эксплуатируемых стальных конструкций [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Майстренко Игорь Юрьевич. — М., 2006. — 232 с.
- Манапов, А.З. Оценка надежности конструкции с учетом коррозионного износа [Текст] / А.З. Манапов, И.Ю. Майстренко // Известия КГФСУ. — 2006. — № 1(5). — С. 64–73.
- Коррозия [Текст]: справ. изд. / пер. с англ.; под ред. Шрейера. — М. : Металлургия, 1981. — 192 с.

7. Барышников, А.В. Выбор рациональной конструктивной формы металлических ферм из типовых серий [Текст] / А.В. Барышников // Ползуновский вестник. — 2014. — № 6. — С. 26.

*БАРЫШНИКОВ Алексей Владимирович, асп.*

*Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,  
г. Барнаул*

*ХАРЛАМОВ Иван Викентьевич, канд. техн. наук, проф.*

*Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,  
г. Барнаул*

Получено после доработки 17.11.14

**Baryshnikov Alexey Vladimirovich**, post-graduate student, Altai State Technical University of I.I. Polzunov, Barnaul, Russia

**Kharlamov Ivan Vikentievich**, candidate of technical sciences, professor, Altai State Technical University of I.I. Polzunov, Barnaul, Russia

## **METHOD OF SEARCHING A RATIONAL STRUCTURAL FORM INCLUDING OPERATIONAL EXPENSES**

In this report proposes a method of searching for a rational structural form of metal structures with the accounting of operating costs. Choice of rational structural form of metal structures to avoid unwanted costs both during construction and during the operational phase. The article highlights the main challenges for the goal. Described in detail the method of calculation of longevity of elements of metal structures, and selection of the necessary elements of the cross sections for the required life of the structure. An example of the choice of constructive form of the metal farm from round tubes at its operation with the presence of the protective coating, without coating and without regeneration.

**Key words:** metal structures, structural form, protective coating, durability of steel structures, operating costs.

### **REFERENCES**

1. Streletskiy, N.S. Selected Works [Text] / N.S. Streletskiy. — M. : Stroyizdat, 1975. — 422 p.
2. Guidelines for improving the durability of building structures operating in aggressive environments of non-ferrous metallurgy [Text] / Giprosvetmet. — M., 1983. — 67 p.
3. Gorokhov, E.V. Durability of steel structures under renovation [Text] / E.V. Gorohov, Ya. Budka, M. Lubinski etc.; under the red. E.V. Gorohova. — M. : Stroyizdat, 1994. — 488 p.
4. Maystrenko, I.Yu. Residual life assessment operated steel structures [Text]: dis. ... cand. tehn. sciences: 05.23.01 / Maystrenko Igor Yurievich. — M., 2006. — 232 p.
5. Manapov, A.Z. Evaluation of reliability of a design based on corrosive wear [Text] / A.Z. Manapov, I.Yu. Maystrenko // News KGFSU. — 2006. — N 1(5). — P. 64–73.
6. Corrosion [Text]: ref. book / transl. from English; ed. Shreyer. — M. : Metallurgy, 1981. — 192 p.
7. Baryshnikov, A.V. The choice of a rational structural form of metal trusses type series [Text] / A.V. Baryshnikov // Polzunovsky Gazette. — 2014. — N 6. — P. 26.

УДК 532.593.001

П.А. ФОМИН, В.С. АЙРАПЕТЯН,  
Д.-Р. ЧЕН, К. МИТРОПЕТРОС

**К ВОПРОСУ ОБ ОБЕСПЕЧЕНИИ  
ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ  
ПРОМЫШЛЕННЫХ  
КОНСТРУКЦИЙ  
И СТРОИТЕЛЬНЫХ  
СООРУЖЕНИЙ ПРИ НАЛИЧИИ  
УТЕЧЕК ИЛИ РАЗЛИВОВ  
ТЯЖЕЛЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ  
С ВЫСOKИМ ДАВЛЕНИЕМ  
НАСЫЩЕННЫХ ПАРОВ**

Показана принципиальная возможность конденсации паров тяжелого углеводородного горючего за фронтом ударной волны, распространяющейся в переобогащенных горючим газовых смесях циклогексана с кислородом и азотом. Конденсация может существенно (до нескольких раз) увеличить содержание окислителя в газе. В результате смеси, начальная концентрация паров горючего в которых превышает верхний концентрационный предел воспламенения, могут взрываться, если конденсация сдвинет состав смеси в область воспламенения.

Рассмотренная конденсация паров должна быть принята во внимание при обеспечении пожаро- и взрывобезопасности промышленных зданий и сооружений, в которых могут иметь место утечки и разливы тяжелых жидких углеводородов с высоким давлением насыщенных паров.

Рассчитана масса жидкого горючего, которая может испариться при теплообмене с горячими продуктами взрыва газовой смеси, находящейся над поверхностью жидкости. Показано, что испаренная масса может превосходить массу горячих продуктов на порядок. Испарение столь значительной массы горючего может служить причиной вторичных взрывов при смешении паров горючего с воздухом и формировании новой взрывчатой смеси.

**Ключевые слова:** конденсация, ударная волна, концентрационный предел воспламенения, взрывобезопасность.

УДК 532.593.001

P.A. FOMIN, V.S. AYRAPETYAN,  
J.-R. CHEN, C. MITROPETROS

**ON THE EXPLOSION  
PROTECTION OF  
INDUSTRIAL STRUCTURES  
AND BUILDINGS  
IN THE PRESENCE  
OF LEAKS OR SPILLAGE  
OF HEAVY  
HYDROCARBONS  
OF HIGH VAPOR  
PRESSURE**

The possibility of fuel vapor condensation in ordinary shock waves in fuel-rich (cyclohexane-oxygen) gaseous mixtures is discussed. It is shown, that condensation process can essentially change the chemical composition of the gas. For example, the molar fraction of the oxidizer can increase in a few times. As a result, mixtures in which the initial concentration of fuel vapor exceeds the upper flammability limit can, nevertheless, explode if condensation shifts the composition of the mixture to the ignition region.

The fuel vapor condensation should be taken into account in estimation the explosion hazard of chemical reactors, industrial and civil constructions, which may contain fuel-rich gaseous mixtures of heavy hydrocarbons with air.

The mass of the liquid fuel that can be evaporated by heat exchange with the hot products of explosion of the gas mixture located above the liquid surface is calculated. It is shown that the evaporated mass can be an order of magnitude higher than the mass of the hot products. Evaporation of such a large mass of fuel can cause secondary explosions due to the mixing of the fuel vapor with air and the formation of a new explosive mixture.

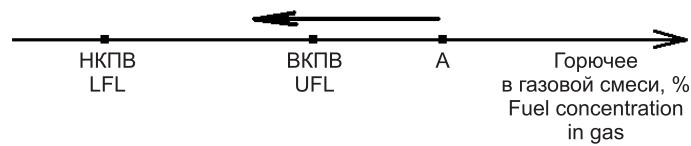
**Key words:** condensation, shock wave, flammable limit, explosion safety.

**Введение.** Традиционно полагается, что для предотвращения взрыва газовой смеси необходимо, чтобы ее химический состав находился вне концентрационных пределов воспламенения [1, 2], т.е. чтобы концентрация паров горючего в смеси была меньше нижнего или больше верхнего концентрационного предела воспламенения (НКПВ и ВКПВ соответственно). Однако подобная точка зрения, как будет показано в настоящей работе, не является универсальной.

Рассмотрим кислородсодержащую газовую смесь, насыщенную парами циклогексана. Циклогексан служит типичным примером тяжелого углеводородного горючего с высоким давлением насыщенных паров. Таким образом, химический состав и физические свойства рассматриваемой газовой смеси сильно зависят от температуры. Концентрация паров горючего растет, если начальная температура смеси увеличивается. В результате, если начальная температура системы достаточно высока, концентрация паров горючего в смеси превышает ВКПВ (точка А на рис. 1; будем называть такую смесь переобогащенной горючей смесью). Таким образом, следует ожидать, что рассматриваемая смесь

**Introduction.** It is traditionally believed that to prevent explosion of a gas mixture, it is necessary that its chemical composition be outside the flammability limit [1, 2], i.e., it is necessary that the fuel vapor concentration in the mixture be below the lower or above the upper flammability limits (LFL and UFL, respectively). However, as will be shown in this work, this point of view is not universal.

Let us consider the oxygen containing gas with saturated vapor of cyclohexane. Cyclohexane is a typical example of the fuel with high saturated vapor pressure. Thus, the chemical composition and physical properties of the gaseous mixture of oxygen with saturated vapors of cyclohexane strongly depends on the temperature. The fuel concentration increases if initial temperature increases. As a result, if the initial temperature of the systems is relatively high, the cyclohexane concentration in the vapor may stay above the upper flammability limits (fuel-rich mixture; fig. 1, point A). Thus, it should be expected that



*Рис. 1.* Изменение концентрации паров горючего вследствие конденсации в ударной волне НКПВ и ВКПВ — нижний и верхний концентрационные пределы воспламенения, А — начальная концентрация паров горючего в газе. Стрелочка показывает, что вследствие конденсации концентрация паров горючего в газовой смеси уменьшается и сдвигается в область воспламенения

*Fig. 1.* Possibility of fuel vapor concentration change owing to condensation behind SW front. LFL and UFL — the lower and upper flammable limits of the gas, A — the initial concentration of the fuel vapor in the gas. The arrow shows that owing to the fuel vapor condensation, the fuel concentration may be reduced and enter the explosion range

является пожаро- и взрывобезопасной. Однако подобное утверждение должно быть пересмотрено.

Отметим, что если концентрация паров тяжелого углеводородного го-

explosion or fire is not possible if the saturated cyclohexane-oxygen mixtures have such initial parameters. However, this statement should be revised.

рючего в газовой смеси достаточно велика, то показатель адиабаты смеси  $\gamma$  близок к единице ( $\gamma \approx 1$ ). Например, химический состав газовой смеси, состоящей из кислорода и насыщенных паров циклогексана при температуре 351 К и давлении 0,1 МПа, имеет вид  $0,933 \text{ C}_6\text{H}_{12} + 0,067 \text{ O}_2$ , а ее показатель адиабаты равен 1,06. Эта величина может быть легко рассчитана по величине давления насыщенного пара и теплоемкостям кислорода и паров циклогексана. Подчеркнем, что широко используемые в промышленности процессы жидкоквазиокисления циклогексана имеют еще более высокие температуры [3], и показатель адиабаты насыщенной парами смеси может быть еще меньше.

Хорошо известно [4], что для параметров плоской ударной волны в политропном газе справедливы следующие формулы:

$$\frac{T}{T_0} = \frac{[2\gamma M^2 - (\gamma - 1)][(\gamma - 1)M^2 + 2]}{(\gamma + 1)^2 M^2}, \quad \frac{P}{P_0} = \frac{2\gamma}{\gamma + 1} M^2 - \frac{\gamma - 1}{\gamma + 1},$$

$$M = \frac{D}{c_0}, \quad C_0 = \gamma \frac{P_0}{\rho_0}.$$

Здесь  $c$  и  $D$  — скорость звука и скорость ударной волны;  
 $M$  — число Маха;  
 $P$ ,  $T$ ,  $\rho$  и  $\gamma$  — давление, температура, плотность и показатель адиабаты.  
Индекс «0» соответствует начальному состоянию.

Пусть ударная волна распространяется по переобогащенной тяжелым углеводородным горючим газовой смеси, т.е. смеси, концентрация горючего в которой превышает ВКПВ. В соответствии с вышесказанным смесь имеет близкий к единице показатель адиабаты. Отметим, что ударные волны в атмосфере промышленных зданий и сооружений вполне возможны. Они могут возникать как вследствие механических воздействий (например, разрыва сосудов высокого давле-

Note that the adiabatic index of the mixture  $\gamma$  is relatively small ( $\gamma \approx 1$ ) if the molar fraction of cyclohexane in the gas is relatively high. For example, the adiabatic index of a gaseous mixture of oxygen with saturated vapor of cyclohexane at a temperature of 351 K and a pressure of 0,1 MPa is about 1,06. This value can be easily calculated using the saturated vapor pressure of cyclohexane and the heat capacities of cyclohexane and oxygen. Note that, typical industrial processes of cyclohexane oxidation were carried at elevated temperatures [3] and the adiabatic index of the mixture is expected to be even lower.

It is well known [4] that the following relations for parameters behind the planar shock waves in polytropic gas are valid:

Here  $c$  and  $D$  are velocity of sound and shock wave;  $M$  is Mach number;  $P$ ,  $T$ ,  $\rho$  and  $\gamma$  are pressure, temperature, density and adiabatic index.

Subscript «0» indicates the initial state before the shock front.

Let the shock wave considered propagate in a gas mixture superrich in a heavy hydrocarbon fuel, i.e., in a mixture in which the fuel concentration exceeds the UFL. In accordance with the foregoing, the investigated mixture has an adiabatic index close to unity. Note that in the atmosphere of industrial buildings and structures, shock waves are quite possible. They can occur as a result of mechanical action (e.g., pressure

ния), так и быстрого локального выделения энергии (локальных взрывов).

Как видно из приведенных формул, если  $\gamma \approx 1$ , температура газа на фронте ударной волны практически не растет ( $T/T_0 \sim \text{const}$ ). Поскольку давление насыщенных паров есть функция температуры, то соответственно его изменение в ударной волне также невелико. В то же время давление газа (и соответственно парциальное давление паров горючего) в ударной волне может существенно возрасти ( $P/P_0 \sim M^2$ ). Таким образом, следует ожидать, что парциальное давление горючего станет выше давления насыщенных паров, а это приведет к конденсации паров горючего в ударной волне.

Конденсация меняет химический состав газа, уменьшая концентрацию паров горючего. В результате химический состав переобогащенного горючим газа сдвигается в направлении области воспламенения. При достаточно большой величине конденсации состав газа может сместиться внутрь самой области воспламенения (см. рис. 1). Таким образом, рассматриваемая смесь, начальная концентрация паров горючего в которой превышает ВКПВ, может взрываться.

Отметим, что принципиальная возможность конденсации за фронтом ударной волны в газе Ван-дер-Ваальса отмечалась ранее [5]. Но возможность конденсации паров горючего в ударной волне на примере конкретной смеси и влияние такой конденсации на взрывобезопасность ранее не обсуждались.

В настоящей работе будет рассмотрена конденсация паров горючего за плоской ударной волной в переобогащенной парами циклогексана газовой смеси. Будет проанализировано влияние конденсации на параметры, химический состав газа и взрывные характеристики смеси.

Описанная выше принципиальная возможность конденсации паров горючего за фронтом ударной волны не-

vessel rupture) or fast local energy release (local explosions).

As can be seen from these formulas, if adiabatic index  $\gamma \approx 1$ , the temperature of the gas after the passing of shock wave increases very small, but the gas pressure increases significantly:  $T/T_0 \sim \text{const}$ ,  $P/P_0 \sim M^2$ . Since the saturated vapor pressure is a function of temperature, the partial pressure of the fuel may be increased to be higher than the pressure of the saturated vapor and resulted in fuel vapor condensation.

Condensation changes the chemical composition of the gas by reducing the concentration of fuel vapor. As a result, the chemical composition of the gas super-rich in fuel is shifted toward the ignition region. When the amount of condensation is large enough, the gas composition can be shifted into the ignition region (see fig. 1). Thus, the investigated mixture, in which the initial vapor concentration exceeds the UFL, can, nevertheless, explode.

Note, that the principal possibility of vapor condensation behind shock waves in some Van-der-Waals gas was noted before [5]. But the possibility of fuel vapor condensation in shock waves in fuel-oxygen gaseous mixtures at conditions close to industrial processes and the possible influence of this process on the explosion behavior of the mixtures had not been discussed in literature.

In the present paper, the possibility of fuel vapor condensation behind the stationary one-dimensional shock waves in fuel-rich cyclohexane — oxygen gaseous mixtures will be discussed. The influence of fuel vapor condensation on shock waves parameters, chemical composition of the vapor phase and explosion characteristics of the mixture will be analyzed.

Note that for the majority of gaseous mixtures, the approxima-

тривиальна, поскольку для большинства газовых смесей приближенное условие  $\gamma \approx 1$  несправедливо. Таким образом, конденсация паров горючего за фронтом ударной волны в большинстве газовых смесей невозможна, так как увеличение парциального давления паров вследствие сжатия меньше, чем увеличение давления насыщенных паров из-за скачка температуры [4].

Известно, что при катастрофических взрывах химических реакторов, содержащих жидкие углеводороды (в том числе пузырьковые смеси), или при взрывах промышленных конструкций, в которых имеет место разлив жидких углеводородов, довольно часто происходит не один, а серия взрывов [2, 3]. Одна из причин подобных многократных взрывов состоит в следующем. Взрыв реагирующего газа над поверхностью жидкости приводит к интенсивному межфазному теплообмену и соответствующему испарению жидкости. Если происходит перемешивание паров горючего с воздухом (например, при разгерметизации химического реактора или разрушении промышленной конструкции), то при наличии источника воспламенения (горячих элементов конструкций, пламени или при достаточно высокой температуре паров горючего) вторичный взрыв вполне возможен. Описанный выше процесс может повторяться несколько раз. В этой связи для оценки потенциальной взрывоопасности химических реакторов и промышленных конструкций, в которых находится жидкое углеводородное горючее, представляется интересным оценить, какое количество жидкости может быть переведено в газ при охлаждении продуктов взрыва до определенной температуры.

**Расчет конденсации паров горючего в ударной волне.** Рассмотрим два сценария распростране-

те condition  $\gamma \approx 1$  is not valid. Thus, vapor condensation in the shock waves is not possible in these mixtures because the increase of the vapor pressure owing to compression is less as compare with the increase of the saturated vapor pressure owing to the increase of the temperature [4].

It is known that in catastrophic explosions of chemical reactors containing liquid hydrocarbons (including bubble mixtures) or in explosions or industrial structures in which there is a spill of liquid hydrocarbons, not one but a series of explosions often occurs [2, 3]. One cause of such multiple explosions is as follows. Explosion of a reactive gas over a liquid surface leads to rapid interfacial heat transfer and evaporation of the liquid. If there is mixing of combustible vapors with air (for example, in the case of depressurization of a chemical reactor or destruction of industrial equipment), then, in the presence of an ignition source (hot structural elements, fire or high temperature of combustible vapor), a secondary explosion may occur. This process may be repeated several times. In this connection, to estimate the potential explosion hazard of chemical reactors and industrial process equipment containing liquid hydrocarbon fuel, it is of interest to evaluate what amount of a liquid can be converted to a gas by cooling the explosion products to a particular temperature.

**Shock induced condensation in the fuel-rich gaseous mixture.** The following two scenarios of stationary one dimensional shock wave propagation in fuel-rich cyclohexane/oxygen/nitrogen gaseous mixtures will be considered. In the first one the possibility of fuel vapor condensation will be ignored. In the second scenario the possibility of the conden-

ния стационарной одномерной ударной волны в переобогащенной горючим газовой смеси циклогексана с кислородом. В рамках первого сценария возможная конденсация паров горючего игнорируется. В рамках второго сценария конденсация паров учитывается.

Параметры волны по первому сценарию рассчитаны по хорошо известной системе алгебраических уравнений (см., например, [4]). Она включает законы сохранения и уравнение состояния газа. Параметры потока за фронтом волны (включая молярную массу газа и мольные доли компонент) остаются постоянными. Кроме того, если конденсация паров горючего возможна, то система уравнений описывает параметры потока сразу за фронтом волны, до момента начала конденсации.

Процесс конденсации позади ударного фронта происходит тогда, когда давление насыщенных паров горючего становится больше, чем парциальное давление его паров. К моменту окончания конденсации эти давления сравниваются. Для расчета профиля параметров волны при наличии конденсации необходимо учитывать кинетику конденсационного процесса. В данной работе кинетика конденсации паров не учитывается. Но для расчета параметров потока после окончания периода индукции достаточно решить систему алгебраических уравнений: уравнения состояния, законов сохранения и условия равенства давления насыщенных паров и парциального давления паров горючего.

Для расчета параметров потока в момент окончания конденсации паров горючего будем использовать следующие предположения. Конденсированная фаза находится в механическом и термодинамическом равновесии с газом, т.е. скорость и температура газа и жидкости равны. Давление насыщенных паров и парциальное давле-

sation process will be taken into account.

Parameters of the wave in the first scenario can be calculated by well known algebraic system of equations (see, for example, [4]). It includes the laws of conservation and equation of state. In this case parameters of the flow behind the wave front (including the molar fractions of the fuel and oxidizer and the molar mass of the gas) remain constant. Moreover, in case if the fuel condensation is possible, these equations describe the parameters of the flow exactly behind the shock wave front, before the start of condensation process.

The process of condensation behind the shock wave front starts, if the saturated vapor pressure of the fuel starts to be more, than the partial pressure of the fuel. Finally, at the end of condensation, these pressures should be equal. If there are not fuel condensation, the flow parameters behind the wave front are constant. If the fuel vapor condensation takes place, the flow parameters change. To calculate the profile of the wave in the presence of fuel condensation, the kinetic of vapor condensation should be used. The kinetic of fuel vapor condensation and the wave profile is outside of the framework of the present paper. But the calculation of the flow parameters after the end of condensation can be performed only by the system of algebraic equation of state, conservation laws and the condition: the saturated vapor pressure and partial pressure of the fuel are equal.

To calculate the flow parameters at the end of fuel vapor condensation the following suppositions are used. Condensed phase is assumed to be in mechanical and thermodynamic equilibrium with the vapor, i.e. velocity and temperature of the liquid are equal to the velocity and temperature of the vapor. The partial pressure of cyclohexane va-

ние паров циклогексана равны. Объем конденсированной фазы пренебрежимо мал.

Степень пересыщения паров горючего может характеризоваться, например, параметром переохлаждения  $\theta$  [6]:

$$\theta = \frac{T_{sat} - T}{T_{sat}}.$$

Здесь  $T_{sat}$  — температура паров, насыщенных при данной плотности;  $T$  — фактическая температура паров.

Если имеется возможность конденсации паров ( $P^f > P_{sat}^f$ , где  $P^f$  и  $P_{sat}^f$  — парциальное давление и давление насыщенных паров горючего), то  $\theta > 0$ . В конце конденсационного процесса ( $P^f = P_{sat}^f$ ) достигается насыщенное состояние и  $\theta = 0$ . Параметр переохлаждения был рассчитан для первого сценария. В рамках второго сценария этот параметр равен нулю.

Результаты расчета параметров ударной волны и ударной адиабаты в смеси паров циклогексана с кислородом и азотом по первому сценарию представлены на рис. 2. Величина  $V/V_0$  — безразмерный удельный объем ( $V = 1/\rho$ ). Расчеты проведены для параметров смеси, соответствующих ВКПВ [7]:  $\alpha_0^f = 0,573$ ,  $\alpha_0^{O_2} = 0,076$ ,  $\alpha_0^{N_2} = 0,351$  ( $\alpha$  — мольная доля газа, верхние индексы  $f$ ,  $O_2$  и  $N_2$  — горючее, кислород и азот),  $P_0 = 1,3$  МПа,  $T_0 = 438,65$  К,  $\rho_0 = 21,5$  кг/м<sup>3</sup>,  $\mu_0 = 60,4$  кг/кмоль ( $\mu$  — молярная масса смеси). Дополнительно показано давление насыщенных паров циклогексана позади переднего фронта волны. Концентрация паров горючего перед фронтом ударной волны соответствует насыщенным парам горючего. На рис. 2, *a* показана ударная адиабата. Сравнение величин парциального дав-

пор equals to the saturated vapor pressure. The volume of condensed phase assumed to be negligible small.

Degree of saturation can be characterized, for example, by the super-cooling parameter  $\theta$  [6]:

Here  $T_{sat}$  is the temperature of saturated vapor at the given pressure and  $T$  is the actual vapor temperature.

If there is the possibility of fuel vapor condensation ( $P^f > P_{sat}^f$ , where  $P^f$  and  $P_{sat}^f$  are the partial pressure and saturated vapor pressure of fuel vapor), then  $\theta > 0$ . At the end of the condensation process ( $P^f = P_{sat}^f$ ) saturation state is reached and  $\theta = 0$ . The super-cooling parameter will be calculated for the first scenario. In the second scenario this parameter equals to zero.

The results of calculation of shock wave parameters and shock adiabate in cyclohexane-oxygen-nitrogen mixture are presented in fig. 2. The possibility of fuel vapor condensation is not taken into account. The value  $V/V_0$  is the dimensionless specific volume ( $V=1/\rho$ ). Calculations are performed for the conditions at the nonflammable boundary (UFL) measured in [7]:  $\alpha_0^f = 0,573$ ,  $\alpha_0^{O_2} = 0,076$ ,  $\alpha_0^{N_2} = 0,351$  ( $\alpha$  is molar fraction of a gas and superscripts  $f$ ,  $O_2$  and  $N_2$  indicate fuel, oxygen and nitrogen respectively),  $P_0 = 1,3$  MPa,  $T_0 = 438,65$  K,  $\rho_0 = 21,5$  kg/m<sup>3</sup>,  $\mu_0 = 60,4$  kg/kmol ( $\mu$  is the molar mass of the mixture). Additionally, the saturated vapor pressure of cyclohexane behind the wave front is shown. The fuel concentration before the wave front

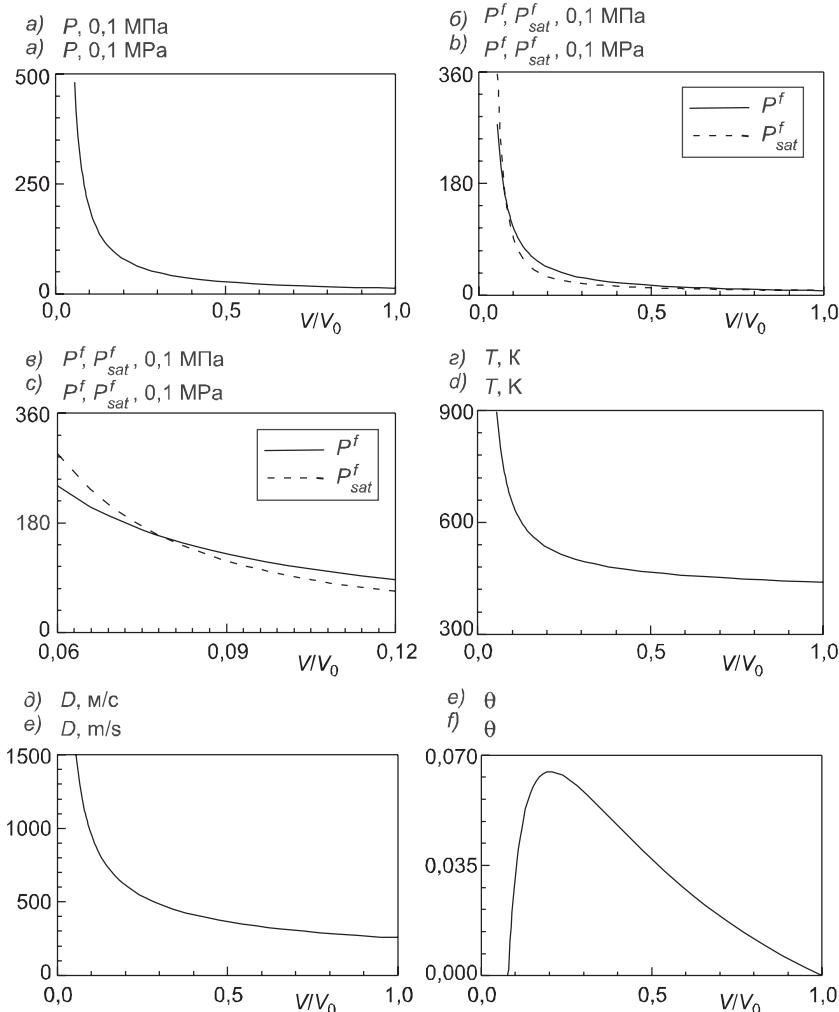


Рис. 2. Параметры ударной волны, ударная адиабата и давление насыщенных паров циклогексана за фронтом ударной волны. Конденсация паров горючего не учитывалась.

Смесь:  $0,076\text{O}_2 + 0,351\text{N}_2 + 0,573\text{C}_6\text{H}_{12}$ .  $P_0 = 1,3$  МПа,  $T_0 = 439$  К

Fig. 2. Parameters of the shock wave, the shock adiabate and saturated vapor pressure of cyclohexane behind the wave front. The possibility of fuel condensation is not taken into account.

The mixture:  $0,076\text{O}_2 + 0,351\text{N}_2 + 0,573\text{C}_6\text{H}_{12}$ .  $P_0 = 1,3$  MPa,  $T_0 = 439$  K

ления паров горючего и давления его насыщенных паров показано на рис. 2, б, в, температура, скорость и параметр переохлаждения показаны на рис. 2, г–е соответственно.

Как видно из рис. 2, б и в, при некоторых скоростях ударной волны (а именно при  $D < 1137$  м/с) парциальное давление циклогексана выше, чем давление его насыщенных паров. В результате при таких ско-

рresponds to the saturated vapor pressure of the fuel. fig. 2, a shows the shock adiabate. The comparison between the partial pressure of the fuel and the saturated vapor pressure of cyclohexane is shown on fig. 2, b, c. Temperature, velocity and super-cooling parameter are shown on fig. 2, d, e, f respectively.

As can be seen from fig. 2, b and c at some velocities of the shock wave (namely at  $D < 1137$  m/s) the pre-

ростях волны конденсация паров циклогексана становится возможной. Таким образом, процесс конденсации паров горючего должен учитываться при моделировании ударно-волновых, взрывных и детонационных процессов в переобогащенной горючим газовой смеси.

Приведем для примера точные значения параметров потока за фронтом ударной волны, распространяющейся со скоростью  $D = 550$  м/с:

$$\begin{aligned} P/P_0 &= 4,89, \quad P = 6,36 \text{ MPa}, \quad V/V_0 = \rho_0/\rho = 0,24, \quad T = 515 \text{ K}, \\ P_{sat}^f &= 2,4 \text{ MPa}, \quad P^f = 3,64 \text{ MPa}, \quad \rho^f = 71,5 \text{ kg/m}^3, \quad \rho^{O_2} = 3,61 \text{ kg/m}^3, \\ \rho^{N_2} &= 14,6 \text{ kg/m}^3, \quad \theta = 0,064, \quad u = 132 \text{ m/s} \quad (u \text{ is velocity of gas}). \end{aligned}$$

Видно, что существуют условия для конденсации паров горючего при такой скорости ударной волны.

Расчет параметров ударной волны с учетом конденсации паров горючего проведен для той же смеси, что и в предыдущем случае. Результаты расчетов представлены на рис. 3,  $\rho^*$  — объемная плотность жидкого циклогексана. Отметим, что при отсутствии конденсации ( $M_a = 1$  или  $D > 1137$  м/с)  $\rho^* = 0$ , и относительные концентрации компонент равны  $\alpha^{O_2}/\alpha_0^{O_2} = 1$ ,  $\alpha^{N_2}/\alpha_0^{N_2} = 1$  и  $\alpha^f/\alpha_0^f = 1$  соответственно. Как видно из рис. 3,  $\varepsilon$ , концентрация кислорода в газе может увеличиться в 1,3 раза, с 0,076 до 0,10. Результаты расчета для волны, распространяющейся со скоростью  $D = 550$  м/с, таковы:

pressure of cyclohexane in the gaseous mixture behind the shock wave is higher than the saturated vapor pressure of cyclohexane. As a result, condensation of cyclohexane is possible at these shock wave velocities. Thus, the possible process of fuel condensation should be taken into account in modeling of shock and detonation processes in fuel over-enriched gaseous mixtures.

The exact flow parameters behind the front of the shock wave with  $D = 550$  m/s are:

As can be seen from fig. 2, b, c and f there is the possibility of fuel condensation at this velocity of shock wave. These numerical results will be used below for comparison with corresponding parameters behind the wave front at the end of fuel condensation.

The calculations of the flow parameters in the case of fuel condensation are performed for the same initial cyclohexane-oxygen mixture, considered before. The results of calculations of the shock wave parameters are presented in fig. 3,  $\rho^*$  is the volume density of liquid cyclohexane. Note, that if there is no condition for condensation ( $M_a = 1$  or  $D > 1137$  m/s) then  $\rho^* = 0$  and the dimensionless oxygen and fuel vapor concentrations are  $\alpha^{O_2}/\alpha_0^{O_2} = 1$ ,  $\alpha^{N_2}/\alpha_0^{N_2} = 1$  and  $\alpha^f/\alpha_0^f = 1$  respectively. As can be seen from fig. 3, d in the mixture under consideration the oxygen concentration in gas can increase in 1,3 times, from 0,076 to 0,10. The results of calculation for the shock wave with  $D = 550$  m/s are:

$$\begin{aligned} P/P_0 &= 5,1, \quad P = 6,6 \text{ MPa}, \quad P_{sat}^f = P^f = 3,12 \text{ MPa}, \quad u = 111 \text{ m/s}, \\ T &= 536 \text{ K}, \quad \rho = 80,5 \text{ kg/m}^3, \quad \rho^f = 58,8 \text{ kg/m}^3, \quad \rho^{O_2} = 4,31 \text{ kg/m}^3, \\ \rho^{N_2} &= 17,4 \text{ kg/m}^3, \quad \rho^* = 26,4 \text{ kg/m}^3, \quad \mu = 55,3 \text{ kg/kmol}. \end{aligned}$$

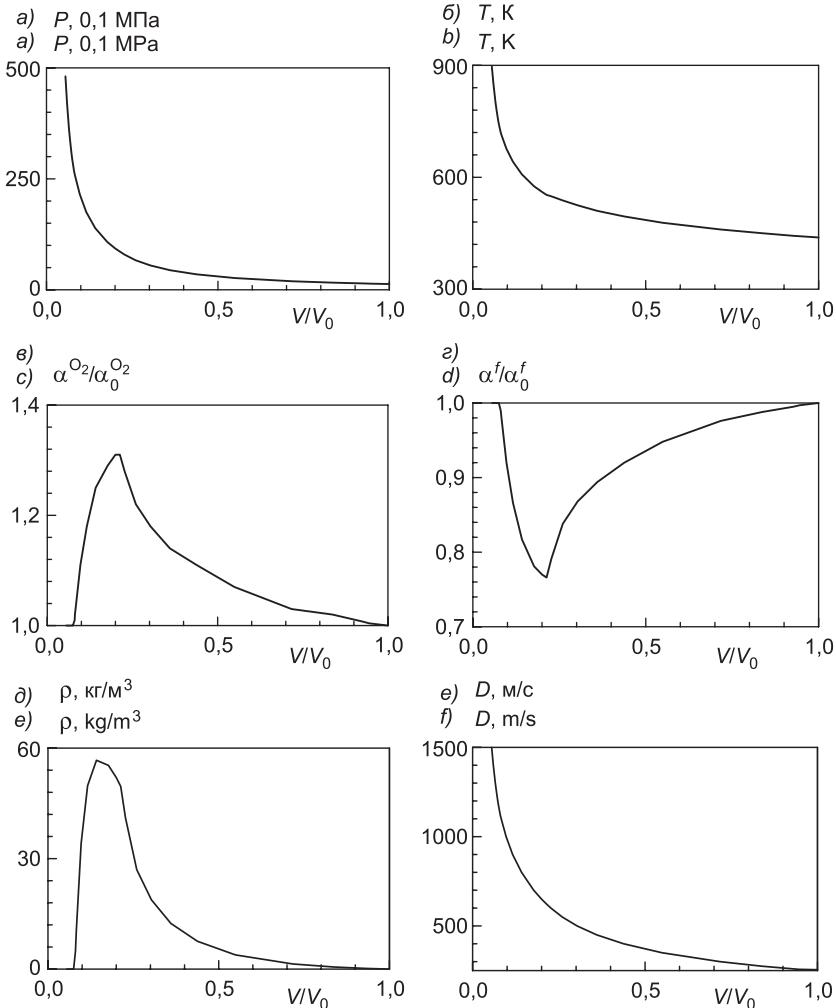


Рис. 3. Параметры ударной волны, ударная адиабата и давление насыщенных паров циклогексана за фронтом ударной волны. В расчетах учтена конденсация паров горючего.

Смесь: 0,076O<sub>2</sub> + 0,351N<sub>2</sub> + 0,573C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>. P<sub>0</sub> = 1,3 МПа, T<sub>0</sub> = 439 К

Fig. 3. Parameters of the shock wave, the shock adiabate and saturated vapor pressure of cyclohexane behind the wave front. The possibility of fuel condensation is taken into account.

The mixture: 0,076O<sub>2</sub> + 0,351N<sub>2</sub> + 0,573C<sub>6</sub>H<sub>12</sub> · P<sub>0</sub> = 1,3 MPa, T<sub>0</sub> = 439 K

К моменту окончания конденсации около 31 % паров горючего переходит в жидкую fazу. Сравнение полученных результатов с соответствующими расчетами без учета конденсации, представленными выше, показывает, что конденсация приводит к увеличению давления и температуры. Вследствие конденсации мольная доля окислителя увеличивается с  $\alpha_0^{O_2} = 0,076$  до  $\alpha^{O_2} = 0,092$ . Увеличение кон-

At the end of the fuel condensation, about 31 % of the fuel transforms into the liquid stage. The comparison of these results with corresponding calculations for the shock wave without fuel condensation, presented above, shows that the fuel condensation led to the increase of pressure and temperature. As a result of fuel condensation the molar fraction of the oxidizer increases from  $\alpha_0^{O_2} = 0,076$  before the wave front to  $\alpha^{O_2} = 0,092$

центрации горючего на 20 % вследствие конденсации сдвигает состав смеси внутрь области воспламенения.

Профиль давления в ударной волне при наличии конденсации приведен на рис. 4. Как отмечено выше, кинетика конденсации в данной работе не рассматривалась. Таким образом, штриховая кривая по-

ат the end of condensation. The 20 % increase in oxygen owing to condensation certainly brings the mixture to inside the flammable zone.

The pressure profile in the considered shock wave with fuel condensation is shown in fig. 4. As pointed above, the kinetic of fuel vapor condensation is outside of the framework of the present paper. Thus, the das-

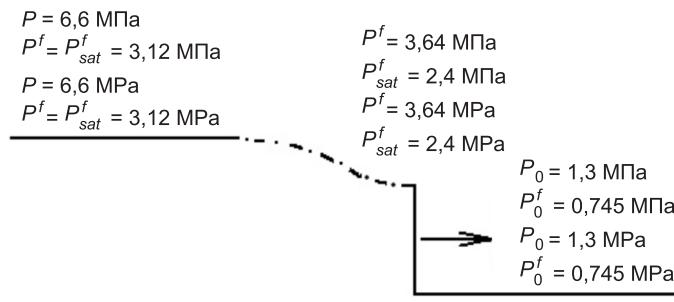


Рис. 4. Качественный профиль ударной волны при наличии конденсации паров горючего. Смесь:  $0,076\text{O}_2 + 0,351\text{N}_2 + 0,573\text{C}_6\text{H}_{12}$ .  $D = 550 \text{ м/с}$ . Штриховая кривая соответствует зоне конденсации

Fig. 4. The qualitative pressure profile behind the shock wave with fuel vapor condensation (outside of scale).

The mixture:  $0,076\text{O}_2 + 0,351\text{N}_2 + 0,573\text{C}_6\text{H}_{12}$ .  $D = 550 \text{ m/s}$ . The dashed line corresponds to the condensation zone

казывает профиль давления между передним фронтом волны и моментом окончания периода индукции лишь качественно.

В принципе вследствие конденсации паров горючего молярная масса газа может увеличиваться в несколько раз. Например, расчет параметров волны для сильно переобогащенной горючим смеси с начальными параметрами  $\alpha_0^f = 0,99$ ,  $\alpha_0^{O_2} = 0,01$ ,  $P_0 = 0,559 \text{ MPa}$ ,  $T_0 = 423,15 \text{ K}$ ,  $\rho_0 = 13,27 \text{ кг/m}^3$  и скоростью  $D = 440 \text{ м/с}$  дает:

hed line shows the pressure profile between the wave front and the moment in time of the end of fuel vapor condensation only schematically.

In principle owing to fuel vapor condensation the molar fraction of the oxidizer can increase even in a few times. For example, the calculations of the flow parameters in the case of fuel condensation are performed for the fuel-rich cyclohexane-oxygen mixture with  $\alpha_0^f = 0,99$ ,  $\alpha_0^{O_2} = 0,01$ ,  $P_0 = 0,559 \text{ MPa}$ ,  $T_0 = 423,15 \text{ K}$ ,  $\rho_0 = 13,27 \text{ kg/m}^3$ . The results of calculation for the shock wave with  $D = 440 \text{ m/s}$  are:

$$P/P_0 = 5,39, P = 3,01 \text{ MPa}, P_{sat}^f = P^f = 2,85 \text{ MPa}, u = 19,2 \text{ m/s}, \\ T = 529 \text{ K}, \rho = 55,7 \text{ kg/m}^3, \rho^f = 54,5 \text{ kg/m}^3, \rho^{O_2} = 1,16 \text{ kg/m}^3, \\ \rho^* = 248 \text{ kg/m}^3, \mu = 81,2 \text{ kg/kmol}.$$

К моменту окончания конденсации около 82 % паров горючего переходит в жидкость. В результате конденсации мольная доля окислителя увеличивается более чем в 5 раз, с  $\alpha_0^{O_2} = 0,01$  до  $\alpha^{O_2} = 0,053$ .

**Оценка массы жидкого горючего, которая переходит в газ вследствие теплообмена с продуктами газового взрыва.**

Рассчитаем суммарную массу жидкого углеводорода, которая может испариться в результате теплообмена с горячими продуктами взрыва при постоянном объеме. Взрыв происходит над поверхностью жидкости. Расчет является аналогом испарения жидкого горючего после газового взрыва в замкнутом пространстве промышленных зданий и сооружений, в которых имеет место утечка или разлив жидкого углеводорода.

Предположим, что химической реакции между продуктами взрыва иарами углеводорода не происходит, а продукты взрыва в процессе испарения жидкости не меняют свой химический состав (химический состав горячего газа «заморожен»).

Пусть  $T_i$  и  $\mu_i$  — начальная температура и молярная масса горячих продуктов;

$T_0$  — начальная температура жидкости;

$T_f$  — конечная температура газовой смеси после окончания испарения;

$U_i$  и  $U_f$  — внутренняя энергия продуктов взрыва при  $T = T_i$  и  $T = T_f$ ;

$U_L$  — внутренняя энергия жидкости при  $T = T_0$ ;

$U_f^C$  — внутренняя энергия паров углеводорода при  $T = T_f$ ;

$M$  — начальная масса газа;

$m$  — масса жидкости, перешедшей в газ.

Закон сохранения энергии может быть записан в виде

At the moment in time of the end of the fuel condensation about 82 % of the fuel transforms into the liquid stage ( $\delta = 0,82$ ,  $\varepsilon = 0,18$ ). As a result of fuel condensation the molar fraction of the oxidizer increases more than in 5 times, from  $\alpha_0^{O_2} = 0,01$  before the wave front to  $\alpha^{O_2} = 0,053$  at the moment in time of the end of condensation.

**Evaluation of the mass of liquid fuel evaporated due to heat exchange with the products of gas explosion.** Let us calculate the total mass of liquid hydrocarbon that can be evaporated due to heat exchange with the hot products of explosion at constant volume. Explosion occurs above the liquid surface. The calculation is analogous to that of the evaporation of liquid fuel after gas explosion in the confined space of industrial buildings and structures in which there is a leakage or spill of liquid hydrocarbons.

It is assumed for the simplicity that there is no chemical reaction between the initial gas and hydrocarbon vapors and the initial gas do not change their chemical composition during fuel evaporation process (chemical composition of hot gas is frozen).

The following notations are used:  
 $T_i$  and  $\mu_i$  are initial temperature and molar mass of the hot gas;

$T_0$  is initial temperature of the liquid;

$T_f$  is the final temperature of gaseous mixture after evaporation;

$U_i$  and  $U_f$  are the internal energy of the initial gas at temperature  $T = T_i$  and  $T = T_f$  respectively;

$U_L$  is the internal energy of a liquid at  $T = T_0$ ;

$U_f^C$  is the internal energy of hydrocarbon vapors at  $T = T_f$ ;

$M$  is the initial mass of the gas;

$m$  is the mass of the liquid, evaporated into the gas.

The law of energy conservation can be written in the form

$$MU_i + mU_L = MU_f + mU_f^C.$$

Следовательно,  
Thus,

$$m/M = (U_i - U_f) / (U_f^C - U_L). \quad (1)$$

Согласно [8],  
According to [8],

$$\begin{aligned} U_i - U_f = & \left[ \frac{3}{4} \left( \frac{\mu_i}{\mu_a} + 1 \right) + \frac{3}{2} \left( \frac{\mu_i}{\mu_a} - 1 \right) \frac{\Theta / T_i}{e^{\Theta/T_i} - 1} \right] \frac{RT_i}{\mu_i} - \\ & - \left[ \frac{3}{4} \left( \frac{\mu_i}{\mu_a} + 1 \right) + \frac{3}{2} \left( \frac{\mu_i}{\mu_a} - 1 \right) \frac{\Theta / T_f}{e^{\Theta/T_f} - 1} \right] \frac{RT_f}{\mu_i}, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $R$  — универсальная газовая постоянная;

$\Theta$  и  $\mu_a$  — средняя температура возбуждения колебательных степеней молекул и молярная масса газа в атомарном состоянии соответственно.

В качестве конкретного примера рассмотрим детонацию газовой смеси  $C_2H_2 + 3O_2$  над поверхностью жидкого циклогексана. Детонационная волна распространяется сверху вниз и отражается от жидкой поверхности. Такой процесс рассматривался экспериментально в [9], где показано, что процесс испарения существенно интенсифицируется механическим перемешиванием фаз.

Акустическое сопротивление жидкости значительно больше, чем акустическое сопротивление газа. Поэтому отражение детонационной волны от жидкой поверхности можно рассматривать как отражение от жесткой стенки. Согласно [10], параметры газа позади отраженной от жесткой стенки детонационной волны, распространяющейся по  $C_2H_2 + 3O_2$ , равны:  $T_i = 4440$  К и  $\mu_i = 23,49$  кг / кмоль. Величина  $U_f^C - U_L$  хорошо известна и может быть взята из справочников. Результаты расчета, согласно уравнениям (1) и (2), представлены на рис. 5. Видно, что масса жидкости, которая способна испаряться в газ, может быть в 10 раз больше, чем первоначальная масса горячего газа. Таким образом, если новая порция окислителя поступит в систему и смешается с парами горючего, над

where  $R$  is a universal gas constant;

$\Theta$  and  $\mu_a$  are the average temperature of excitation of vibration degrees of freedom of molecules and the molar mass of the gas in atomic state.

As the example of explosion in gas-liquid system we will consider detonation wave in gas ( $C_2H_2 + 3O_2$ ) above a surface of liquid cyclohexane. Detonation wave in gas impacts vertically the surface of the liquid. As the result of the detonation wave reflection shock wave propagates up. This process was investigated experimentally in [9]. It was shown that the process of liquid evaporation intensified by mechanical mixing of phases.

Acoustical impedance of the liquid is much greater than acoustical impedance of the gas. Therefore, the liquid surface can be considered as rigid wall. According to [10], parameters of the gas behind detonation wave, reflected from a rigid wall in  $C_2H_2 + 3O_2$ , gaseous mixture are:  $T_i = 4440$  K and  $\mu_i = 23,49$  kg / kmol. The value  $U_f^C - U_L$  can be found in corresponding reference books. The results of the calculations according to (1), (2) are presented on fig. 5. As can be seen, the mass of the liquid, which can be evaporated by the gas, heated owing to detonation wave reflection from the gas-liquid

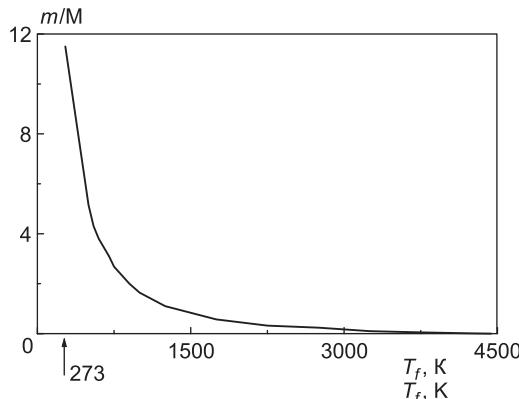


Рис. 5. Расчет массы жидкого циклогексана, которая может быть переведена в газ вследствие теплообмена с горячими продуктами позади отраженной детонационной волны в смеси  $C_2H_2 + 3O_2$

Fig. 5. Calculated mass of liquid cyclohexane, which can be evaporated by heat exchange with the hot gas behind reflected detonation wave in  $C_2H_2 + 3O_2$  gaseous mixture

поверхностью жидкости вновь возникнет взрывчатая газовая смесь, и, соответственно, возможен новый взрыв газа.

**Заключение.** Рассчитаны параметры плоской ударной волны в переобогащенной горючим смеси циклогексана с кислородом и азотом. Показана возможность конденсации паров горючего за фронтом волны. Она ведет к повышению давления и температуры и может существенно изменить химический состав газа. Так, мольная доля окислителя в газовой смеси может увеличиться в несколько раз. Подобная возможность может значительно изменить взрывные характеристики газовых смесей. Например, газовые смеси, начальная концентрация паров горючего в которых превышает ВКПВ, могут взрываться. Это происходит в случае, если конденсация паров горючего сдвигает химический состав газа в область воспламенения.

Возможность конденсации паров горючего должна быть принята во внимание при обеспечении взрывобезопасности промышленных зданий и сооружений, внутри которых могут находиться газовые смеси, переобогащенныеарами тяжелых углеводородных горючих. Например, конденсация паров должна приниматься во внимание при проектировании спринклерных систем, вентиляции, расчете механической

inter-phase, can be ten times more, than the initial mass of the hot gas. Thus, in case if a new portion of oxidizer will penetrate into heterogeneous system after the fuel evaporation, a new explosive mixture can be formed and subsequent explosions are possible.

**Conclusions.** The shock wave parameters in the fuel-rich cyclohexane-oxygen vapor mixtures are calculated. The possibility of fuel vapor condensation behind the wave front is shown. The fuel vapor condensation behind the shock wave led to the increase of pressure and temperature and can essentially change the chemical composition of the gas phase. For example, the molar fraction of the oxidizer in gaseous mixture can increase in a few times. This possibility can influence the explosion safety characteristics of corresponding mixtures. For example, the systems, which have an initial gas composition above the upper flammability limit, can, nevertheless, explode. It can happen, if the chemical composition of the gas starts to be inside the flammability range owing to fuel vapor condensation.

The fuel vapor condensation should be taken into account in estimation of the explosion hazard of chemical reactors, industrial and civil constructions, which may contain fuel-rich gaseous mixtures of heavy hydrocarbons with air. For example, for design of sprinkler and ventilati-

прочности сооружений и обеспечении аварийного сброса давления при взрыве. Причиной образования рассматриваемых газовых смесей могут быть утечки или разливы жидких углеводородов.

На частном примере показано, что масса жидкого углеводородного горючего, которая может испаряться вследствие теплообмена с горячими продуктами взрыва газовой смеси над поверхностью жидкости, может быть на порядок больше, чем первоначальная масса газа. Испарение столь значительной массы горючего может служить причиной последующих взрывов при проникновении воздуха в систему извне и формировании новой взрывчатой смеси. Это обстоятельство необходимо учитывать при анализе взрывоопасности газожидкостных химических реакторов, контейнеров для хранения и транспортировки жидкых углеводородов, а также промышленных зданий и сооружений, внутри которых возможны утечки или разливы жидких углеводородов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баратов, А.Н. // Пожарная безопасность [Текст] / А.Н. Баратов, В.А. Пчелинцев. — М. : Изд-во ассоциации строительных вузов, 2006.
2. Baker, W.E. // Explosion Hazards and Evaluation [Текст] / W.E. Baker, P.A. Cox, P.S. Westine, J.J. Kulesz, R.A. Strehlow. — Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam — Oxford — New York, 1983.
3. Alexander, J.M. Gas phase ignition in liquid phase air oxidation process — a recipe for disaster [Текст] / J.M. Alexander // Process Safety and Environmental Protection. — 1990. — 68B, N 1. — Р. 17–23.
4. Ландау, Л.Д. // Гидродинамика (Теоретическая физика, т. VI) [Текст] / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. — М. : Наука, 1986.
5. Зельдович, Я.Б. // Избранные труды (Химическая физика и гидродинамика) [Текст] / Я.Б. Зельдович; под ред. Ю.Б. Харитона. — М. : Наука, 1984.
6. on systems and mechanical resistance of constructions and buildings the possibility of the condensation should be considered. Among the reasons of fuel-rich gaseous mixtures formation are leaks and spills of liquid hydrocarbons with high saturated vapor pressure.
7. It was shown that the mass of liquid fuel which can be evaporated due to heat exchange with the hot gas behind the reflected detonation wave can be more than ten times higher than the mass of the hot gas. Evaporation such a large mass of fuel can cause subsequent explosions due to the penetration of air from outside into the system and the formation of a new explosive mixture. This fact must be taken into account in analyzing the explosion hazard of gas-liquid chemical reactors, containers for storage and transportation of liquid hydrocarbons, as well as industrial buildings and structures within which leaks or spills of liquid hydrocarbons are possible.

#### REFERENCES

1. Baratov, A.N. // Fire safety. — M. : Izdatel'stvo Assoziazii stroitel'nih vuzov, 2006.
2. Baker, W.E. // Explosion Hazards and Evaluation [Text] / W.E. Baker, P.A. Cox, P.S. Westine, J.J. Kulesz, R.A. Strehlow. — Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam — Oxford — New York, 1983.
3. Alexander, J.M. Gas phase ignition in liquid phase air oxidation process — a recipe for disaster [Text] / J.M. Alexander // Process Safety and Environmental Protection. — 1990. — 68B, N 1. — Р. 17–23.
4. Landau, L.D. // Fluid Mechanics [Text] / L.D. Landau, E.M. Lifshitz. — Butterworth-Heinemann, 1995.
5. Zel'dovich, Ya.B. // Selected works (Chemical Physics and Hydrodynamics) [Text] / Ya.B. Zel'dovich; ed. Yu.B. Khariton. — M. : Nauka, 1984.
6. Zel'dovich, Ya.B. // Physics of Shock Waves and High —

6. Зельдович, Я.Б. // Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений [Текст] / Я.Б. Зельдович, Ю.П. Райзер. — М. : Физматгиз, 1966.
  7. Chen, J.R. Simple and safe method for determining explosion limits at elevated pressures [Text] / J.R. Chen, K. Liu // AIChE Journal. — 2003. — Vol. 49, N 9. — P. 2427–2432.
  8. Nikolaev, Yu.A. Agreement of models of chemical reactions in gases with the second law of thermodynamics [Text] / Yu.A. Nikolaev, D.V. Zak // Combustion, Explosion and Shock Waves. — 1988. — Vol. 24, N 4. — P. 461–464.
  9. Mitropetros, K. Shock induced bubble explosions in liquid cyclohexane [Text] / K. Mitropetros // BAM-Dissertationsreihe. Band 11. — Berlin, Germany, 2005.
  10. Nikolaev, Yu.A. Analysis of equilibrium flows in detonation waves in gases [Text] / Yu.A. Nikolaev, M.E. Topchiyan // Combustion, Explosion and Shock Waves. — 1977. — Vol. 13, N 3. — P. 327–338.
- ФОМИН Павел Аркадьевич, канд. физ.-мат. наук, доц.  
Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск
- АЙРАПЕТИЯН Валерий Сергеевич, д-р физ.-мат. наук, проф.  
Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск
- МИТРОПЕТРОС Константинос, PhD, начальник группы, DECHEMA e.V., Франкфурт-на-Майне, Германия
- ЧЕН Джэнк-Ренн, д-р наук (физики и математики), проф.  
Национальный Гаосюнский первый университет науки и технологий, Тайвань
- Temperature Hydrodynamics Phenomena [Text] / Ya.B. Zel'dovich. — Academic Press, New York — London, 1966.
7. Chen, J.R. Simple and safe method for determining explosion limits at elevated pressures [Text] / J.R. Chen, K. Liu // AIChE Journal. — 2003. — Vol. 49, N 9. — P. 2427–2432.
  8. Nikolaev, Yu.A. Agreement of models of chemical reactions in gases with the second law of thermodynamics [Text] / Yu.A. Nikolaev, D.V. Zak // Combustion, Explosion and Shock Waves. — 1988. — Vol. 24, N 4. — P. 461–464.
  9. Mitropetros, K. Shock induced bubble explosions in liquid cyclohexane [Text] / K. Mitropetros // BAM-Dissertationsreihe. Band 11. — Berlin, Germany, 2005.
  10. Nikolaev, Yu.A. Analysis of equilibrium flows in detonation waves in gases [Text] / Yu.A. Nikolaev, M.E. Topchiyan // Combustion, Explosion and Shock Waves. — 1977. — Vol. 13, N 3. — P. 327–338.

**Fomin Pavel Arkad'evich**, candidate of physical and mathematical sciences, assistant professor, Siberian State University of Geosystems and Technology, Novosibirsk, Russia

**Ayrapetyan Valeriy Sergeevich**, doctor of physical and mathematical sciences, professor, Siberian State University of Geosystems and Technology, Novosibirsk, Russia

**Mitropetros Constantinos**, PhD, head of the Unit, DECHEMA e.V., Frankfurt am Main, Germany

**Chen Jenq-Renn**, doctor of sciences (physics and mathematics), professor, National Kaohsiung First University of Science and Technology, Kaohsiung, Taiwan

Получено 18.11.14

УДК 691.001

А.Н. ХАРХАРДИН

## ТОПОЛОГИЧЕСКИЙ ФОРМАЛИЗМ В ОПРЕДЕЛЕНИИ ВЕЛИЧИН ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПОСТОЯННЫХ\*

Приводятся расчеты величин фундаментальных физических постоянных с позиций дискретной топологии — науки о дискретных системах. Полученные результаты совпадают с величинами этих постоянных и уточняют их, в частности, скорость распространения света в вакууме.

**Ключевые слова:** дисперсные материалы, дискретная топология, фундаментальные физические постоянные, скорость света.

Исследования дисперсных материалов и минеральных вяжущих веществ негидратационного твердения, получаемых при мокром способе измельчения кварцодержащих горных пород, наталкиваются на расхождение значений современных фундаментальных физических постоянных с величинами, получаемыми дискретной топологией. Расхождения наблюдаются в расчетах золь- и гельсоставляющих компонентов суспензии, заряда и среднего расстояния между микро- и наночастицами и других показателей ее свойств [1]. На каждом уровне развития науки фундаментальные физические постоянные уточняются для достижения высокой степени достоверности основных физических теорий. Приведем результаты исследований дискретной топологии дисперсных систем по установлению величин фундаментальных физических постоянных и свойственного им корпускулярно-волнового дуализма.

Ранее [2] из закономерности гравитационного распределения частиц по размерам при плотной случайной ( $p = 3$ ,  $m = 3$ ) упаковке

$$\frac{d_n}{D_1} = \left( \frac{1}{10\eta_1(\sqrt{3}-1)^p} \right)^{\frac{m}{3}n}$$

были получены главные уровни распределения элементов дискретности вещества в виде зависимости размера  $D_1$  корпускулярных образований на различном масштабном уровне (от атома до кластера, нано- и микрочастиц, макрочастиц и космических тел) от размера  $d$  элемента их дискретности и плотности его упаковки  $\eta_1$  в интервалах по  $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ :  $(3,923\eta_1)^n d \leq D \leq 3,923^n \eta_1 d$ .

Мелкомасштабный уровень распределения размеров элементов образований имеет вид [3]:

$$D_1 = [10\eta_1(\sqrt{3}-1)^3]^n = (3,923\eta_1)^n d = d \dots \mathbf{3,92}\eta_1 d \dots \mathbf{15,39}\eta_1^2 d \dots \mathbf{60,38}\eta_1^3 d \dots \\ \dots 237\eta_1^4 d \dots 929\eta_1^5 d \dots \mathbf{3645}\eta_1^6 d \dots \mathbf{220096}\eta_1^9 d \dots \mathbf{13288748}\eta_1^{12} d \dots \quad (1) \\ \dots 802333778\eta_1^{15} d \dots$$

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках реализации проектной части государственного задания в сфере научной деятельности, проект № 11.1550.2014K.

Из этого выражения его критический подуровень для случайных упаковок элементов дискретности вещества при  $\eta_1 = 0,64976$  и  $m = (9 \dots 10,5) / 3$ :

$$D_1 = [10\eta_1(\sqrt{3}-1)^3]^m = 3,923^{3n} \eta_1^n d = (60,38\eta_1)^n d; \quad (2)$$

$$D_1/d\eta_1^{(9 \dots 10,5)/3} = 60,38^n = 1; 60,38; 3645; 220096; 13288748\dots$$

Константа  $D/d = 220096,5$  входит в выражение для определения величины  $h/\bar{e}$ , где  $h$  — постоянная Планка,  $\bar{e}$  — элементарный заряд (электрона), если отношение  $h/\bar{e}$  представим в виде произведения плотностей упаковок элементов дискретности псевдотвердого, псевдожидкого и критического состояния неупорядоченных систем. Величины их рассчитаем по рекуррентному уравнению фазотопологических переходов (ФТП) [2]:

$$\eta = \eta_1 \left[ 1 - \frac{1}{3k \ln[2000(\sqrt{3}-1)^9 \eta_1^5]} \right] = \eta_1 \left[ 1 - \frac{1}{3k \ln(120,753857_1^5)} \right]. \quad (3)$$

Необходимый ряд значений  $\eta_1$  для излучения и вещества рассчитаем методом обратного последовательного приближения до величины  $\eta_1 = 0,63347284$  при исходном значении  $\eta_{cl} = 1/10(\sqrt{3}-1)^3 = 0,25490381$ :

$$0,63347284052414923 \leftarrow \mathbf{0,54938193018442290281} \leftarrow$$

$$\leftarrow \mathbf{0,44758499898676154085} \leftarrow \mathbf{0,254903810567665797}.$$

Предварительно запишем выражение (2) с восхождением по коэффициенту ( $n = 3$ ) на более высокий уровень дискретности вещества в виде

$$(D/d) = (60,37693\eta_i)^n = 1; 60,377 \eta_i; 3645 \eta_i^2; \mathbf{220096} \eta_i^3 \dots$$

Данное равенство при  $n = 3$  преобразуем к виду

$$(D/d)^3 kC \leq (60,3769286\eta_i)^3 kC = 220096,456\eta_1\eta_2\eta_3 kC.$$

Левую часть этого равенства обозначим  $h/\bar{e}$ , подставляя полученные выше значения  $\eta_i$  для излучения и вещества:

$$h/\bar{e} = 220096 \cdot (0,54938193 \cdot 0,447584999 \cdot 0,25490381) kC, \quad (4)$$

где С — коэффициент размерности,  $C = 1 \cdot 10^{-21}$  эрг · с / ед. CGSE.

При  $k = 0,9999671818563986$  — величина, полученная при восхождении по уравнению (3) от  $\eta_1 = 0,640289423105008035$  до 1, имеем

$$h/\bar{e} = 1,3795557985048947176 \cdot 10^4 \cdot 0,9999671818564 \times$$

$$\times 10^{-21} \text{ эрг} \cdot \text{с} / \text{ед. CGSE} = \mathbf{1,37951052404459324 \cdot 10^{-17}} \text{ эрг} \cdot \text{с} / \text{ед. CGSE}.$$

Согласно современным данным [4]:

$$h/\bar{e} = 6,62606896 \cdot 10^{-27} \text{ эрг} \cdot \text{с} / (1,602176487 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 0,1 \text{ с} \times$$

$$\times 2,99792458 \cdot 10^{10} \text{ см} / \text{с}) = 1,379510132183684 \cdot 10^{-17} \text{ эрг} \cdot \text{с} / \text{ед. CGSE},$$

где

$$\bar{e} = 1,602176487 \cdot 10^{-29} \text{ Кл} \cdot 0,1 \text{ с} \cdot 2,99792458 \cdot 10^{10} \text{ см} / \text{с} =$$

$$= 4,80320427187535 \cdot 10^{-10} \text{ ед. CGSE};$$

$2,99792458 \cdot 10^{10}$  см/с — современная величина скорости света.

Современное отношение  $h / \bar{e} = 1,379510132 \cdot 10^{-17}$  эрг·с немногим меньше расчетного топологического отношения  $h / \bar{e} = 1,379510524 \cdot 10^{-17}$  эрг·с.

В настоящее время произведение постоянной Планка на число Авогадро определено точнее, чем каждая из этих констант [4]:  $hN_A = 3,9903126821$  Дж·с·моль<sup>-1</sup>.

Рассчитаем постоянную Планка по следующим данным.

Предварительно рассчитаем величину элементарного заряда в ед. CGSE, используя расчетное значение скорости света  $c = 2,9979245577 \cdot 10^{10}$  см/с (см. таблицу) и современное («КОДАТА-2006») значение  $\bar{e} = 1,602176487 \cdot 10^{-19}$  Кл:

$$\begin{aligned}\bar{e} &= 1,602176487 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 0,1\text{с} \cdot 2,9979245577 \cdot 10^{10} \text{ см/с} = \\ &= 4,803204236157 \cdot 10^{-10} \text{ ед. CGSE}.\end{aligned}$$

Новое значение постоянной Планка при этом будет равно:

$$\begin{aligned}h &= 1,379510524 \cdot 10^{-17} \text{ эрг·с/ед. CGSE} \cdot 4,8032042361573 \times \\ &\quad \times 10^{-10} \text{ ед. CGSE} = 6,62607079291457 \cdot 10^{-27} \text{ эрг·с};\end{aligned}$$

число Авогадро:

$$\begin{aligned}N_A &= 3,9903126821 \cdot 10^{-10} \text{ Дж·с·моль}^{-1} / 6,6260707929145696 \cdot 10^{-34} \text{ Дж·с} = \\ &= 6,02214012921 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1};\end{aligned}$$

константа Больцмана:

$$\begin{aligned}k_B &= R / N_A = 8,314472 \text{ Дж·К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1} / 6,02214012921 \cdot 10^{-23} \text{ моль}^{-1} = \\ &= 1,38065070250867 \cdot 10^{-23} \text{ Дж·К}^{-1}.\end{aligned}$$

Полученные топологические величины  $\eta_1 = 0,63347284$  (0,634052826) и  $\eta_1 = 0,640289423$  (0,640326743) имеют также отношение к определению величин фундаментальных физических постоянных. Так, величину постоянную тонкой структуры можно определить из отношения кривизны топологического пространства к критической плотности упаковки элементов дискретности излучения:

$$\begin{aligned}1/\alpha &= \frac{3 \cdot 10(0,63347284 / 0,634052826)^3 k^{0,064658736384}}{0,63347284^{10/3}} = \\ &= 30 \cdot 0,997258329 \cdot 4,580434388 = 137,03629 \cdot 0,99999788 = 137,03599961,\end{aligned}$$

где показатель степени  $k$  представлен как произведение  $\eta_{c2}\eta : \eta_{c2} = 0,1$ , а  $\eta = 0,64658736384$ , расчет этой величины приводится ниже.

Канонические значения  $\eta_1$  и  $\eta$  вычисляются из второй критической плотности упаковки элементов дискретности неупорядоченных систем:

$$\eta_i = (0,1 / k_i^n)^{0,2}, \quad (5)$$

$$k_1 = [1 / 10(\sqrt{3} - 1)^3]^{1/3} / [1 / 10(\sqrt{3} - 1)^6] \approx 0,634053 / 0,64976.$$

Из выражения (5) при  $n = 0 \dots 6$  получим:  $\eta_1 = 0,630957; 0,6340528; 0,6371635; 0,6402894; 0,6434307; 0,6465874; 0,6497595$ .

Современное значение постоянной тонкой структуры вычисляется по формуле  $1/\alpha = 4\pi\epsilon_0\hbar c / \bar{e}^2$ , где  $\epsilon_0$  — диэлектрическая проницаемость вакуума,  $\hbar = h / 2\pi$  — постоянная Планка, и будет равна [4]:

$$1/\alpha = (4\pi \cdot 8,854187817 \cdot 10^{-12} \text{ Фм}^{-1} \cdot 1,054571628 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \times \\ \times 2,99792458 \cdot 10^{10} \text{ см} / \text{с}) / (1,602176487 \cdot 10^{-19} \text{ Кл})^2 = 137,0359996844739.$$

Согласно полученным выше топологическим данным:

$$1/\alpha = (4\pi \cdot 8,854187817 \cdot 10^{-12} \text{ Фм}^{-1} \cdot 1,05457192 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \times \\ \times 2,9979245577 \cdot 10^{10} \text{ см} / \text{с}) / (1,602176487 \cdot 10^{-19} \text{ Кл})^2 = 137,03603657.$$

Это практически достаточно хорошая сходимость полученных результатов с экспериментом. Результаты расчетов приведены в таблице.

#### Значения фундаментальных физических постоянных согласно рекомендациям «КОДАТА-2006» и расчету

Константа	Единица измерения	Современное значение*	Вычисленное значение
$c$	$\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$	299792458	299792455,77
$\bar{e}$	Кл	$1,602176487 \cdot 10^{-19}$	$1,602176487 \cdot 10^{-19}$
$\bar{e}$	ед. CGSE	$4,80320427187 \cdot 10^{-10}$	$4,803204236157 \cdot 10^{-10}$
$h$	Дж·с	$6,62606896 \cdot 10^{-34}$	$6,6260707929 \cdot 10^{-34}$
$N_A$	моль $^{-1}$	$6,022141795 \cdot 10^{23}$	$6,02214012921 \cdot 10^{23}$
$hN_A$	Дж · с · моль $^{-1}$	$3,9903126821 \cdot 10^{-10}$	$3,9903126821 \cdot 10^{-10}$
$h / \bar{e}$	эрг · с / ед. CGSE	$1,37951013218 \cdot 10^{-10}$	$1,37951052404459 \cdot 10^{-10}$
$k_B$	Дж · К $^{-1}$	$1,3806503206 \cdot 10^{-23}$	$1,3806507025 \cdot 10^{-23}$
$1/\alpha$	—	137,0359997	137,03599961
$h / 2\pi$	Дж · с	$1,054571628 \cdot 10^{-34}$	$1,05457192 \cdot 10^{-34}$

\* С.Г. Каршенбойм. УФН. 2008. Т. 178, № 10.

**Уточнение величины скорости распространения света.** Скорость света как одна из фундаментальных физических величин является мировой константой. Считая, что скорость света зависит от отношения плотности энергий излучения и вещества в процессе развития Вселенной, т. е. от плотности упаковки в них элементов дискретности и структуры, представим ее в виде выражения

$$c = d \cdot M (\eta_u / \eta_v)^{\eta_c \cdot \eta}, \quad (6)$$

где  $d$ ,  $M$  — размерность пространства ( $d = 3$ ) и единица измерения (масштаб) скорости света,  $M = 10^8 \text{ м} / \text{с}$ ;

$\eta_u$  и  $\eta_v$  — плотность случайной упаковки элементов дискретности излучения и вещества;

$\eta_c$  и  $\eta$  — критическая плотность случайной упаковки элементов дискретности вещества ( $\eta_c \leq 0,1 \dots 0,2549$ ) и амплитудная плотность их упаковки.

Амплитудные (флуктуационные) плотности случайной упаковки элементов дискретности топологических пространств получают из уравнения (5) для их канонических значений, записанного в виде

$$\eta = [0,1 / (\eta_k / \eta_{l_{max}})^n]^{1/m}, \quad (7)$$

где  $\eta_k$ ,  $\eta_{l_{\max}}$  — канонические и наибольшая плотности случайной упаковки элементов дискретности топологических пространств;  $n$  — уровни развития структуры топологических пространств,  $n = 0 \dots 5$ ;  $m$  — показатель степени, определяющий период развития топологического пространства Вселенной,  $m = 0 \dots 5$ ;  $m = 0 \dots 1$  — в ранний период развития Вселенной,  $m = 5$  — в настоящий период и  $m = 2 \dots 4$  — в поздние периоды развития.

Из выражения (6) следует, что при  $\eta_c \eta \rightarrow 0$  в ранний период развития Вселенной скорость света равна  $10^8 \cdot d \text{ м/с} = 300000 \text{ км/с}$ . Из выражения (7) на ранней стадии развития Вселенной ( $m = 1$ ,  $n = 0$ )  $\eta = 0,1$ .

В настоящий период развития расширяющейся Вселенной ( $m = 5$ ,  $n = 5$ ) из выражения (7) каноническая, наибольшая и средняя плотности случайной (произвольной) упаковки элементов дискретности излучения на низком уровне топологического состояния соответственно будут равны:

$$\begin{aligned}\eta_{l_k} &= [0,1 / (0,634052826 / 0,649759526)]^{1/5} = 0,646587363840471, \\ \eta_l &= (0,64658736384047 \cdot 0,63347284052414923)^{1/2} = 0,639996510942868141, \\ \eta_1 &= (0,639996510942868 \cdot 0,633472840524149)^{1/2} = 0,63672632088875.\end{aligned}$$

Вычислим полный набор спектра излучения в единицах плотности упаковки элементов его дискретности на подуровнях:

— на главном подуровне

$$\begin{aligned}1,005523135 &\leftarrow 0,936003545 \leftarrow 0,866096308 \leftarrow 0,795249264 \leftarrow \\ &\leftarrow 0,72258904 \leftarrow \mathbf{0,64658736384} \rightarrow 0,564120359 \rightarrow \\ &\rightarrow 0,466756634 \rightarrow 0,3086441 \rightarrow 0,\end{aligned}$$

— на верхнем подуровне

$$\begin{aligned}0,9997102488 &\leftarrow 0,930174435 \leftarrow 0,860212938 \leftarrow 0,71638485066 \leftarrow \\ &\leftarrow \mathbf{0,639996510943} \rightarrow 0,55673815674 \rightarrow \\ &\rightarrow 0,457255948 \rightarrow 0,2842876865,\end{aligned}$$

— на среднем подуровне

$$\begin{aligned}1,0634827 &\leftarrow 0,9939944 \leftarrow 0,92444006 \leftarrow 0,854421346 \leftarrow \\ &\leftarrow 0,783345728 \leftarrow 0,710262517 \leftarrow \mathbf{0,6334728405241} \rightarrow \\ &\rightarrow 0,5493819301844229028 \rightarrow 0,44758499898676154085 \rightarrow \\ &\rightarrow \mathbf{0,254903810567665797}.\end{aligned}$$

Отсюда следует, что объемная доля темной субстанции и конденсата в ячеистой структуре Вселенной равна:

$$\begin{aligned}0,930 - 0,936 \text{ и } 1 - 0,930465 &\approx 0,99971 - 0,93017 \approx \\ &\approx 1,0055 - 0,936 \approx 0,0695(6,95 \%).\end{aligned}$$

Энергия конденсата (межгалактического газа и вещества) от полной энергии в современной Вселенной составляет:

$$\varepsilon = (\Delta\eta \cdot \eta_i) / (1 \dots \eta_l) \cdot 100 \text{ \%}.$$

Так,

$$\begin{aligned}\varepsilon_1 &= 100(1,005523135 - 0,936003545)0,64658736384 / (1 \dots 1,005523135) = \\ &= 4,495 \dots 4,470 \%, \\ \varepsilon_1 &= 100(0,9997102488 - 0,930174435)0,639996510943 / \\ &\quad / (1 \dots 0,9997102488) = 4,45 \%, \\ \varepsilon_1 &= 100(1,063427 - 0,9939944)0,63347284 / (1 \dots 1,0634827) = \\ &= 4,40 \dots 4,11 \%, \\ \varepsilon_1 &= 100(0,99996712 - 0,930432)0,6402894 / (1 \dots 0,999967) = 4,45 \%, \\ \varepsilon_1 &= 100(1 - 0,930465)0,64032674 / 1 = 4,45 \%. \end{aligned}$$

Энергия темной материи от полной энергии в современной Вселенной составляет:  $\varepsilon_2 = 100\eta_c\pi / 3\sqrt{2}$ , а плотность упаковки в ней элементов дискретности равна  $\eta_l = (\eta_c\pi / 3\sqrt{2})^{0.2}$ .

$\varepsilon_2 = 100 \cdot 0,3086441 \cdot 0,7405 = 22,8545 \%$ ,  $\eta_l = 0,228545^{0.2} = 0,74438$  — переохлажденное состояние системы,  
 $\varepsilon_2 = 100 \cdot 0,2842877 \cdot 0,7405 = 21,0505 \%$ ,  $\eta_l = 0,210505^{0.2} = 0,7322$  — слабое отталкивание частиц,  
 $\varepsilon_2 = 100 \cdot 0,2549038 \cdot 0,7405 = 18,8751 \%$ ,  $\eta_l = 0,188751^{0.2} = 0,7164$  — слабое отталкивание частиц,  
 $\varepsilon_2 = 100 \cdot 0,2854673 \cdot 0,7405 = 21,1383 \%$ ,  $\eta_l = 0,211383^{0.2} = 0,7328$  — слабое отталкивание частиц,  
 $\varepsilon_2 = 100 \cdot 0,2856168 \cdot 0,7405 = 21,1494 \%$ ,  $\eta_l = 0,211494^{0.2} = 0,7329$ , следовательно,  $\varepsilon_2 \leq 100(\pi / 3\sqrt{2})^{0.2} \leq 22,26\%$ .

Темная энергия во Вселенной составляет:  $\varepsilon_3 = 100 \% - (4,45 + 22,26)\% = 73,29 \%$ .

Скорость света в настоящий период развития Вселенной:

$$\begin{aligned}c &= 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \cdot (0,633472840524149 / \\ &\quad / 0,640289423105008)^{0,06465873684047} = \\ &= 2,99792455770653 \cdot 10^8 \text{ м/с}. \end{aligned}$$

Кривизна 3-мерного топологического пространства при данной скорости света:  $2,9979245577 / 3 = 0,999308186$ .

В самый ранний период развития горячей Вселенной скорость света достигала следующих величин:

$$\begin{aligned}c &= 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} (0,63347284 / 0,1)^{0,01} = 3,055896 \cdot 10^8 \text{ м/с}; \\ c &= 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} (0,63347284 / 0,2549)^{0,01} = 3,0274 \cdot 10^8 \text{ м/с}; \\ c &= 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} (0,630957 / 0,6340528)^{0,01} = 2,999985 \cdot 10^8 \text{ м/с}; \\ c &= 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} (0,630957 / 0,634053)^{0,0255} = 2,9996 \cdot 10^8 \text{ м/с}. \end{aligned}$$

Принимая плотность упаковки излучения  $\eta_u = 1$ , а плотность упаковки вещества  $\eta_b = 0,9999671818$ , скорость света

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \cdot (1 / 0,9999672)^{0,01 \dots 0,0255} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$$

Для незначительно раннего периода развития Вселенной ( $n = 0$ ,  $m = 1$  и  $\eta_i < \eta_b$ ) скорость света

$$c = 3 \cdot 10^8 (0,633473 / 0,640289)^{0,0255} = 2,9992 \cdot 10^8 \text{ м/с.}$$

При равенстве или незначительно меньшей плотности излучения, чем плотность вещества, скорость света

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} (0,63347284 / 0,6340528)^{0,01} = 2,99997 \cdot 10^8 \text{ м/с};$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} (0,63347284 / 0,6340528)^{0,0255} = 2,99993 \cdot 10^8 \text{ м/с.}$$

Для периода, ранее настоящего ( $n = 0$ ,  $m = 1$ ), из выражения (5) получим

$\eta = 0,630957$ . Скорость света при этом

$$c = 3 \cdot 10^8 (0,63347284 / 0,6340528)^{0,063096} = 2,9998 \cdot 10^8 \text{ м/с};$$

$$c = 3 \cdot 10^8 (0,630957 / 0,6402894)^{0,02549} = 2,9989 \cdot 10^8 \text{ м/с};$$

$$c = 3 \cdot 10^8 (0,63347284 / 0,6402894)^{0,063096} = 2,997975 \cdot 10^8 \text{ м/с.}$$

Вслед за настоящим периодом развития расширяющейся Вселенной скорость света будет определяться плотностью упаковки элементов дискретности вещества. Так, при  $n = 0$  и  $m = 1$  из выражения (7) получим  $\eta = 0,630957$ , а при  $n = 5$  и  $m = 5$  получим:

$$\eta = [0,1 / (0,630957 / 0,64976)^5]^{1/5} = 0,64976;$$

$$\eta = [0,1 / (0,630957 / 0,6402894)^5]^{1/5} = 0,6402898;$$

$$\eta = [0,1 / (0,6402894 / 0,64976)^5]^{1/5} = 0,6402894;$$

$$\eta = [0,1 / (0,63347284 / 0,63405283)^5]^{1/5} = 0,631535.$$

Следовательно, в флюктуациях плотности вещества плотность случайной упаковки элементов его дискретности может достигать величины 0,64976, при этом скорость света понижается:

$$c_1 = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} (0,6334728 / 0,6402894)^{0,064976} = 2,997914 \cdot 10^8 \text{ м/с};$$

$$c_1 = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} (0,630957 / 0,6402894)^{0,063096} = 2,9972 \cdot 10^8 \text{ м/с};$$

$$c_1 = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} (0,630957 / 0,6402894)^{0,064976} = 2,9962 \cdot 10^8 \text{ м/с.}$$

Для значительно более позднего периода развития Вселенной скорость света будет равна:

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} (0,6334728 / 0,6402894)^{0,2549 \cdot 0,63096} = 2,9948 \cdot 10^8 \text{ м/с};$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} (0,630957 / 0,6402894)^{0,2549 \cdot 0,63096} = 2,9929 \cdot 10^8 \text{ м/с};$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} (0,63347284 / 0,64976)^{0,2549 \cdot 0,64976} = 2,9874 \cdot 10^8 \text{ м/с};$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} (0,630957 / 0,64976)^{0,2549 \cdot 0,63096} = 2,986 \cdot 10^8 \text{ м/с.}$$

Наименьшая скорость света в затухающей Вселенной:

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} (0,2549 / 0,64976)^{0,1} = 2,732 \cdot 10^8 \text{ м/с};$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} (0,1 / 0,64976)^{0,10762} = 2,713 \cdot 10^8 \text{ м/с};$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} (0,2549 / 0,64976)^{0,1656} = 2,569 \cdot 10^8 \text{ м/с};$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} (0,1 / 0,64976)^{0,1656} = 2,200 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$$

Таким образом, показатель степени в формуле (7) находится в пределах  $0,630957^5 \leq \eta_c \eta \leq 0,2549 \eta_l$  либо  $0,1 \leq \eta_c \eta \leq 0,1656$ .

Для земных условий дискретная топология дает один из совпадающих результатов по стандартному значению величины ускорения свободного падения:

$$g = \{10c(\sqrt{3}-1)^3/4\}0,9999671818^3 = 9,80665 \text{ м/с}^2, \text{ где } c = 10 \text{ м/с}^2.$$

Рекомендуемое стандартное значение  $9,80665 \text{ м/с}^2$  [5].

Возможности дискретной топологии в объяснении физического состояния структуры излучения и вещества и общей закономерности развития Вселенной на этом не исчерпаны. Для получения точных величин фундаментальных физических постоянных стоит задача уточнения отношения постоянной Планка к величине элементарного заряда электрона и ряда других постоянных величин.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хархардин, А.Н. Фундаментальные физические константы в разработке экологических материалов с использованием нанотехнологий [Текст] / А.Н. Хархардин, Р.В. Лесовик // Здоровье населения — стратегия развития среды жизнедеятельности : сб. статей к общему собранию РААСН / БГТУ им. В.Г. Шухова. — Белгород : Изд-во БГТУ, 2008. — Т. 2. — С. 368–377.
2. Хархардин, А.Н. Структурная топология дисперсных материалов [Текст] / А.Н. Хархардин. — Белгород : Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2011. — 288 с.
3. Хархардин, А.Н. Главные уровни дискретности вещества. Ч. 4 [Текст] / А.Н. Хархардин // Изв. вузов. Строительство. — 2014. — № 5. — С. 13–20.
4. Каршенбойм, С.Г. Новые рекомендованные значения фундаментальных физических постоянных (КОДАТА-2006) [Текст] / С.Г. Каршенбойм // Успехи физических наук. — 2008. — Т. 178, № 10. — С. 1057–1064.
5. Сагитов, М.У. Постоянная тяготения и масса Земли [Текст] / М.У. Сагитов. — М. : Наука, 1969. — 188 с.

*ХАРХАРДИН Анатолий Николаевич, д-р техн. наук, проф.; E-mail: s-nsm@intbel.ru  
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*

Получено 14.11.14

**Kharkhardin Anatoliy Nikolaevich**, doctor of technical sciences, professor; E-mail: s-nsm@intbel.ru, Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

#### **TOPOLOGICAL FORMALISM IN DETERMINATION OF FUNDAMENTAL PHYSICAL CONSTANTS**

Calculations of sizes of fundamental physical constants from a position of discrete topology — science about discrete systems are given. The received results coincide with size of these constants and specify them, in particular distribution of velocity light.

**Key words:** disperse materials, discrete topology, fundamental physical constants, light velocity.

REFERENCES

1. Kharkhardin, A.N. Fundamental physical constants in development of ecological materials with use of nano-technology [Text] / A.N. Kharkhardin, R.V. Lesovik // Health of population is a strategy of environmental development: Proceedings of Forum of RAABN. — Belgorod : BSTU, 2008. — Vol. 2. — P. 368–377.
  2. Kharkhardin, A.N. Structural topology of dispersed materials [Text] / A.N. Kharkhardin. — Belgorod : BSTU, 2011. — 288 p.
  3. Kharkhardin, A.N. Basic discreteness of mater. Part 4 [Text] / A.N. Kharkhardin // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2014. — N 5. — P. 13–20.
  4. Karshenbojm, S.G. New recommended values for fundamental physical constants (CODATA-2006) [Text] / S.G. Karshenbojm // Advances of physical sciences. — 2008. — Vol. 178, N 10. — P. 1057–1064.
  5. Sagitov, M.U. Gravity constant and mass of the Earth [Text] / M.U. Sagitov. — M. : Nauka, 1969. — 188 p.
-

## УКАЗАТЕЛЬ

статей, опубликованных в 2014 г. (с № 1 по № 12)

### СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

- Дмитриев П.А., Михайленко О.А., Кондаков А.Г.** О конструктивных мерах, повышающих сейсмостойкость малоэтажных зданий из цельной или массивной kleеной древесины № 5
- Митасов В.М., Адищев В.В., Себешев В.Г., Нарушевич А.Н., Шмаков Д.С.** Оценка надежности типовой конструкции платформенного стыка на основе результатов натурных обследований № 9–10
- Митасов В.М., Пантелеев Н.Н., Нарушевич А.Н.** Экспериментальные исследования новой конструкции стыка стеновых панелей с перекрытием в крупнопанельных зданиях № 12
- Пономарев А.Б., Калошина С.В.** Определение осадок фундаментов существующего здания при влиянии на него нового строительства № 6
- Руднев И.В., Жаданов В.И., Лисов С.В.** Соединения элементов деревянных конструкций с применением вклеенных стальных пластин № 4

### ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

- Дукарт А.В., Олейник А.И.** Об эффективности динамических гасителей при пусковом режиме прохождения виброизолированной конструкции через резонанс № 4
- Дукарт А.В., Олейник А.И.** Двухслойный континуальный гаситель колебаний № 8
- Коломоец А.А., Модин А.С.** Устойчивость равновесных состояний цилиндрической оболочки при действии неравномерного внешнего давления № 1
- Нгуен Чонг Там.** Оценка вибраций тоннеля при движении поездов № 7
- Немировский Ю.В., Болтаев А.И.** Метод расчета деревянных стропильных покрытий зданий. С о б щ е н и е 1. Моделирование и общие закономерности № 3
- Немировский Ю.В., Болтаев А.И.** Метод расчета деревянных стропильных покрытий зданий. С о б щ е н и е 2. Численный метод решения и примеры расчета № 9–10
- Полуэктов В.А., Миленков В.Е., Шутов В.А.** Напряженное состояние пластин с отверстием № 11
- Шутов В.А., Миленков В.Е., Полуэктов В.А.** Деформирование составных пластин № 1

### СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

- Абдрахимов В.З., Колпаков А.В.** Использование кальцийсодержащих отходов: доломитовых высыпок и известняковой муки в производстве кирпича № 5
- Безбородов В.Г., Меденцов Л.Ф., Меденцова Н.Л.** Влияние механоактивации сырьевой смеси и степени дисперсности флюсующего компонента на структуру и свойства пенокерамики на основе суглинка № 2
- Володченко А.Н., Лесовик В.С.** Силикатные материалы автоклавного твердения на основе алюмосиликатного сырья как фактор оптимизации системы «человек — материал — среда обитания» № 3
- Галкин Ю.Ю., Пшеничный Г.Н.** О химическом аспекте ползучести цементных бетонов № 8
- Зырянова В.Н., Бердов Г.И., Верещагин В.И., Коцупало Н.П., Рябцев А.Д.** Композиционные магнезиальные вяжущие и строительные материалы из природных высокоминерализованных поликомпонентных рассолов № 2

## Указатель

---

- Ильина Л.В., Бердов Г.И., Гичко Н.О., Теплов А.Н.** Повышение прочности цементного камня при введении дисперсных минеральных добавок № 3
- Ильина Л.В., Бердов Г.И., Гичко Н.О., Теплов А.Н.** Изменение механической прочности и структуры портландцементного камня при введении комплексных дисперсных минеральных наполнителей № 4
- Калашников В.И., Белякова Е.А., Мороз М.Н., Москвин Р.Н., Белякова В.С.** Гигрометрические свойства порошковых и порошково-активированных бетонов на основе различных горных пород № 11
- Калашников В.И., Сузальцев О.В., Дрянин Р.А., Сехпосян Г.П.** Роль дисперсных и тонкозернистых наполнителей в бетонах нового поколения № 7
- Колпаков А.В., Абдрахимов В.З., Кайракбаев А.К.** Исследование влияния горелых пород в производстве теплоизоляционного кирпича на механические свойства методом линейной регрессии № 9–10
- Логанина В.И., Камбург В.Г., Макарова Л.В., Бодажков Н.Ю.** Оптимизация состава сухих строительных смесей с учетом их стоимости № 6
- Логанина В.И., Пышкина И.С.** Разработка технологии синтеза добавки на основе гидросиликатов кальция для сухих строительных смесей № 7
- Машкин Н.А., Шаравин Ю.А., Каткова Т.Ф., Величко Б.П., Ступин В.П.** Технология и свойства дисперсно-армированного керамического кирпича из пылеватых суглинков № 4
- Овчаренко Г.И., Аввакумов Е.Г., Песоцкий А.В., Викторов А.В., Садрашева А.О.** Влияние вида тонкоизмельченных минеральных добавок на прочность цементного камня. Часть 1 № 12
- Овчаренко Г.И., Михайленко А.А.** Взаимосвязь прочности и фазового состава автоклавного известково-зольного камня. Часть II № 1
- Пименов А.И., Ибрагимов Р.А., Изотов В.С.** Влияние углеродных нанотрубок и способа их введения на свойства цементных композиций № 6
- Пименов С.И., Ибрагимов Р.А., Изотов В.С.** Влияние гидромеханохимической активации цементной суспензии на физико-механические свойства тяжелого бетона № 11
- Раков М.А., Бердов Г.И., Ильина Л.В.** Повышение прочности газобетона введением дисперсных минеральных добавок и электролитов № 8
- Рахимбаев Ш.М., Логвиненко А.А.** Реологические свойства материалов для строительства объектов транспортной инфраструктуры № 5
- Рахимбаев Ш.М., Половнева А.В.** Теоретическое обоснование энергоэффективной тепловой обработки бетона № 3
- Рахимбаев Ш.М., Половнева А.В.** Кинетика твердения цементных бетонов после энергоэффективной тепловой обработки № 6
- Рахимбаев Ш.М., Половнева А.В., Аниканова Т.В.** Особенности твердения мелкозернистых бетонов и пенобетонов при различных температурах № 12
- Савицкий Н.В., Павленко Т.М., Аббасова А.Р.** Свойства вибровакуумированных золобетонов № 6
- Сапелин А.Н., Елистраткин М.Ю.** Эффективный керамический материал для решения специальных задач в малоэтажном строительстве № 7
- Селяев В.П., Неверов В.А., Куприяшкина Л.И., Селяев П.В., Окин М.А.** Прогнозирование теплопроводности наполнителей вакуумных изоляционных панелей № 4
- Селяев В.П., Неверов В.А., Куприяшкина Л.И., Селяев П.В.** Влияние цеолитсодержащих наполнителей на прочность и пористость цементных композитов № 6
- Селяев В.П., Низина Т.А., Низин Д.Р., Фомин Н.Е., Юдин В.А.** Влияние алифатического разбавителя Этал-1 на упругопрочностные характеристики и щелочестойкость эпоксидных композитов № 8
- Селяев В.П., Седова А.А., Куприяшкина Л.И., Осипов А.К., Куприяшкина Е.И.** Изучение процессов повреждения цементного камня, наполненного цеолитсодержащей породой, растворами хлористоводородной кислоты № 7

<b>Синельникова Р.М., Кучеренко А.Г., Дюльдина М.В., Макаров В.Г.</b> Особенности формования стеклопластиковых футеровок	№ 1
<b>Столбоушкин А.Ю., Бердов Г.И., Столбоушкина О.А., Злобин В.И.</b> Влияние температуры обжига на формирование структуры керамических стеновых материалов из тонкодисперсных отходов обогащения железных руд	№ 1
<b>Тацки Л.Н., Машкина Е.В.</b> Пути повышения качества керамического кирпича на основе местного сырья	№ 4
<b>Траутваин А.И., Ядыкина В.В., Гридчин А.М., Вербкин В.И.</b> Управление процессом взаимодействия в системе «органическое вяжущее — минеральный наполнитель»	№ 4
<b>Фокин Г.А., Вилкова Н.Г., Гуськов А.С.</b> Влияние размеров частиц и их масштабного содержания в исходной суспензии на прочность цементного камня	№ 2
<b>Федосов С.В., Румянцева В.Е., Касьяненко Н.С., Манохина Ю.В., Виталова Н.М.</b> Математическое моделирование процессов коррозионной деструкции цементных бетонов, протекающих по механизму второго вида, при малых значениях числа Фурье	№ 5
<b>Хархардин А.Н.</b> Математические модели вложения и разбиения образований на элементы дискретности вещества. Часть 3	№ 4
<b>Хархардин А.Н.</b> Главные уровни дискретности вещества. Часть 4	№ 5
<b>Хархардин А.Н.</b> Анализ уровней дискретности вещества. Часть 5	№ 6
<b>Хархардин А.Н., Строкова В.В., Кожухова Н.И.</b> Принципы атомной упаковки кластеров и топологические состояния поверхностных слоев безлигандных нано- и микрочастиц. Часть 1	№ 2
<b>Хархардин А.Н., Строкова В.В., Кожухова Н.И.</b> Вывод уравнений для критических размеров кластеров, нано- и микрочастиц. Часть 2	№ 3
<b>Черноусов Н.Н., Черноусов Р.Н., Суханов А.В.</b> Влияние возраста высокопрочного дисперсно-армированного шлакопемзобетона на его прочностные и деформативные характеристики	№ 7
<b>Шахов С.А., Ключникова Н.С.</b> Геополимерные вяжущие: отличительные особенности и перспективы	№ 1
<b>Шепелев И.И., Бочкин Н.Н., Дашкевич Р.Я., Сахачев А.Ю.</b> Опыт применения нетоксичных отходов глиноземного производства в дорожном строительстве	№ 11

## **ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

<b>Волков С.В., Шведов В.Н.</b> Влияние организационно-технологических решений на уровень качества строительства и безопасность возводимых зданий	№ 2
<b>Волков С.В., Шведов В.Н.</b> Обоснование способа подогрева и выдерживания бетона при возведении высотных зданий в условиях низких температур	№ 9–10
<b>Герасимов В.В., Коробова О.А., Щепотин Г.К., Михальченко О.Ю.</b> Эффективность системотехники организационно-технологических решений строительных объектов	№ 1
<b>Грузин В.В., Абраменков Д.Э., Грузин А.В., Угай В.В.</b> Совершенствование технологий усиления грунтовых оснований зданий и сооружений	№ 6
<b>Кудяков А.И., Апкарян А.С., Христюков В.Г.</b> Автоматизация технологического процесса обжига гранулированной пеностеклокерамики	№ 12
<b>Кузнецов С.М., Немчикова Л.А.</b> Обоснование очередности строительства объектов	№ 9–10
<b>Мосаков Б.С., Щепотин Г.К.</b> Повышение организационно-технологической надежности процесса обеспечения безопасности транспортного потока	№ 2

## **ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО**

<b>Атавин А.А., Яненко А.П.</b> О скоростях движения судна в камере судоходного шлюза при расчете его пропускной способности	№ 7
--	-----

- Бальзанников М.И.** Обоснование установленной мощности ГЭС энергетического гидроузла № 8
- Бальзанников М.И., Родионов М.В., Мелик-Пашаева Н.Э.** Исследования наката ветровых волн на новые конструкции гидротехнических берегоукрепительных сооружений № 9–10
- Дегтярев-мл. В.В., Ершов Д.И.** Математическая модель расчета гидродинамики потока на устьевых взморьях бесприливных рек № 4
- Дзюбенко Л.Ф., Кожевников А.А.** Оценка фильтрационного режима хвостохранилища в процессе его заполнения № 7
- Дзюбенко Л.Ф., Кузнецова Ю.А., Соколова В.А., Топоров В.М.** Многофакторный анализ состояния эксплуатируемых гидротехнических сооружений № 1
- Кузнецов Г.И., Балацкая Н.В.** Влияние фильтрационных и криогенных факторов на безопасность гидроотвалов в суровых климатических условиях № 4

## **САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА**

- Багоутдинова А.Г., Золотоносов Я.Д., Посохин В.Н.** Математическое моделирование винтовых теплообменных элементов № 8
- Баймачев Е.Э.** Определение минимальных затрат эксергии на отопление и естественную вентиляцию жилых зданий № 7
- Бодров В.И., Кучеренко М.Н., Сухов В.В.** Интенсивность естественного воздухообмена в подземных пешеходных переходах № 5
- Бройда В.А.** Годовой расход тепла на вентиляцию зданий № 4
- Войтов Е.Л., Сколубович Ю.Л., Крутков А.Е.** Технология очистки и повторного использования промывных вод водопроводных станций поверхностных водоисточников № 6
- Гальперин Е.М.** Еще раз о надежности функционирования водопроводной сети № 5
- Камбург В.Г., Сафонов М.А., Лушкин И.А., Титов Е.А., Демков А.В.** Кинетика процесса коагуляции при реагентной обработке природной воды в присутствии контактных сред № 12
- Ким А.Н.** Проблемы питьевого водоснабжения и пути их решения путем дообработки водопроводной воды у потребителя № 5
- Кононова М.С.** Сравнительный анализ вариантов расположения теплообменников в системах централизованного горячего водоснабжения жилой застройки № 11
- Костин В.И.** Выбор параметров наружного воздуха для переходных условий при расчете систем климатизации № 2
- Костин В.И., Кармишкина А.В.** Влияние величины теплотехнической неоднородности наружных ограждающих конструкций на толщину утеплителя № 3
- Костин В.И., Кармишкина А.В.** Особенности расчета холодоизделийности систем климатизации термоконстантных помещений № 6
- Кульков В.Н., Солопанов Е.Ю., Кудрявцева Е.В.** Использование информационных технологий математического моделирования биологической очистки сточных вод № 6
- Логачев И.Н., Логачев К.И., Аверкова О.А.** Эжекция воздуха при перегрузках сыпучих материалов в вертикальных каналах с ковшами. С о б щ е н и е 3. Обсуждение результатов исследований № 1
- Логачев И.Н., Логачев К.И., Аверкова О.А., Толмачева Е.И.** Разработка способов снижения объема аспирации при перегрузках сыпучих материалов ковшовыми элеваторами. С о б щ е н и е 1. Особенности расчетной схемы аспирации элеваторных перегрузок № 2
- Логачев И.Н., Логачев К.И., Аверкова О.А., Толмачева Е.И.** Разработка способов снижения объема аспирации при перегрузках сыпучих материалов ковшовыми элеваторами. С о б щ е н и е 2. Снижение объемов аспирации № 3

- Логачев И.Н., Логачев К.И., Аверкова О.А., Толмачева Е.И.** Разработка способов снижения объема аспирации при перегрузках сыпучих материалов ковшовыми элеваторами. С о б щ е н и е 3. Результаты расчетов и их обсуждение № 4
- Логачев К.И., Аверкова О.А., Толмачева Е.И.** Моделирование пылевоздушных течений в спектре действия круглого местного вентиляционного отсоса-расструба. С о б щ е н и е 1. Разработка математической модели и вычислительного алгоритма № 9–10
- Логачев К.И., Аверкова О.А., Толмачева Е.И.** Моделирование пылевоздушных течений в спектре действия круглого местного вентиляционного отсоса-расструба. С о б щ е н и е 2. Исследование параметров отрывной области № 11
- Логачев К.И., Аверкова О.А., Толмачева Е.И.** Моделирование пылевоздушных течений в спектре действия круглого местного вентиляционного отсоса-расструба. С о б щ е н и е 3. Динамика пылевых частиц № 12
- Мансуров Р.Ш.** Многофункциональное устройство обработки воздуха для систем обеспечения микроклимата № 1
- Мансуров Р.Ш.** Интеграция энергосберегающего оборудования в многофункциональное устройство обработки воздуха № 2
- Рохлецова Т.Л., Кияница Л.А., Рогов Д.В.** Возможности применения распределительных гребенок теплоснабжения из труб прямоугольного сечения в ЦТП и ИТП № 3
- Рымаров А.Г., Савичев В.В.** К расчету требуемого воздухообмена в помещениях общественных зданий в зависимости от количества человек № 4
- Савельев Е.Г., Рохлецова Т.Л.** Опыт применения солнечной энергии и грунтового аккумулятора в условиях юга Сибири № 11
- Самарин О.Д.** Расчет удельных теплопотерь через точечные теплотехнические неоднородности при использовании актуализированной редакции СНиП 23–02 № 1
- Самарин О.Д.** Вероятностно-статистическое обоснование параметров охладительного периода № 2
- Самарин О.Д.** О подтверждении вероятностно-статистических соотношений между расчетными параметрами наружного климата № 3
- Серегина Ю.С., Щукина Т.В.** К вопросу выбора теплообменника для геотермальных тепловых насосов непосредственного испарения № 6
- Уляшева В.М., Канев М.А.** Численное моделирование воздушных потоков в кондиционируемом помещении № 9–10
- Шиляев М.И., Горбунков А.И., Богомолов А.Р., Хромова Е.М.** Расчет предельной влажности угольного концентрата при его обезвоживании в центрифугах № 9–10
- Шиляев М.И., Горбунков А.И., Богомолов А.Р., Хромова Е.М.** Обезвоживание угольной суспензии в вакуум-фильтрах и фильтр-прессах № 11

## СТРОИТЕЛЬСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И МОСТОВ

**Дубенков А.А.** Моделирование организационно-технологических решений в проектах организации строительства земляного полотна на многолетнемерзлых грунтах № 6

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ

**Абраменков Д.Э., Абраменков Э.А., Виговская Т.Ю., Кутумов А.А., Шабанов Р.Ш.** Геометрическая аналогия в принципиальных схемах пневмоударных механизмов с дроссельным воздухораспределением № 9–10

**Абраменков Д.Э., Абраменков Э.А., Виговская Т.Ю., Кутумов А.А., Шабанов Р.Ш.** Синтез и анализ пневматических ударных механизмов при выборе и обосновании их принципиальной схемы № 12

## **Указатель**

---

- Абраменков Д.Э., Абраменков Э.А., Гвоздев В.А., Канивец В.А.** Принципиальная схема пневмоударного механизма дроссельно-бесклапанного типа и его физико-математическое описание № 5
- Абраменков Д.Э., Абраменков Э.А., Гвоздев В.А., Канивец В.А., Малышев М.С.** Пневмоударный механизм дроссельно-бесклапанного типа и его физико-математическое описание № 8
- Абраменков Д.Э., Абраменков Э.А., Дедов А.С., Крутиков Е.И., Попов Д.А.** Дроссельно-беззолотниковые пневматические ударные механизмы и их физико-математическое описание № 3
- Абраменков Д.Э., Абраменков Э.А., Дедов А.С., Крутиков Е.И., Попов Д.А.** Пневматический ударный механизм с комбинированным воздухораспределением № 4
- Абраменков Д.Э., Абраменков Э.А., Дедов А.С., Крутиков Е.И., Попов Д.А.** Пневматический ударный механизм с многоканальной трубкой и его физико-математическое описание № 7
- Абраменков Д.Э., Абраменков Э.А., Дедов А.С., Крутиков Е.И., Кутумов А.А.** Анализ принципиальных схем пневмоударных механизмов с выпусктом отработавшего воздуха из камеры холостого хода и их физико-математическое описание № 11
- Авдеев Ю.В., Кононов А.Д., Кононов А.А., Варданян Н.А.** Сравнительный анализ фазовых методов определения координат в задачах дистанционного автоматического управления машинами дорожно-строительного комплекса № 1
- Виноградов А.Б., Ломухин В.Б., Дмитриев М.П.** Влияние ремонтно-восстановительных составов на узлы трения строительных машин № 2
- Гладышев Г.В.** Пневмоударный механизм с дополнительными проточными камерами № 9–10
- Крашенинников Д.Д.** К вопросу определения конструктивных и технологических параметров башенных кранов № 8
- Кузнецова В.Н., Савинкин В.В.** Исследование энергоемкости тактов экскавационного цикла землеройной машины № 8
- Суворов Д.Г., Никулин М.С.** Пневматическая трамбовка с автоматически управляемым рабочим процессом № 4
- Тищенко И.В.** Модели пневматических импульсных генераторов с переменной структурой ударной мощности № 3

## **НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ**

- Гашенко А.Е.** Теоретическая модель локально-целостного градостроительного образования № 8
- Евграфова И.М., Лаврусевич А.А.** Геоэкологическое обоснование использования мобильных энергетических установок № 5
- Евграфова И.М., Лаврусевич А.А.** К вопросу обоснования корректирования размеров санитарно-защитной зоны № 6
- Евграфова И.М., Шубина Е.В., Лаврусевич А.А.** Эколого-экономическая оценка хозяйственной деятельности. Практика и перспективы № 7
- Королев В.В.** Влияние антропогенных факторов на развитие градоэкологических систем крупнейших городов Западной Сибири во второй половине XIX — начале XX в. № 2
- Короткий В.А., Усманова Е.А.** Кривые второго порядка в задачах формообразования архитектурных оболочек № 9–10
- Манацкова О.А.** Взаимосвязь сакральных сооружений Западной Сибири с окружающей застройкой № 11
- Манацкова О.А.** Культовые сооружения в планировочной структуре современных крупных городов Западной Сибири № 12
- Семикин П.П.** Критерии отбора высотных зданий с возобновляемыми источниками энергии № 3

## НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

- Авдеев Ю.В., Кононов А.Д., Кононов А.А., Варданян Н.А.** Метод компенсации погрешностей измерения координат при автоматическом дистанционном управлении машинами дорожно-строительного комплекса № 8
- Адищев В.В., Демешкин А.Г., Шульга В.К., Грачева М.С., Данилов М.Н., Мальцев В.В.** Определение зоны анкеровки армирующего элемента при вытягивании из матрицы № 12
- Бадын Г.М., Мосаков Б.С.** Комплексная оценка технологичности возводимых зданий и сооружений № 7
- Барышников А.В., Харламов И.В.** Методика поиска рациональной конструктивной формы металлоконструкций с учетом эксплуатационных затрат № 12
- Букреев В.И., Дегтярев-мл. В.В., Зыков В.В., Чеботников А.В.** Методика измерения гидрофизических величин в пресной и соленой воде № 5
- Вальгер С.А., Данилов М.Н., Федорова Н.Н., Федоров А.В.** Сравнение данных моделирования ударно-волнового воздействия на сооружения с использованием ПК ANSYS, AUTODYN и LS-DYNA № 11
- Высоцкий Л.И.** К вопросу о понятии «зона гладкостенного сопротивления» № 11
- Гилета В.П., Барис А.В.** Цепная волновая передача № 5
- Данилов М.Н., Федорова Н.Н.** Методика расчета многослойных ограждающих конструкций с учетом нелинейных свойств материалов № 8
- Демешкин А.Г., Кургузов В.Д.** Компьютерное моделирование отрыва упругой балки, частично приклеенной к жесткой плите № 9–10
- Дмитриева Т.Л., Ле Чан Минь Дат.** Сравнительная оценка результатов оптимального проектирования ферм с использованием программных средств № 3
- Ижендеев А.В.** Матрица начальных напряжений изгибающегося тонкостенного стержня открытого профиля № 4
- Илизаров А.Г., Коянкин А.А.** Апробация методики расчета прогибов изгибающейся балки кусочно-постоянного сечения, выполняемого с использованием прерывателей Герсеванова № 8
- Калугин Ю.Б.** Теоретические предпосылки моделирования воздействия дестабилизирующих факторов на технологический процесс № 7
- Коротких А.В., Просяников Б.Д., Крылов И.И.** Особенности работы болтовых соединений с взаимным продавливанием соединяемых тонкостенных оцинкованных профилей № 3
- Кошелева О.Э., Логвиненко В.А.** Изучение физических свойств кожевенных материалов № 2
- Курбацкий Е.Н., Нгуен Чонг Там.** Определение критических скоростей и критических сил при движении постоянной силы по балкам на упругом основании № 5
- Кургузов В.Д.** Численное моделирование напряженного состояния балки-стенки № 7
- Митасов В.М., Коянкин А.А.** Работа диска сборно-монолитного перекрытия № 3
- Офрихтер В.Г., Офрихтер Я.В.** Улучшение твердых бытовых отходов методом динамического уплотнения № 6
- Потапов А.Д., Тупицына О.В., Сухоносова А.Н., Савельев А.А., Гришин Б.М., Чертес К.Л.** Принципы управляемого восстановления территорий размещения отходов № 5
- Серегин С.В.** О собственных крутильных колебаниях тонкостенных стержней открытого профиля № 1
- Соколов В.А.** Оценка технического состояния и физического износа строительных конструкций с использованием вероятностных методов технической диагностики № 1

## **Указатель**

---

- Столповский Г.А., Жаданов В.И., Аркаев М.А., Зиновьев В.Б.** Особенности расстановки витых стержней в узловых сопряжениях деревянных конструкций № 5
- Талантова К.В.** Оптимизация расхода стальной фибры при проектировании конструкций на основе сталефибробетона № 8
- Федоров А.В., Фомин П.А., Тропин Д.А., Чен Дж.** Моделирование опасности взрыва и смягчение его последствий в силано-воздушных смесях № 9–10
- Фомин П.А., Айрапетян В.С., Чен Д.-Р., Митропетрос К.** К вопросу об обеспечении взрывобезопасности промышленных конструкций и строительных сооружений при наличии утечек или разливов тяжелых углеводородов с высоким давлением насыщенных паров № 12
- Хархардин А.Н.** Топологический формализм в определении величин фундаментальных физических постоянных № 12
- Чапаев Д.Б., Зоря И.В., Оленников А.А.** Влияние климатических факторов на теплопотребление жилых зданий № 2
- Черноусов Н.Н., Черноусов Р.Н., Суханов А.В.** Исследование анкеровки стальной фибры в цементно-песчаном бетоне № 2
- Чернышев С.Н., Евграфова И.М., Неклюдов М.А.** О горизонтальной скорости пластического течения дисперсных грунтов у борта долины реки как причина деформаций и разрушения сооружений (к 125-летию со дня рождения И.В. Попова) № 8
- Шахов С.А., Ключникова Н.С., Кожемяченко А.С.** Состав и технологические свойства осадков водоотведения и зол, образующихся при их сжигании № 11

## **ВНЕДРЕНИЕ НАУЧНЫХ ДОСТИЖЕНИЙ В ПРОИЗВОДСТВО**

- Величко Б.П., Тацки Л.Н., Кузьмичев Н.В.** Автоматизация работы измельчительно-сепарационной установки № 2
- Евграфов А.В.** Общественный экологический контроль состояния водоохраняемых зон города Москвы № 6
- Саргсян А.Е., Геращенко В.С., Борчев К.С.** Обоснование достоверности разработанной расчетной модели свайного основания сооружения по данным натуральных наблюдений № 6
- Саргсян А.Е., Гришин А.С.** Оценка эффективности реализации свайных фундаментов на примере сооружения РО Балаковской АЭС № 7

## **В ЛАБОРАТОРИЯХ ВУЗОВ**

- Миряев Б.В., Толушов С.А.** Экспериментально-теоретические исследования скжато-изгибаемых деревянных элементов купола в предельном состоянии № 1
- Степанова Л.Н., Курбатов А.Н., Тенитилов Е.С., Глухов Б.В.** Влияние температуры на задержку времени распространения ультразвуковых волн в рельсе № 5
- Степанова Л.Н., Чернова В.В.** Исследование процесса разрушения образцов из композиционных материалов методом акустической эмиссии № 3

## **НАУЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ**

- Новые строительные конструкции на основе сталефибробетона № 9–10
- Нуждин Л.В.** Очень полезные книги по геотехнике № 9–10

## **НАШИ ЮБИЛЯРЫ**

- Известный ученый и педагог (к 75-летию Владимира Александровича Игнатьева)** № 1

# 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 Сыг 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;

— 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. Иллюстрации, в том числе фотографии, 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 2015 г. — из расчета 900 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.

**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

ББК 38  
И 33  
УДК 69

Научное издание

**Известия вузов  
СТРОИТЕЛЬСТВО**

**№ 12 (672) 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*