

**ВЛИЯНИЕ ЗАЗОРОВ МЕЖДУ ВКЛАДЫШАМИ ОПОРНО-УПОРНЫХ
ПОДУШЕК НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТАКТНЫХ УСИЛИЙ
И НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ
ДВУСТВОРЧАТЫХ ШЛЮЗОВЫХ ВОРОТ**

**INFLUENCE OF GAPS IN ABUTMENT INSERTS
ON CONTACT FORCES DISTRIBUTION AND STRESS-STRAIN STATE
OF DOUBLEWING LOCK GATE**

В данной статье рассматриваются отклонения от проектных параметров зазоров в опорных элементах и их влияние на опорные реакции и напряжения в металлоконструкциях двустворчатых ворот.

In this article fluctuations in abutments and their effects on forces and stresses in hardware of doublewing lock gate are considered.

Ключевые слова: прочность, металлоконструкции, двустворчатые шлюзовые ворота, зазоры в опорных элементах, реакции, напряжения.

Key words: strength, hardware, doublewing lock gate, fluctuations in abutments, forces, stresses.

Введение

Среди имеющегося разнообразия конструкций шлюзовых ворот особое место занимают двухстворчатые шлюзовые ворота (ДШВ), входящие в напорные фронты крупнейших гидротехнических комплексов и воспринимающие гидростатические напоры до 25 м и выше.

ДШВ являются высоконагруженными конструкциями, что с учетом повышенных требований [1; 2; 4], предъявляемых к сооружениям данного типа, требует проведения [3; 6]:

- 1) периодического контроля уровня их напряженно-деформированного состояния;
- 2) визуального осмотра зон повышенных напряжений и зон, в которых с наибольшей вероятностью возможно образование трещин и остаточных деформаций;
- 3) замеров остаточных толщин силовых элементов металлоконструкций.
- 4) наблюдений за положением упорно-опорных элементов с измерением величин зазоров между вкладышами и с последующим проведением работ по их регулировке.

Механизм перераспределения усилий при отклонениях одиночных вкладышей достаточно ясен. Подушка с выступающим вкладышем вступает в контакт со своей опорной подушкой раньше соседних и воспринимает частично или полностью, в зависимости от величины выступления, приходящиеся на них опорные реакции. Подушка с западающим вкладышем вступает в контакт позже соседних (или вообще не вступает). Приходящуюся на нее опорную реакцию частично или полностью, в зависимости от величины западания, воспринимают соседние подушки. Очевидно также, что при выступании вкладыша возможно появление большего усилия в подушках, чем при его западании, поскольку в условно упругой задаче опорная реакция на одиночную выступающую подушку, в принципе, ограничена лишь суммарной реакцией опор на том краю створки, где находится эта подушка, а в случае западания вкладыша увеличение усилий в соседних подушках ограничено величиной усилия, «снятого» с этого вкладыша.

Характерной особенностью двухстворчатых ворот является то, что отклонения положения тех или иных вкладышей от проектных положений оказывают существенное влияние на перераспределение усилий в подушках того края ворот (веревяльного или створного), где находятся эти вкладыши. В то же время выступания и западания вкладышей одного края ворот в меньшей степени влияют на распределение усилий в подушках другого края. Это объясняется большой жесткостью створки в плоскости полотнища. По наиболее нагруженным подушкам изменения усилий при отклонениях вкладышей от проектных значений противоположной стороны не превышают 10 %.

Анализ результатов исследований

Для оценки реальных величин возможных западаний или выступаний вкладышей подушек двухстворчатых ворот различных типов был проведен анализ данных по замерам зазоров между вкладышами ворот в верях и створах. С использованием метода наименьших квадратов, с учетом усилий в подушках как весовых функций были построены прямые линии, аппроксимирующие поведение зазоров по высоте створок.

Углы наклона построенных прямых к оси абсцисс характеризуют отклонения кромок створок ворот от контактных плоскостей в верях и створах (клиновые углы) при сведенных створках в отсутствие перепада гидростатического давления. Величины этих углов зависят от провисания створки как жесткого тела под действием весовой нагрузки, а также от ее остаточной деформации под влиянием распорных усилий.

Западание и выступание вкладышей подушек определяется отклонением экспериментально замеренных точек от прямой линии (причем это отклонение характеризует взаимное расположение вкладышей в парах контактирующих подушек). В качестве примера на рис. 1 приводятся графики прямых номинального положения вкладышей подушек для изучаемых шлюзовых ворот. Величины отклонений вкладышей от номинальных положений проставлены на рисунках над маркерами. Положительный знак отклонения соответствует западанию вкладыша, отрицательный — его выступанию.

Имеющийся опыт расчетов двухстворчатых шлюзовых ворот, а также специально проведенные расчетные исследования показывают, что наиболее неблагоприятными случаями отклонений являются выступания вкладышей одиночных подушек, приводящие к существенному возрастанию в них усилий. Поэтому в качестве примера для ворот шлюза № 1 канала им. Москвы рассмотрены случаи одиночных выступаний вкладышей упорных подушек веревяльного и створного столба.

Следует отметить, что суммарные реакции опор на веревяльном и створном краях определяются статическими условиями равновесия створки и практически не зависят от жесткостей элементов ее конструкции. В частности, появление коррозии не изменяет суммарные реакции и слабо влияет на реакции в каждой подушке, поскольку одинаковое снижение толщин стенок и полок всех ригелей и диафрагм приводит к равномерному по створке уменьшению жесткостных характеристик ее несущих элементов. В связи с этим представленные ниже исследования усилий в подушках при нештатных граничных условиях проводились без учета влияния коррозии.

Жесткости упорных элементов расчетной модели были найдены из расчета локальной податливости концевой участка фрагмента створки с подушкой. Достоверность этого расчета подтвердилась в ходе ресурсных испытаний фрагмента створки ворот средней головы шлюза № 31 Волгоградского РГС путем замера перемещений на веревяльном участке в направлении оси подушки.

1. Влияние выступания вкладышей на усилия в подушках и напряжения в конструкции на примере двухстворчатых ворот канала им. Москвы.

На основании результатов обработки данных по зазорам были проведены расчеты створки в упругой постановке при следующих величинах одиночных выступаний вкладышей: 8-й подушки веревя на 0,7 мм и 1-й подушки створа на 1, 3 и 5 мм.

Характер распределения усилий по подушкам резко изменяется в створе при выступании вкладыша створной подушки и в верее при выступании вкладышей веревяльных подушек по сравнению с расчетом без отклонений вкладышей от номинальных положений.

В выступающей на 0,7 мм 8-й подушке верее усилие возросло почти в полтора раза и составило более 475 тс. При этом снизились усилия в соседних с ней 7, 9 и 11-й подушках, поскольку их вхождение в контакт с закладными затруднено из-за наличия выступающей 8-й подушки.

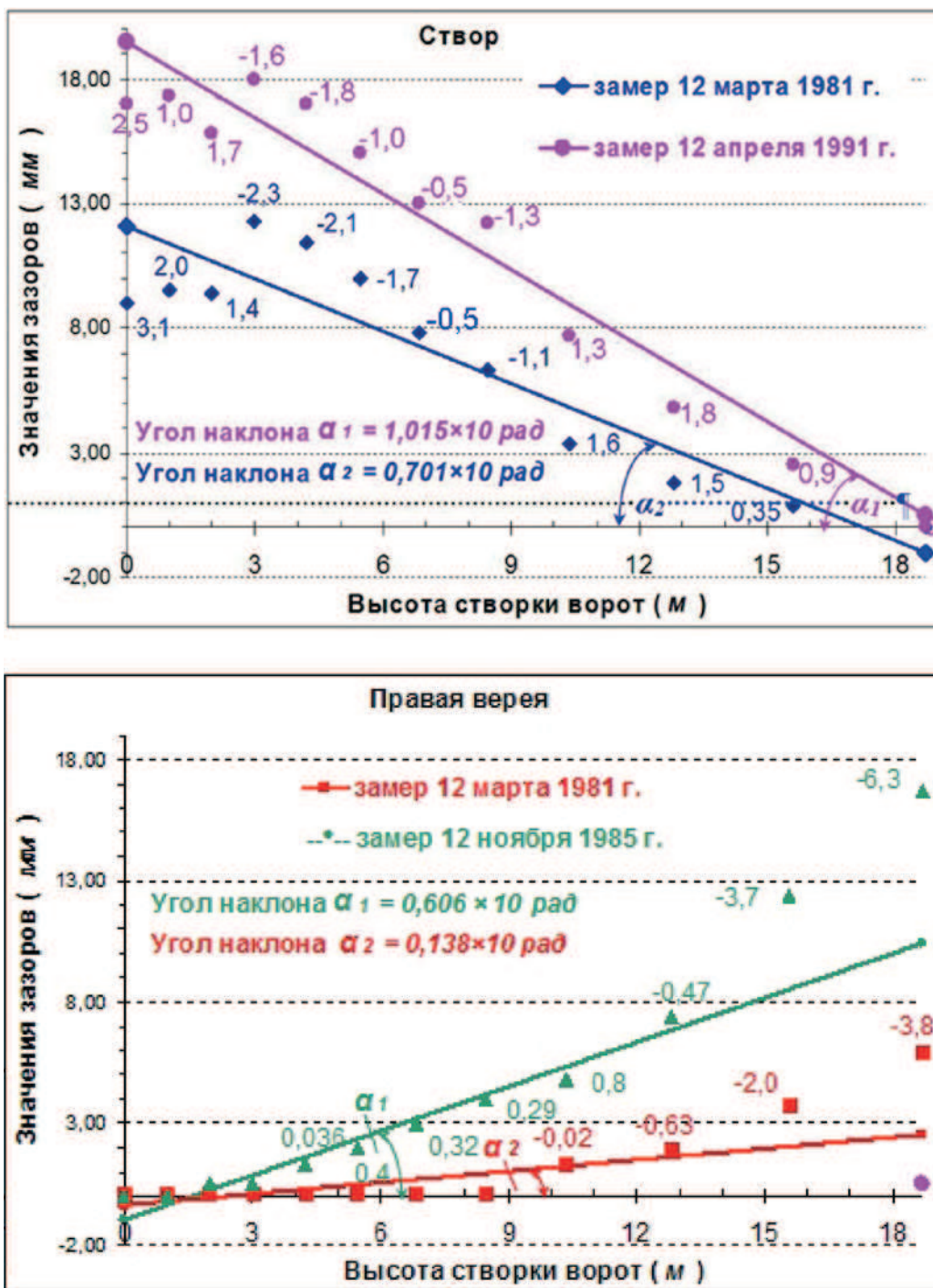


Рис. 1. Зазоры между вкладышами подушек и отклонения вкладышей от усредненной линии номинальных положений в створе и правой верее двустворчатых ворот шлюза № 1 канала им. Москвы

Увеличение усилий в подушках с выступающими вкладышами вызывает значительный рост напряжений в зонах этих подушек у верей и створа. Так, в случае выступления вкладыша 1-й створной подушки на 3 мм напряжения при коррозии до 4 мм достигают вблизи створа почти 30 кгс/мм^2 , тогда как при номинальном положении вкладыша (без выступления) они находятся в пределах 15 кгс/мм^2 . При выступании вкладыша 8-й веревальной подушки на 0,7 мм напряжения в ее окрестности возрастают с 20,8 до $25,7 \text{ кгс/мм}^2$ в соответствии с рис. 2.

Полученные значения напряжений в зонах верей и створа при указанных величинах выступаний вкладышей упорных подушек превышают уровень, допускаемый нормативными документами для несущих элементов металлоконструкций из материала Ст.3.

2. Влияние жесткостей контактирующих подушек на рассогласование усилий в них при выступаниях вкладышей и пределы допустимых отклонений вкладышей.

Проведенная выше расчетная оценка усилий в веревальных и створных подушках при полученных значениях отклонений вкладышей от идеальных положений показывает, что уровень усилий в отдельных подушках может возрасть в 2–2,5 раза по сравнению с номиналом, что приводит к существенной неоднородности условий нагружения веревального и створного столбов и примыкающих к ним зон.

Следует отметить, что возникновение в подушках усилий, существенно превышающих номинальную величину, является одним из возможных факторов образования локальных повреждений торцевых листов в местах крепления упорных подушек.

В связи с этим при проведении плановых замеров зазоров между вкладышами подушек следует обращать особое внимание на точность их установки в оголовках подушек с целью исключения их значительных выступаний.

Допустимая величина отклонений вкладышей должна определяться расчетным путем для каждого типа двустворчатых ворот. Она зависит от жесткости створок в плоскости полотна в направлении распорных усилий, а также от жесткостей закладных подушек и береговых устоев.

В существующих ныне конструкциях двустворчатых ворот податливость створок в направлении действия распорных сил определяется главным образом продольной податливостью ригелей, поскольку последовательно соединенные с ними упорные подушки обладают на порядок меньшей податливостью, а их соединения с ригелями являются жесткими.

Сравнение результатов обработки данных по зазорам для различных ворот показывает, что типовые величины отклонений положения вкладышей в них различаются в несколько раз. Так, типовые выступления вкладышей нижних створных подушек московских ворот составляют 2–5 мм, а новосибирских — 0,5–1,0 мм.

Это в значительной мере связано с большей податливостью створок московских ворот из-за большей длины их ригелей при примерно одинаковой с новосибирскими воротами жесткости ($EF \sim 10^6 \text{ тс/м}$) поперечных сечений ригелей.

Для количественной оценки влияния податливости створок на допустимые величины отклонений вкладышей и усилий в подушках проведены расчеты новосибирских ворот с варьированием величины жесткости упорных элементов при различных значениях выступления вкладыша одной из подушек.

Жесткости упорных элементов расчетной модели, имитирующие жесткости подушек и их соединений с ригелями, варьировались в таких пределах, в которых они являются соразмерными с продольными жесткостями ригелей и тем самым влияют на общую податливость створки.

На рис. 3 представлены графики зависимости расчетной величины усилия в 4-й створной подушке новосибирских ворот от величины жесткости упорных элементов в диапазоне значений от 10^5 до 10^6 тс/м при выступании вкладыша этой подушки на 0,5, 0,7 и 1 мм.

Из графиков следует, что при уменьшении жесткости с 10^6 до 10^5 тс/м усилие в выступающей подушке значительно снижается, причем тем больше, чем больше величина выступления вкладыша. Усилие в подушке снижается с 345 до 221 тс, то есть на 36 %, при выступании створного вкладыша на 0,5 мм, с 403 до 234 тс, то есть на 42 %, при выступании створного вкладыша на 0,7 мм, с 490 до 255 тс, то есть на 48 %, при выступании створного вкладыша на 1 мм.

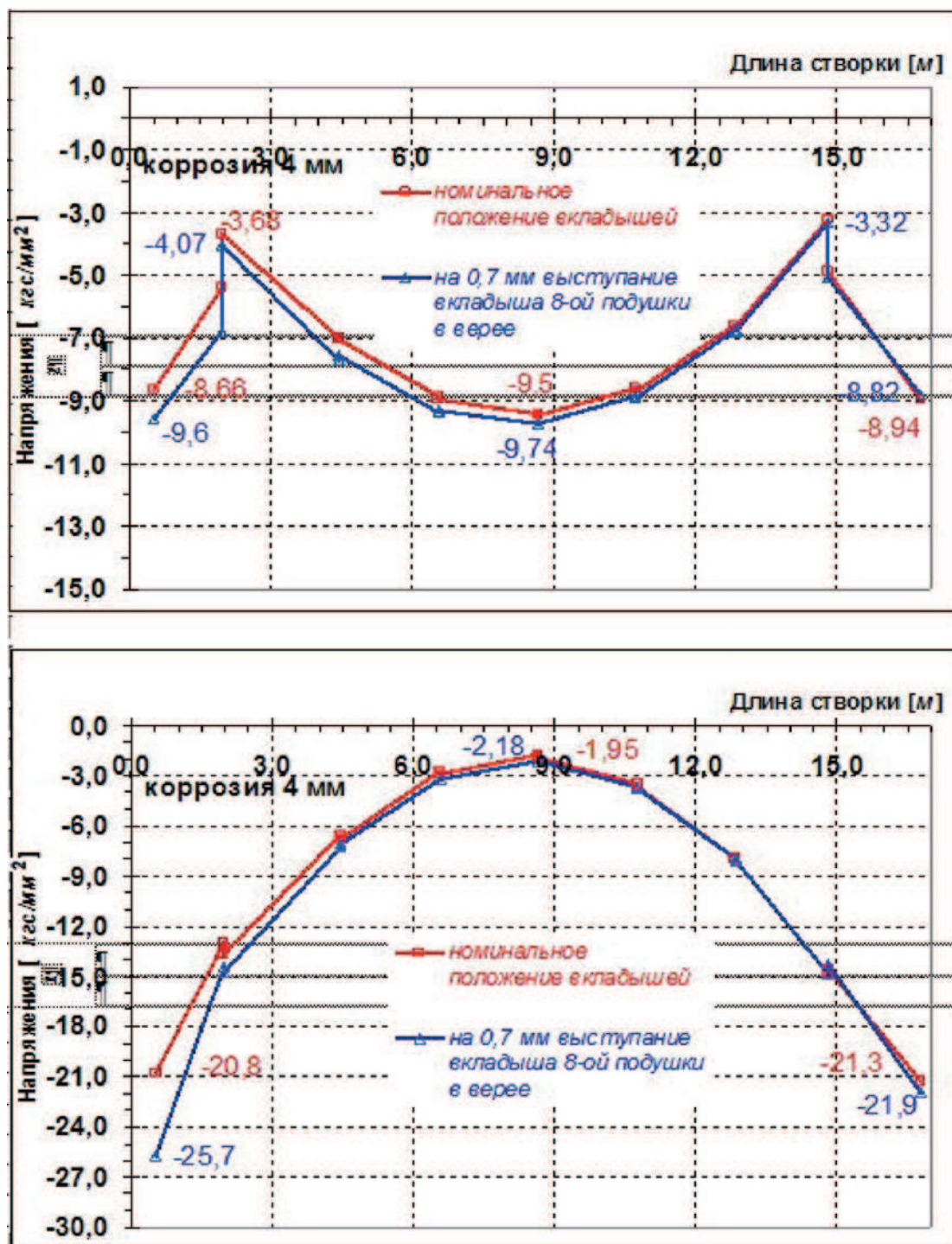


Рис. 2. Влияние выступления вкладышей веревальных подушек на напряжения в конструкции двустворчатых ворот канала им. Москвы

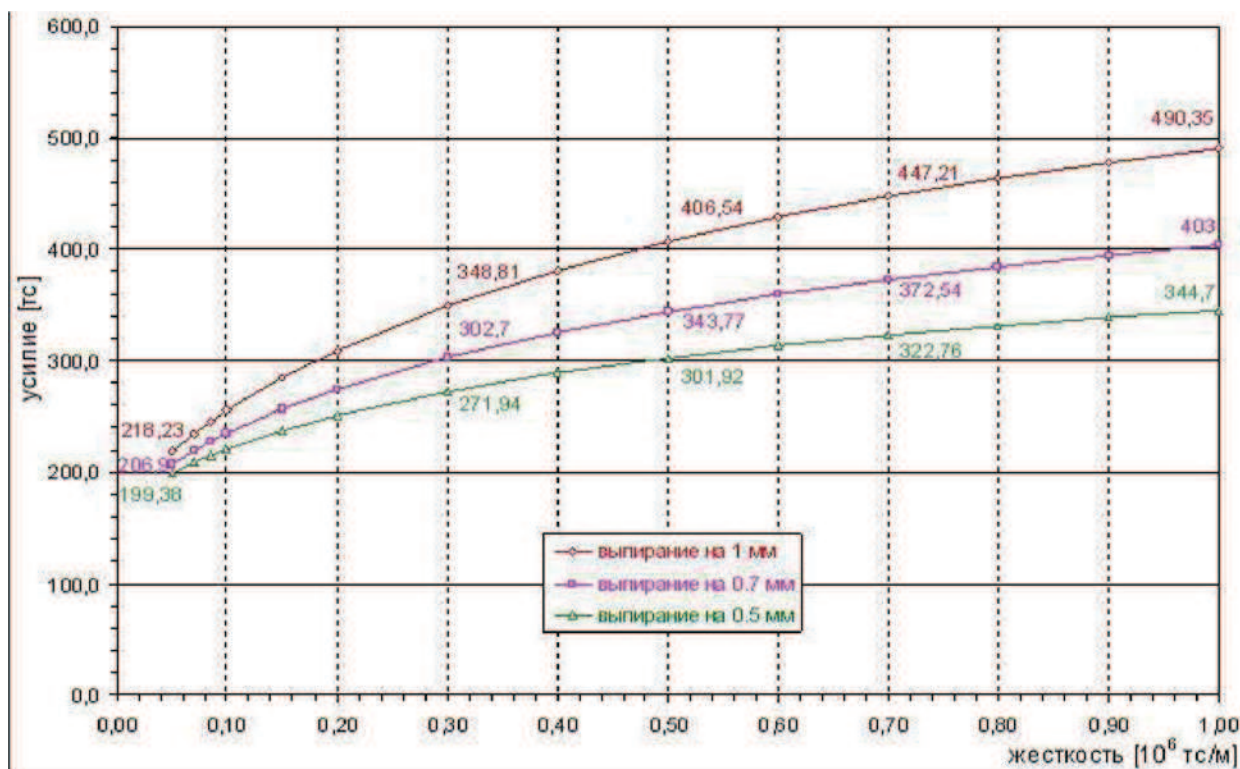


Рис. 3. Величина усилия в 4-й створной подушке новосибирских ворот с выступающим вкладышем в зависимости от жесткости упорных подушек

На рис. 4 приведены диаграммы усилий в створных подушках тех же шлюзовых ворот при жесткостях 10^6 , 5×10^5 и 10^5 тс/м, полученные с учетом выступа вкладки 4-й створной подушки на 3 мм.

Сопоставление значений этих усилий показывает, что при снижении жесткости уменьшается как абсолютная, так и относительная величина усилия в выступающей подушке по сравнению с остальными створными подушками. Если при жесткости 10^6 тс/м это усилие в 2,5 раза превосходит ближайшее к нему по величине, то при жесткостях 5×10^5 тс/м и 10^5 тс/м — соответственно в 2,3 и в 1,4 раза. Из этого следует, что со снижением жесткости упорных элементов уменьшается рассогласование контактных усилий и их распределение по подушкам становится более равномерным.

Это объясняется тем, что при увеличении податливости выступающей подушки возрастает степень включения остальных, особенно соседних подушек, которым становится «легче» достигать своих опор. Таким образом, с уменьшением жесткости подушек выступающая подушка берет на себя убывающую долю суммарной опорной реакции на данном крае створки (суммарные усилия на каждой из сторон створки, как указывалось выше, от жесткостей не зависят).

Анализ графиков на рис. 4 показывает также, что одна и та же величина усилия создается в вариантах с меньшей жесткостью упорных элементов при большей величине выступа. Так, например, усилие ~ 350 тс в вариантах с жесткостью 10^6 тс/м возникает при выступании вкладки на 0,5 мм, с жесткостью $5,4 \times 10^5$ тс/м — на 0,7 мм, с жесткостью 3×10^5 тс/м — на 1 мм. Следовательно, при снижении жесткости на 70 % данная величина усилия сохраняется при вдвое большем выступании.

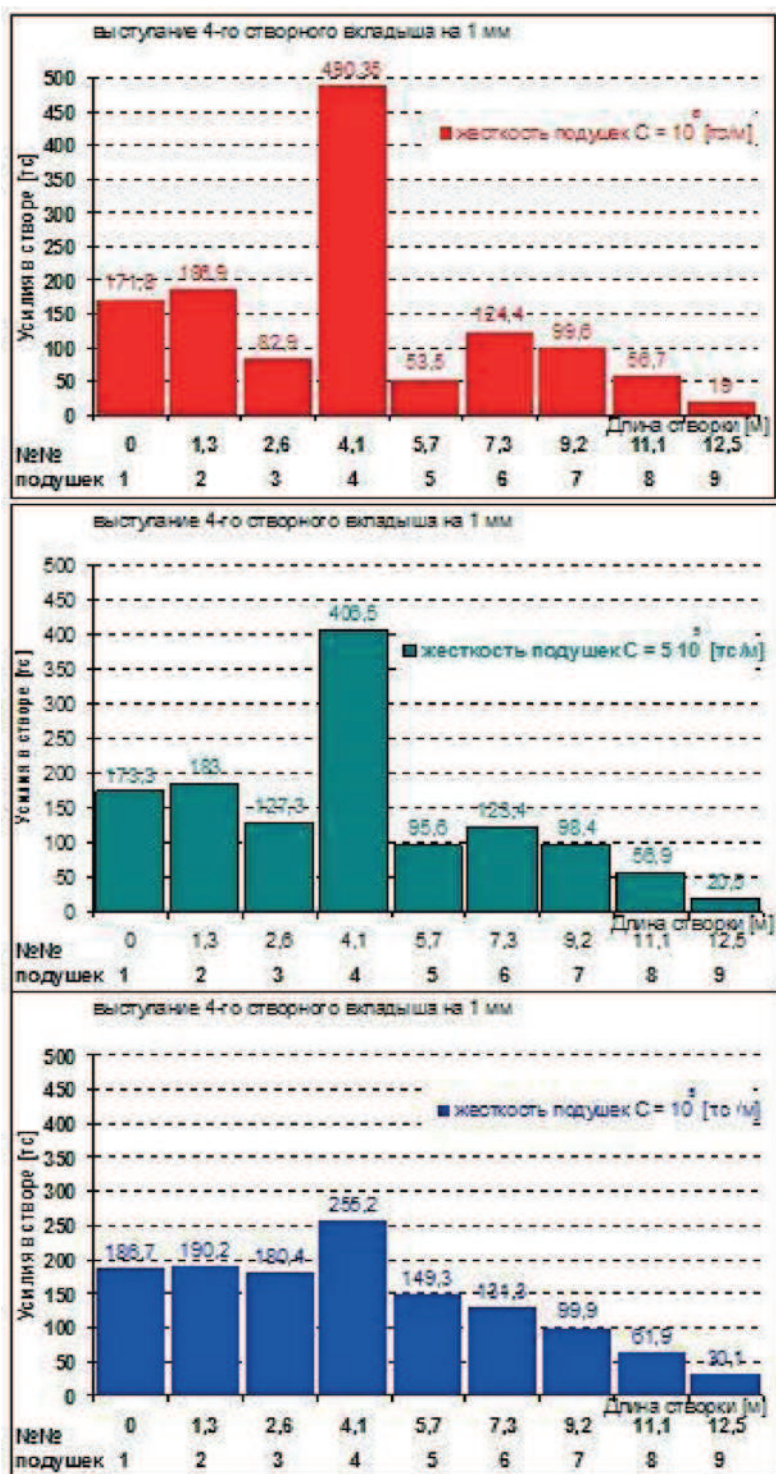


Рис. 4. Зависимость усилий в створных подушках от их жесткости

Выводы

Увеличение податливости упорных элементов ворот позволяет не только понизить усилия в подушках с выступающими вкладышами (и сделать распределение усилий по подушкам более равномерным), но и расширить допустимые пределы отклонений вкладышей от номинальных положений.

В связи с этим при проектировании новых ворот рекомендуется введение в конструкцию створки специальных упругих элементов, предназначенных для увеличения податливости соеди-

нений упорных подушек с ригелями и закладных подушек с колоннами в устоях. Это могут быть, например, амортизирующие резиноподобные прокладки, устанавливаемые под основания подушек, либо профилированная заливка баббита с переменным сечением по толщине слоя.

Следует отметить необходимость экспериментальной проверки работоспособности амортизирующих элементов, а также возможности их замены.

Список литературы

1. СНиП 33-01-2003. Гидротехнические сооружения. Основные положения. — М.: Госстрой, 2006. — 30 с.
2. СНиП II-23-81-90. — М.: ЦИТП, 1990. — Ч. II: Нормы проектирования. Стальные конструкции. — 125 с.
3. МУ 050.025-2001. Методические указания. Определение технического состояния металлоконструкций ворот и затворов СГТС. — М.: ФГУП ЦБНТИ МТ РФ, 2002. — 86 с.
4. Рекомендации по декларированию безопасности судоходных гидротехнических сооружений. — М.: ФАМРТ, 2010. — 34 с.
5. *Зенкевич О.* Метод конечных элементов в технике / О. Зенкевич. — М.: Мир, 1975. — 539 с.
6. *Лиходед А. И.* Оценка состояния двухстворчатых шлюзовых ворот по величинам коррозионного износа характерных зон металлоконструкций / А. И. Лиходед, И. Ю. Мартьянов, В. С. Синельников // Обеспечение прочности и безопасности судоходных гидротехнических сооружений: сб. материалов науч.-практ. конф. — СПб.: ФГОУ ВПО «СПГУВК», 2010.