

ВОДНЫЕ ПУТИ СООБЩЕНИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-2-309-317

INVESTIGATION OF ELASTIC DEFLECTIONS OF LIFTING-GATE UNDER A HEAD WITH ACCOUNT HYDROSTATIC OF INFLUENCE OF DESTRUCTIVE PROCESSES OF DETERIORATION

M. L. Kuzmitskiy, N. M. Ksenofontov, V. B. Chistov

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

The research is executed on the example of the main gate of the upper head of the locks No. 25-26 of the Saratov Hydraulic project of the Federal State-Funded Institution «Administration of the Volga Basin». Follows from results of earlier executed researches that the main destructive processes of aging reducing technical condition of gate and locks of navigable hydraulic engineering constructions are corrosion and corrosion and fatigue damages of their elements which realization is established on separate elements of the studied metalwork. Use as the diagnostic parameter of size of corrosion wear of elements at high degree of roughness of their surface because of impossibility of his measurement with a necessary accuracy and lack of correlation at this operational phase of a metal construction with process of corrosion and fatigue process of the damage defining actual state of gate is incorrect. In process, growth of size corrosion wear elements the deflection gate which is the integrated indicator characterizing their elastic deformation will increase. The provide value of the allowed deflection of lifting and lowering gate under a pressure can't be considered now as the indicator correlating with change of a condition of their elements in time. The possibility of use of the provide value of an admissible deflection of gate as the diagnostic parameter of their technical condition is considered. Analytical evaluation of change of size of a deflection of lifting-gate from a hydrostatic pressure at various values of corrosion wear of their elements is executed. The discrepancy of the standard allowed values of a deflection of the lower girder of gate to the size of corrosion damage of their power elements is established. The field of possible realization of process of corrosion fatigue damage of power elements of the considered metalwork is defined. The results presented in work can be used for correction of the established criteria values of indicators of safety for the considered metalwork of gate. The stated technique of check of a possibility of use of an indicator of a deflection of the lower crossbar of lifting-gate under a pressure as the diagnostic parameter of their technical condition can be used when checking efficiency of other diagnostic indicators of elements regulated by the specifications and technical documentation of the mechanical equipment of navigable hydraulic engineering constructions both operated, and designed.

Keywords: navigation lock, lifting-gate, diagnostic parameter, head, elastic deformation, corrosion wear, corrosion fatigue damage, accepted value, assurance coefficient.

For citation:

Kuzmitskiy, Mikhail L., Nikolai M. Ksenofontov, and Valentin B. Chistov. "Investigation of elastic deflections of lifting-gate under a head with account hydrostatic of influence of destructive processes of deterioration." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 10.2 (2018): 309–317. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-2-309-317.

УДК 626.422.25; 656.627.3

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГИХ ПРОГИБОВ ПОДЪЕМНО-ОПУСКНЫХ ВОРОТ ПОД ГИДРОСТАТИЧЕСКИМ НАПОРОМ С УЧЕТОМ ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЕСТРУКТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ СТАРЕНИЯ

М. Л. Кузьмицкий, Н. М. Ксенофонтов, В. Б. Чистов

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская федерация

Исследование выполнено на примере основных ворот верхней головы шлюза № 25-26 Саратовского гидроузла ФБУ «Администрация Волжского бассейна». Из результатов ранее выполненных исследований

следует, что основными деструктивными процессами старения, снижающими техническое состояние ворот и затворов судоходных гидротехнических сооружений, являются коррозионное и коррозионно-усталостное повреждение их элементов, реализация которых установлена на отдельных элементах исследуемых металлоконструкций. Использование в качестве диагностического параметра величины коррозионного износа элементов при высокой степени шероховатости их поверхности, из-за невозможности его измерения с необходимой точностью, и отсутствие корреляции на этом этапе эксплуатации металлоконструкции с процессом коррозионно-усталостного процесса повреждения, определяющего фактическое состояние ворот, является некорректным. По мере роста величины коррозионного изнашивания элементов прогиб ворот, являющийся интегральным показателем, характеризующим их упругую деформацию, будет увеличиваться. Установленное значение допускаемого прогиба подъемно-опускных ворот под напором в настоящее время не может рассматриваться как показатель, коррелирующий с изменением состояния их элементов во времени. Рассмотрена возможность использования регламентированного значения допускаемого прогиба ворот в качестве диагностического параметра их технического состояния. Выполнена аналитическая оценка изменения величины прогиба подъемно-опускных ворот от гидростатического напора при различных значениях коррозионного изнашивания их элементов. Установлено несоответствие нормативных допустимых значений прогиба нижнего ригеля ворот величине коррозионного повреждения их силовых элементов. Определена область возможной реализации процесса коррозионно-усталостного повреждения силовых элементов рассматриваемых металлоконструкций. Представленные в работе результаты могут быть использованы с целью корректировки установленных критериальных значений показателей безопасности для рассматриваемых металлоконструкций ворот. Изложенная методика проверки возможности использования показателя прогиба нижнего ригеля подъемно-опускных ворот под напором в качестве диагностического параметра их технического состояния может быть использована при проверке эффективности других регламентированных нормативно-технической документацией диагностических показателей элементов как эксплуатируемого, так и проектируемого механического оборудования судоходных гидротехнических сооружений.

Ключевые слова: судоходный шлюз, подъемно-опускные ворота, диагностический параметр, гидростатический напор, упругая деформация, коррозионный износ, коррозионно-усталостное повреждение, допустимое значение, запас прочности.

Для цитирования:

Кузьмицкий М. Л. Исследование упругих прогибов подъемно-опускных ворот под гидростатическим напором с учетом воздействия деструктивных процессов старения / М. Л. Кузьмицкий, Н. М. Ксенофонтов, В. Б. Чистов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 2. — С. 309–317. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-2-309-317.

Введение (Introduction)

В настоящей работе объектом исследования являются основные ворота верхней головы шлюза № 25 – 26 (ширина камеры 30 м) Саратовского гидроузла ФБУ «Администрация Волжского бассейна» (рис. 1) [1]. При исследовании использованы материалы, полученные при обследовании рассматриваемых подъемно-опускных ворот (ПОВ) [2], а также результаты оценки технического состояния других ворот и затворов судоходных шлюзов [3], в том числе ультразвуковой толщинометрии (УЗТ), выполняемой в соответствии с требованиями [4], [5].

Основными деструктивными процессами, снижающими техническое состояние ворот и затворов судоходных шлюзов, являются *коррозионное изнашивание* [6] – [10] и *коррозионно-усталостное разрушение* [11], [12]. Примеры коррозионных повреждений несущих элементов и коррозионно-усталостных повреждений стрингеров ПОВ представлены на рис. 2 и 3.

В качестве интегрального показателя, характеризующего упругую деформацию ПОВ под напором нормативным документом [4], установлена величина допускаемого прогиба $[U] = 30$ мм. При отсутствии коррозионных повреждений (утонении элементов $\Delta S \rightarrow 0$) и соответствии условий нагружения принятым при проектировании (рис. 4) [1], [13] расчетный прогиб U соответствует новому изделию и составляет для рассматриваемых ПОВ $U_0 = 15,9$ мм при величине изгибающих напряжений в расчетном сечении (рис. 5) $\sigma_a = 79,6$ МПа. По мере коррозионного изнашивания элементов сечения нижнего ригеля ворот с присоединенными поясами обшивки (рис. 5), прогиб ворот будет увеличиваться.

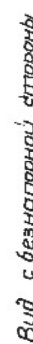


Рис. 1. Схема конструкции основных ворот верхней головы шлюза № 25 – 26 Саратовского гидроузла



Рис. 2. Коррозионное повреждение элементов внутри подъемно-опускных ворот

Рис. 3. Коррозионно-усталостное повреждение полки стрингера подъемно-опускных ворот

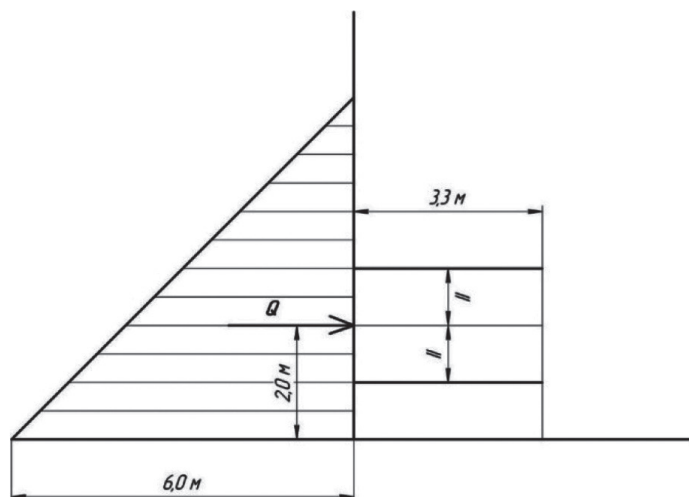


Рис. 4. Схема нагружения ПОВ в рабочем положении

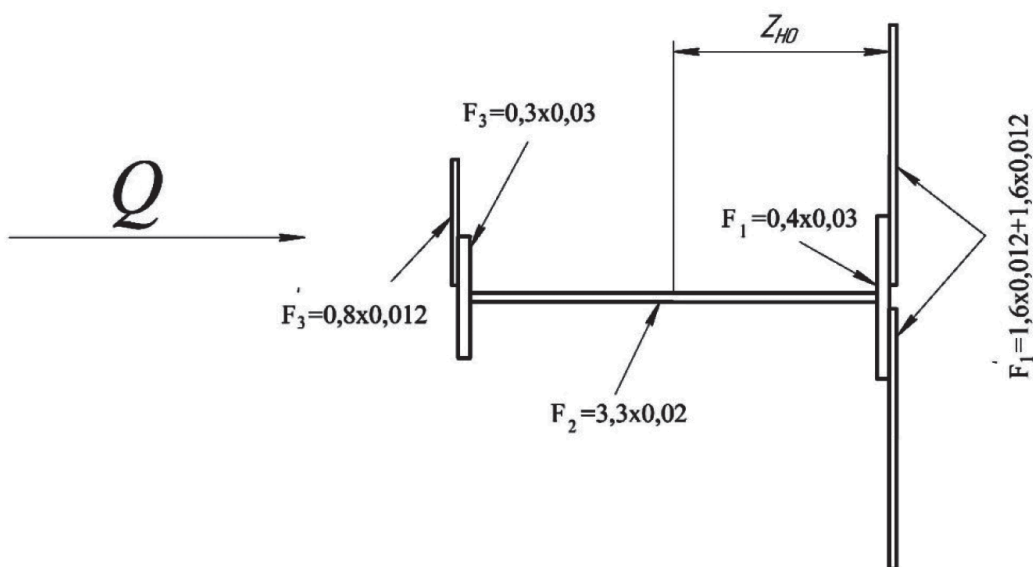


Рис. 5. Расчетное сечение нижнего ригеля подъемно-опускных ворот (размеры элементов указаны в метрах)

Согласно [4], утонение основных связей ворот $\Delta S_{пр}$ не должно превышать 15 %. Вероятно, если рассматривать прогиб ворот в качестве контролируемого параметра их технического состояния, для этого должна быть установлена величина $V_{\Delta S_{пр}}$. Необходимость данного условия подтверждается фактом перехода изделия (ворот) из работоспособного в ограниченно-работоспособное техническое состояние. Возможность и сроки дальнейшей безопасной эксплуатации при этом могут быть установлены путем дополнительного обследования с использованием УЗТ. Однако по мере роста шероховатости поверхности элементов, в частности из-за увеличения плотности коррозионных язв и их размеров, погрешность измерения ΔS возрастает [6], что ограничивает возможность использования этого показателя для оценки технического состояния ворот и затворов при их уровнях технического состояния, определяемых критериальными значениями К2 (19 %) и К3 (25 %) в соответствии с нормативами документа [14].

Актуальность данного обстоятельства для элементов металлоконструкций судоводных гидротехнических сооружений возрастает в связи с тем, что процесс коррозии для них развивается, как правило, с обеих сторон элементов. Дальнейшая эксплуатация ворот будет сопровождаться

ростом утонения элементов ΔS , увеличением прогиба ворот U и ростом нормальных напряжений от изгиба σ_a от гидростатического напора.

В большинстве случаев элементы ворот и затворов судоходных шлюзов работают при переменных нагрузках в условиях контакта с агрессивной средой, что предопределяет возможность реализации коррозионно-усталостного процесса [11], [12], сопровождающегося увеличением язвенного разрушения и трещинообразованием. Техническое состояние ворот в этом случае определяется как аварийное [14]. По данным [12], процесс коррозионно-усталостного разрушения реализуется при напряжениях $\sigma_{-1}^k = 0,2 - 0,5\sigma_{-1}$ (30 – 73 МПа). По материалам [11], ограниченный предел коррозионной усталости для углеродистых сталей составляет 94 – 173 МПа. Несмотря на относительно большой диапазон приведенных значений σ_{-1}^k , начало развития коррозионно-усталостного процесса является фактически окончанием срока безопасной эксплуатации металлоконструкции с учетом требований [4].

Из приведенных материалов следует, что при достижении изгибающих напряжений значений σ_a , близких к σ_{-1}^k , начинается развитие коррозионно-усталостного процесса, т. е. прогиб ворот под напором при напряжениях в расчетном сечении $\sigma_a \approx \sigma_{-1}^k$ может рассматриваться как предельно допустимое значение контролируемого параметра, превышение которого приведет к неконтролируемому развитию процесса разрушения металлоконструкции с учетом результатов исследований [15] и рекомендаций [11], [12]. Для материала ПОВ (сталь М16С) в качестве рекомендуемого значения σ_{-1}^k может быть принята величина ~ 110 МПа.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Рассмотрим возможность использования регламентированного значения допустимого прогиба ПОВ в качестве диагностического параметра их технического состояния, в том числе с учетом требований ГОСТ 27518 [16]. Документом установлены следующие основные требования к диагностическим параметрам состояния изделия:

- наличие устойчивой корреляции с техническим состоянием изделия;
- возможность измерения при проведении диагностики изделия;
- достоверность и точность результатов измерения;
- повторяемость (возможность воспроизводства результатов).

Нормативное значение допустимого прогиба ПОВ под напором фактически представляет собой предельно-допустимое значение контролируемого показателя, позволяющего получить две оценки состояния «годен», «негоден» и поэтому, по сути, не может рассматриваться как параметр, коррелирующий с изменением состояния элемента во времени.

Измерение упругого прогиба ПОВ может быть выполнено в процессе эксплуатации при условии проведения необходимых подготовительных работ. При его значениях в пределах установленного предельно-допустимого значения точность выполняемых измерений в диапазоне 0,05 – 0,1 от измеряемой величины представляется достаточной. В случае установления необходимости измерения промежуточных значений прогиба достаточность существующей точности измерения требует проверки.

Выполнены аналитические расчеты изменения характеристик элементов, формирующих расчетное сечение (см. рис. 5), и показателей напряженно-деформированного состояния основных связей ПОВ под воздействием на них гидростатического напора при различных значениях их коррозионного износа. В расчете было принято условие равномерного коррозионного изнашивания элементов расчетного сечения, а также не учитывалось наличие выреза в стенке нижнего ригеля и элементы подкрепления (стрингеры).

Результаты (Results)

Расчетные характеристики принятого сечения нижнего ригеля ПОВ (см. рис. 5) при $\Delta S = 0$ приведены в табл. 1.

Таблица 1

Расчетные характеристики принятого сечения нижнего ригеля ПОВ

Обозначение элемента сечения	$F_i, \text{м}^2$	$Z_i, \text{м}$	$S_i, \text{м}^3$	$I_i, \text{м}^4$	$I_{\text{собств}}$
	1	2	3	4	5
F_1^I	0,0384	0	0	0	—
F_1	0,012	0	0	0	—
F_2	0,066	1,665	0,11	0,183	0,060
F_3	0,009	3,33	0,03	0,100	—
F_3^I	0,0096	3,33	0,03	0,106	—
Σ	0,135	—	0,172	0,449	

Примечания:

1. F_i — площади поперечных сечений частей составного профиля.
2. Z_i — расстояние от центра тяжести площади F_1 до центра тяжести i -й площади.
3. $S_i = F_i Z_i$ — статический момент i -й площади относительно оси, проходящей через центр тяжести площади F_1 .
4. $I_i = F_i Z_i^2$ — момент инерции i -й площади относительно оси, проходящей через центр тяжести площади F_1 .
5. $I_{\text{собств}} = \frac{sh^3}{12}$ — собственный момент инерции, где h — высота элемента.

Расчетные значения прогибов, изгибающих напряжений и коэффициентов запаса по показателям предела текучести материала σ_T (230 МПа) и допускаемого напряжения при циклическом нагружении изделия $[\sigma]$ (153 МПа) [1] при различных значениях утонения элементов сечения (см. рис. 5) приведены в табл. 2.

Таблица 2

 Результаты расчета изменения прогиба ПОВ
 при различной величине коррозионного износа их элементов

Этапы развития процесса коррозионного повреждения		Момент сопротивления $W, \text{м}^3$	Прогиб нижнего ригеля $U, \text{мм}$	Нормальные напряжения $\sigma_a, \text{МПа}$	Коэффициент запаса по показателю σ_T	Коэффициент запаса по показателю σ
$\Delta S, \text{мм}$	$\Delta S_{\text{отн}}, \%$					
0	0	0,135	15,9	79,6	2,9	2,0
0,77	5	0,129	16,5	83,0	2,8	1,9
1,54	10	0,124	17,2	86,6	2,7	1,8
2,31	15	0,118	18,0	90,6	2,5	1,7
3,07	20	0,113	18,8	95,0	2,4	1,6
3,84	25	0,108	19,7	99,8	2,3	1,6
4,60	30	0,102	20,7	105,1	2,2	1,5
5,37	35	0,097	21,8	111,0	2,1	1,4
...	...	...	...	...	...	...
9,20	60	0,069	29,9	154,9	1,5	1,0
...	...	...	...	...	...	...
12,00	78	0,049	41,1	218,8	1,1	0,7

Примечания:

1. ΔS — физический износ элементов ПОВ.
2. $\Delta S_{\text{отн}}$ — относительный износ элементов ПОВ, определяемый по формуле

$$\Delta S_{\text{отн}} = \sum \frac{b_i \frac{\Delta S_i}{S_i}}{\sum b_i},$$

где b_i — ширина элемента (рис. 5); S_i — проектная толщина элемента.

3. Прогиб нижнего ригеля ПОВ определяется по формуле

$$y\left(\frac{L}{2}\right) = \frac{5}{384} \cdot \frac{qL^4}{EI},$$

где $L = 31,2$ м — длина перекрываемого отверстия; $E = 2 \cdot 10^5$ МПа — модуль нормальной упругости стали; I — момент инерции сечения, м^4 .

4. Желтым цветом в таблице выделена область начала реализации коррозионно-усталостного процесса.

Обсуждение (Discussion)

Наименование параметров, определяющих техническое состояние рассматриваемых ворот и их критериальные показатели представлены в табл. 3. Полученные в табл. 2 результаты расчетных исследований указывают, в частности, на несоответствие принятых допустимых значений прогиба нижнего ригеля ПОВ от гидростатического напора установленным предельно-допустимым значениям коррозионного износа элементов рассматриваемого сечения. Так, допускаемый прогиб $[U] = 30$ мм, регламентированный [4], [14], соответствует относительной величине коррозионного износа $\Delta S_{\text{отн}} = 60$ % при допустимом значении данного контролируемого параметра $[\Delta S_{\text{отн}}] = 15$ % [4], [14]) и фактически допускает эксплуатацию ворот при реализации коррозионно-усталостного процесса, сопровождающегося трещинообразованием.

Полученное допустимое расчетное значение прогиба нижнего ригеля ПОВ под напором ($[U] \sim 21$ мм) может быть скорректировано по результатам его измерения на новом изделии ($\Delta S = 0$), учитывающем в том числе фактические условия их нагружения.

Представляется целесообразным при рассмотрении предлагаемых диагностических параметров выполнить их проверку методом конечных элементов.

Таблица 3

Наименование показателей, определяющих техническое состояние верхних основных ворот шлюза № 25 – 26 ФБУ «Администрация Волжского бассейна»

Наименование показателей, определяющих техническое состояние	Утвержденные критериальные значения показателя		
	К 1	К 2	К 3
Стрела прогиба ригелей под напором, мм	30	32	35
Коррозионный износ м/к, %	17	19	25
Фильтрационный расход, л/с	6	8	10
Износ путей, мм	8	9	10
Деформации и повреждения в силовых элементах и зонах сварных швов металлоконструкций	Вмятины до 25 мм	Прогибы ригелей и диафрагм до 25 мм	Трещины или деформация силовых элементов

Выводы (Summary)

1. Предельно-допустимое значение прогиба нижнего ригеля ПОВ под напором не соответствует допустимым значениям утонения элементов ворот, указанных в нормативных документах.

2. Значение упругого прогиба ПОВ под напором может рассматриваться как диагностический параметр при условии учета вида и динамики деструктивных процессов, а также фиксации фактов перехода технического состояния изделий на другой уровень.

3. Использование в [14] при различных уровнях технического состояния металлоконструкций К2 и К3 в качестве диагностического параметра утонения элементов представляется некорректным ввиду невозможности его измерения с необходимой точностью при высокой шероховатости поверхности элементов, а также отсутствия его корреляции с процессом коррозионно-усталостного разрушения, определяющего фактическое состояние изделия.

4. Изложенная методика проверки возможности использования показателя прогиба ПОВ под напором в качестве диагностического параметра их состояния может быть использована при проверке эффективности других показателей состояния элементов механического оборудова-

ния судоходных гидротехнических сооружений, измерение которых регламентировано положениями нормативно-технической документации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Саратовская ГЭС. Шлюз. Верхняя голова. Ворота опускные 30.0-5.5-5.5. Пояснительная записка и расчет. — Л.: Гидростальпроект, 1966. — 85 с.
2. Кузьмицкий М. Л. Проведение расчетных исследований с анализом прочностного состояния и остаточного ресурса металлоконструкций аварийно-ремонтных ворот, верхних рабочих ворот, нижних двустворчатых ворот и ремонтных двустворчатых ворот и затворов водопроводных галерей шлюза № 17–18 Чебоксарского РГСЧС и шлюза № 25-26 Балаковского РГСЧС: отчет о НИР / М. Л. Кузьмицкий. — СПб.: ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова», 2014. — 118 с.
3. Полонский Г. А. Механическое оборудование гидротехнических сооружений / Г. А. Полонский. — М.: Энергия, 1974. — 343 с.
4. МУ 050-025-2001. Методические указания. Определение технического состояния металлоконструкций ворот и затворов СГТС. — М.: ФГУП ЦБНТИМТ РФ, 2002. — 86 с.
5. ГОСТ Р ИСО 16809-2015 Контроль неразрушающий. Контроль ультразвуковой. Измерение толщин. — М.: Стандартинформ, 2015. — 32 с.
6. Kuz'mitskii M. L. Corrosive wear of gate and valve metal structures at navigation locks and assessment of their remaining lifetime / M. L. Kuz'mitskii, N. M. Ksenofontov // Power Technology and Engineering. — 2016. — Vol. 50. — Is. 2. — Pp. 164–167. DOI: 10.1007/s10749-016-0677-8.
7. Защита от коррозии, старения и биоповреждений машин, оборудования и сооружений: справ.: В 2 т. / под ред. А. А. Герасименко. — М.: Машиностроение, 1987. — Т. 1. — 688 с.
8. Marcus Ph. Corrosion Mechanisms in Theory and Practice / Ph. Marcus. — Third Edition. — CRC Press, 2017. — 941 p.
9. Guyer J. P. An Introduction to Periodic Inspection of Steel Hydraulic Structures / J. P. Guyer. — Guyer Partners, 2017. — 32 p.
10. Mahmoud H. Fatigue and fracture life-cycle cost assessment of a Miter gate with multiple cracks / H. Mahmoud, A. Chulahwat, G. Riveros // Engineering Failure Analysis. — 2018 — № 83. — 57 p.
11. Форрест П. Усталость металлов / П. Форрест. — М.: Машиностроение, 1968. — 352 с.
12. Когаев В. П. Прочность и износостойкость деталей машин / В. П. Когаев, Ю. Н. Дроздов. — М.: Машиностроение, 1991. — 319 с.
13. Кузьмицкий М. Л. Расчетные исследования влияния коррозионного износа на прочность металлоконструкций ворот и затворов шлюзов / М. Л. Кузьмицкий, Н. М. Ксенофонов, В. Б. Чистов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2016. — № 1(35). — С. 60–66. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-1-60-66.
14. Методические рекомендации по контролю технического состояния и оценке безопасности судоходных гидротехнических сооружений. — М., 2011. — 136 с.
15. Похмурский В. И. Коррозионная усталость металлов / В. И. Похмурский. — М.: Металлургия, 1985. — 206 с.
16. ГОСТ 27518-87 Диагностирование изделий. Общие требования. — М.: Стандартинформ, 2009. — 4 с.

REFERENCES

1. Saratovskaya GEHS. Shlyuz. Verhnyaya golova. Vorota opuskiye 30.0-5.5-5.5. Poyasnitel'naya zapiska i raschet. L.: Gidrostal'proekt, 1966.
2. Kuzmitskiy, M.L. Provedenie raschetnyh issledovaniy s analizom prochnostnogo sostoyaniya i ostatoch-nogo resursa metallokonstrukcij avarijno-remontnyh vorot, verkhnih rabochih vorot, nizhnih dvustvorchatykh vorot i remontnykh dvustvorchatykh vorot i zatvorov vodoprovodnykh galerej shlyuza № 17-18 Cheboksarskogo RGSiS i shlyuza №25-26 Balakovskogo RGSiS: Otchet o NIR. SPb: FGBOU VO «GUMRF imeni admirala S.O. Makarova», 2014.
3. Polonskij, G.A. Mekhanicheskoe oborudovanie gidrotekhnicheskikh sooruzhenij M.: Ehnergiya, 1974.

4. Russian Federation. Methodical instructions MU 050-025-2001. Opredelenie tekhnicheskogo sostoyaniya metallokonstrukcij vorot i zatvorov SGTS. M.: FGUP CBNTIMT RF, 2002.
5. Russian Federation. State Standard GOST R ISO 16809-2015. Non-destructive testing. Ultrasonic testing. Thickness measurement. M.: Standartinform, 2015.
6. Kuz'mitskii, M.L., and N.M. Ksenofontov. "Corrosive Wear of Gate and Valve Metal Structures at Navigation Locks and Assessment of Their Remaining Lifetime." *Power Technology and Engineering* 50.2 (2016): 164–167. DOI: 10.1007/s10749-016-0677-8.
7. Gerasimenko, A.A., ed. *Zashchita ot korrozii, stareniya i biopovrezhdenii mashin, oborudovaniya i sooruzhenii: Spravochnik*. M.: Mashinostroenie, 1987.
8. Marcus, Philippe. *Corrosion Mechanisms in Theory and Practice*. Third Edition. CRC Press, 2017.
9. Guyer, J. Paul. *An Introduction to Periodic Inspection of Steel Hydraulic Structures*. Guyer Partners, 2017.
10. Mahmoud H., A. Chulawat, and G. Riveros "Fatigue and fracture life-cycle cost assessment of a Miter gate with multiple cracks." *Engineering Failure Analysis* 83 (2018):57–74.
11. Forrest, P. *Uсталost' metallov*. M.: Mashinostroenie, 1968.
12. Kogaev, V.P., and Yu.N. Drozdov. *Prochnost' i iznosostoičnost' detalei mashin*. M.: Mashinostroenie, 1991.
13. Kuzmitskiy, Mikhail Leonidovich, Nikolai Mikhailovich Ksenofontov, and Valentin Borisovich Tchistov. "Calculated research influence corrosive wearon strength metal constructions gates navigation lock." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 1(35) (2016): 60–66. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-1-60-66.
14. *Metodicheskie rekomendacii po kontrolyu tekhnicheskogo sostoyaniya i ocenke bezopasnosti sudohodnyh gidrotekhnicheskikh sooruzhenij*. M., 2011.
15. Pohmurskij, V. I. *Korrozionnaya ustalost' metallov*. M.: Metallurgiya, 1985.
16. Russian Federation. State Standard GOST 27518-87. Diagnostics of items. General requirements. M.: Standartinform, 2009.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кузьмицкий Михаил Леонидович —
доктор технических наук,
главный научный сотрудник
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: kuzmitskiymfspbuwc@mail.ru

Ксенофонт Николай Михайлович —
научный сотрудник
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: ksen_nm@mail.ru

Чистов Валентин Борисович —
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: kaf_sopromat@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Kuzmitskiy, Mikhail L. —
Dr. of Technical Sciences,
chief research scientist
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: kuzmitskiymfspbuwc@mail.ru

Ksenofontov, Nikolai M. —
Research scientist
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: ksen_nm@mail.ru

Chistov, Valentin B. —
Dr. of Technical Sciences, professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: kaf_sopromat@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 16 марта 2018 г.
Received: March 16, 2018.