

DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-2-197-206

STUDY OF ACTUATORS PERFORMANCE OF THE MAIN MITER GATE OF NAVIGABLE LOCKS

N. M. Ksenofontov, A. V. Saushev, A. A. Temkin

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

The maneuvering of the main miter gate of navigable locks by means of electric drives implemented according to the various kinematic schemes is considered. It is noted that the available information about the main characteristics of the exploited drive mechanisms allows you to make the assumption about the values of their set carrying capacity and power on metal structures of the locks gate that are similar in design and perceived loads. The aim of this work is to determine the compliance of the design values of the main parameters of the operated key actuators of the main miter gate with the designed ones using the example of locks with widths of 18–30 m, located on the Volga-Baltic waterway and the Volga-Don shipping channel. The calculated studies are carried out using the classical methods described in the industry technical literature and regulatory documents. Preliminary calculations have shown that for an enlarged calculation, it is sufficient to determine the moment of hydrostatic resistance at the total difference between the pressure and non-pressure sides of the leafs, since the remaining moments of resistance have significantly lower values. The values obtained as a result of the calculation are compared with the established values of the studied characteristics. As a result of the comparative analysis, it is determined that for most of them, the established design carrying capacity and power significantly exceed the calculated values. In some cases, the reserve factor exceeds 1.8. At the same time, the absence of such reserve is established at some facilities, but there is no information about the lack of power at these facilities. In order to prevent such phenomena, it is proposed to develop the common industry requirements for the design of gates electric drives and valves of shipping hydraulic structures, as well as in the development of projects for reconstruction of operated actuators to perform field studies to determine the actually required carrying capacity and power.

Keywords: Shipping lock, miter gate, mechanical equipment, electric drive, kinematic scheme, carrying capacity, power, reserve factor.

For citation:

Ksenofontov, Nikolay M., Alexander V. Saushev, and Anton A. Temkin. "Study of actuators performance of the main miter gate of navigable locks." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiral S. O. Makarova* 13.2 (2021): 197–206. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-2-197-206.

УДК 621.3, 627, 626.4

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ОСНОВНЫХ ДВУСТВОРЧАТЫХ ВОРОТ СУДОХОДНЫХ ШЛЮЗОВ

Н. М. Ксенофонтов, А. В. Саушев, А. А. Темкин

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

Рассмотрено маневрирование створками двухстворчатых ворот судоходных шлюзов, осуществляемое с помощью электроприводов, реализованных по различным кинематическим схемам. Отмечается, что имеющиеся сведения об основных характеристиках эксплуатируемых приводных механизмов позволяют сделать предположение об отличии их установленных значений грузоподъемности и мощности на близких по конструктивному исполнению и воспринимаемым нагрузкам металлоконструкциях ворот судоходных шлюзов. Целью настоящей работы является определение соответствия проектных значений основных параметров эксплуатируемых приводов основных двухстворчатых ворот расчетным на примере судоходных шлюзов с шириной камеры 18–30 м, расположенных на Волго-Балтийском водном пути и Волго-Донском судоходном канале. Расчетные исследования выполнены с помощью классических методов, изложенных в отраслевой технической литературе и нормативных документах. Предварительные расчеты показали, что для укрупненного расчета достаточно определения момента гидростатического

сопротивления при общем перепаде между напорной и безнапорной сторонами створок, так как остальные моменты сопротивления имеют значительно меньшие значения. Выполнено сравнение значений, полученных в результате расчета, с установленными значениями исследуемых характеристик. В результате сравнительного анализа определено, что для большинства из них установленные проектная грузоподъемность и мощность значительно превышают расчетные значения. В отдельных случаях коэффициент запаса превышает 1,8. При этом на отдельных сооружениях установлено отсутствие такого запаса, однако сведения о недостатке мощности на этих сооружениях отсутствуют. Предлагается для предупреждения подобных явлений разработать общие отраслевые требования по проектированию электроприводов ворот и затворов судоходных гидротехнических сооружений, а также при разработке проектов реконструкции эксплуатируемых приводных механизмов выполнять натурные исследования по определению фактически требуемых грузоподъемности и мощности.

Ключевые слова: судоходный шлюз, двустворчатые ворота, механическое оборудование, электропривод, кинематическая схема, грузоподъемность, мощность, коэффициент запаса.

Для цитирования:

Ксенофонт Н. М. Исследование рабочих характеристик электроприводов основных двустворчатых ворот судоходных шлюзов / Н. М. Ксенофонт, А. В. Саушев, А. А. Темкин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2021. — Т. 13. — № 2. — С. 197–206. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-2-197-206.

Введение (Introduction)

Маневрирование основными двустворчатыми воротами (ОДВ) судоходных шлюзов осуществляется с помощью электромеханических приводов (ЭМП) и электрогидравлических приводов (ЭГП), реализованных в соответствии с различными кинематическими схемами, среди которых наиболее распространенными являются *кривошипно-штанговая* (рис. 1) и *штоковая* (рис. 2).

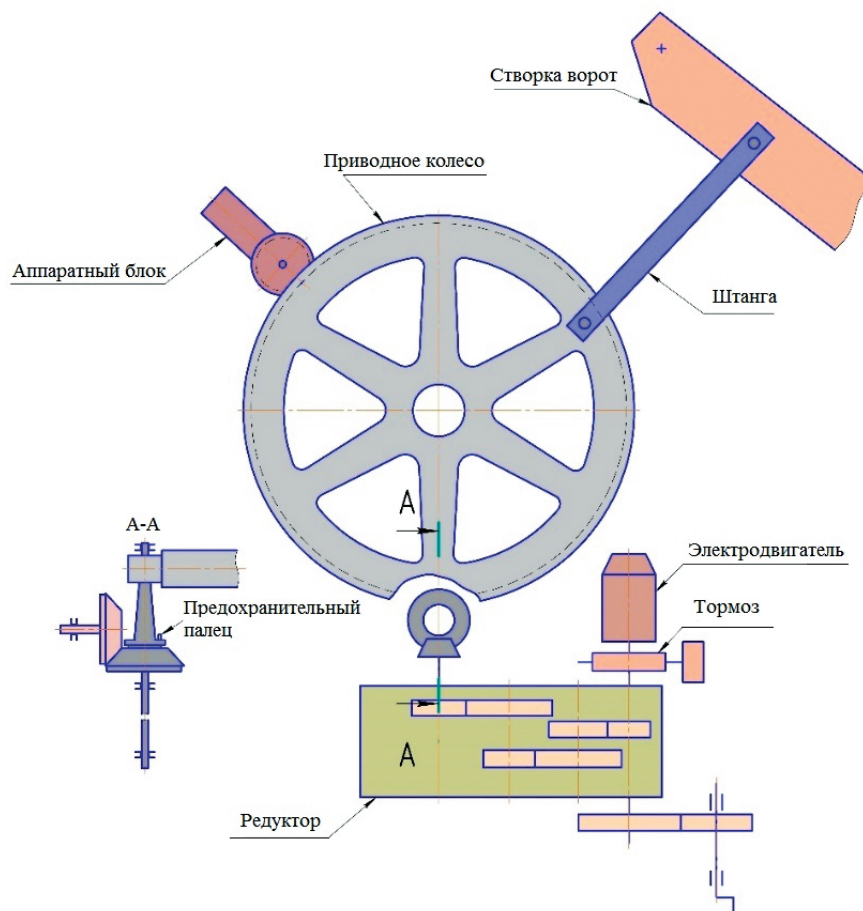


Рис. 1. Типовая кинематическая схема кривошипно-штангового электропривода основных двустворчатых ворот

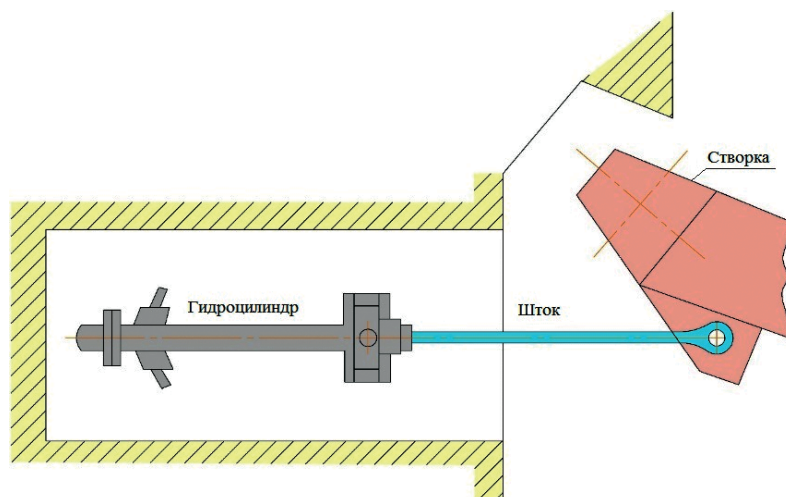


Рис. 2. Классическая кинематическая схема штоквого электрогидравлического привода основных двусторчатых ворот

Имеющиеся сведения об основных характеристиках эксплуатируемых приводных механизмов позволяют сделать предположение об отличии, в частности, их установленных значений грузоподъемности и мощности на близких по конструктивному исполнению и воспринимаемым нагрузкам металлоконструкциях. Например, грузоподъемность привода нижних ОДВ шлюза № 25–26 Балаковского гидроузла Волжского бассейна составляет $100 \text{ т} \cdot \text{с}$, а шлюза № 17–18 Чебоксарского гидроузла того же бассейна — $230 \text{ т} \cdot \text{с}$ при одинаковых ширине камеры, конструкции ворот и воспринимаемых нагрузках.

В современной практике также имеют место случаи необоснованного увеличения параметров привода при его замене. Так, при реконструкции шлюза № 5 Северо-Двинской шлюзованной системы возросла в два раза грузоподъемность привода ОДВ (рис. 3) при отсутствии какого-либо обоснования.



Рис. 3. Пример установки электромеханического привода типа электроцилиндр шлюза № 5 Северо-Двинской шлюзованной системы

Приведенный пример в отечественной практике не является единичным. В работе [1] отмечается, что для схожих по техническим характеристикам ОДВ с ЭМП проектная мощность ЭГП возросла в 2–5 раз. При этом существующие отраслевые нормативные документы: РТМ 212.0106–81

«Руководящий технический материал. Расчет и выбор электрооборудования гидротехнических сооружений» и РД-212-171-93 «Гидроприводы затворов шлюзов, требования к проектированию», содержащие основные требования к проектированию приводов ворот и затворов, не нашли широкого применения, в том числе ввиду неопределенности их правового статуса. На момент проектирования большинства из эксплуатируемых приводных механизмов не существовало единых требований, подобных РТМ 212.0106-81 и РД-212-171-93. В связи с этим в проектной документации, как правило, отсутствуют расчетные обоснования по выбору типа привода, его кинематической схемы и основных характеристик. Указанное обстоятельство свидетельствует о наличии вероятности завышения значений основных рабочих параметров рассматриваемых элементов механического оборудования. К таким параметрам, например, относятся *грузоподъемность и мощность*. Завышение значений этих параметров неизбежно приведет к увеличению массогабаритных показателей электропривода, стоимости его изготовления, монтажа и обслуживания, а также снижению его ремонтпригодности.

Типы электроприводов металлоконструкций гидротехнических сооружений и их описание изложены в литературе [2], [3]. Основные положения по определению расчетных характеристик ворот и затворов судоходных шлюзов изложены, в частности, в технической литературе [4]–[6] и научных публикациях [7]–[9]. Результаты исследований в области совершенствования приводных механизмов рассматриваемых конструкций представлены в работах [10]–[13].

Целью работы является анализ и разработка рекомендаций по оценке соответствия проектных значений основных параметров эксплуатируемых приводов ОДВ расчетным. Данная оценка выполнена на примере наиболее широко распространенных судоходных шлюзов с шириной камеры 18–30 м, расположенных на Волго-Балтийского водного пути (ВБВП) и Волго-Донском судоходном канале (ВДСК). Причиной выбора данных объектов явились их массовость и продолжительность эксплуатации, которая в большинстве случаев превышает 60 лет. С учетом указанного срока службы данные элементы механического оборудования, скорее всего, будут заменены в ближайшие 10–20 лет.

Для решения поставленной в настоящей работе цели необходима реализация ряда практических задач:

- формирование сведений, необходимых для проведения расчетного исследования;
- определение расчетных значений основных параметров электроприводов;
- выбор коэффициента запаса с учетом рекомендаций технической литературы;
- выполнение сравнительной оценки основных характеристик приводов двустворчатых ворот, согласно установленным грузоподъемности и мощности, с расчетными значениями.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Определение необходимых значений грузоподъемности и мощности электроприводов ОДВ требует наличия большого количества исходных данных, часть из которых является индивидуальной для конкретного сооружения. Сбор и обработка такого массива информации обязательны при проектировании приводов, но не являются необходимыми для сравнительного анализа эксплуатируемых механизмов ОДВ. Поэтому в настоящей работе принята методика укрупненного расчета фактического сопротивления движению створок ворот в соответствии с положениями, изложенными в работах [2]–[4], [5]–[7].

Для определения силы сопротивления движению створок ворот использовались рекомендации работ [2]–[4], [5], [6]. Предварительные расчеты показали, что для укрупненного расчета достаточно определения момента гидростатического сопротивления M_2 при общем перепаде Z между напорной и безнапорной сторонами створок, так как остальные моменты сопротивления, в частности обусловленные движением створки в воде, ветровой нагрузкой, силами инерции и трением в пяте и гальсбанте, имеют значительно меньшие значения.

Величина момента сопротивления M_2 определялась по формуле

$$M_2 = 0,5h_k l^2 c Z, \quad (1)$$

где h_k — высота подводной части створки при нормальном уровне нижнего бьефа, м; l_c — длина створки, м; Z — разность уровня воды перед воротами и за ними, м:

$$Z = Z_1 + Z_2.$$

Здесь Z_1 — перепад при открытии ворот и вытеснении ими воды из шкафной части, м; Z_2 — перепад, вызванный инерционными колебаниями уровня воды в камере и в подходном канале, м.

На основе результатов наблюдений установлено, что у приводов ОДВ максимальная величина Z_1 соответствует моменту времени от начала открытия ворот до момента $t_1 = 0,3t_0$ и может быть рассчитана по формуле

$$Z_1 = \left(2,5 \frac{l_c^2}{b_n t_0} \right)^2, \quad (2)$$

где b_n — ширина камеры шлюза, м; t_0 — полное время открытия ворот, с.

При расчетах момента M_2 значения Z принимались в диапазоне 0,1–0,4 м в зависимости от размеров камеры шлюза и площади нижнего подходного канала.

Необходимое расчетное тяговое усилие для вращения створки определялось по формуле

$$F_p = \frac{M_2}{a}, \quad (3)$$

где M_2 — момент гидростатического сопротивления, Н·м; a — расстояние от оси крепления штанги привода на створке до оси вращения створки, м.

Требуемая мощность приводов ворот и затворов при укрупненном расчете определялась по формуле

$$N_p = \frac{F_p l_a}{\eta t}, \quad (4)$$

где F_p — расчетное тяговое усилие, тс; l_a — длина пути перемещения точки положения силы F_p при маневрировании воротами и затворами, м:

$$l_a = a \cdot \text{рад}, \quad (5)$$

где рад — полный угол поворота створки; t — время маневрирования, с; η — КПД, в соответствии с рекомендациями [4], принят равным 0,7.

Формула (5) является корректной при условии $F = \text{const}$ и $t = \text{const}$. Фактически при маневрировании створками ворот эти величины не являются постоянными. Данное обстоятельство подтверждает необходимость изучения при проектировании приводов циклограмм нагружения¹, согласно проведенным исследованиям в работах [6], [17].

Величина коэффициента запаса привода по грузоподъемности рассчитывалась по формуле (6), по мощности — формуле (7):

$$k_F = \frac{F_y}{F_p}; \quad (6)$$

$$k_N = \frac{N_y}{N_p}. \quad (7)$$

В работе [4] рекомендуемое значение коэффициента запаса рассчитываемых параметров выбран равным 1,2. С учетом принятых в настоящей работе допущений представляется целесообразным увеличить его до 1,5.

Необходимые для выполнения укрупненных расчетов исходные данные принимались в соответствии с данными, представленными в табл. 1.

¹ ГОСТ 17752–81. Гидропривод объемный и пневмопривод. Термины и определения. Введ. с 01.01.82 взамен ГОСТ 17752-72.

Таблица 1

Исходные данные для определения параметров электроприводов основных двустворчатых ворот судоходных шлюзов

Наименование шлюза		Наименование ворот	Наименование параметров									
		Тип привода	Рабочий набор, м	Размер перекрываемого отверстия, Ш×В, м	Размер створки, Д×В, м	h _к , м	Масса створки, т	a, м	F _у , тс	N _у , кВт	Полное время открытия ворот, с	
ФБУ «Администрация «Волго-Балт»												
Нижне-Сви́рский	Верхние	ЭМП	7,00	21,50'7,30	12,36'7,36	7,00	52,00	2,88	16	7,5	120	
	Нижние		12,70	21,50'19,28	12,37'19,84	8,00	160,00	2,88	16	7,5	120	
Верхне-Сви́рский	Нижние		16,30	21,50'21,62	12,75'21,62	5,15	190,00	3,30	50	22,0	120	
	№ 1		13,70	18,00'18,69	10,89'16,69	4,30	133,70	3,31	50	11,0	157	
№ 2	13,25		18,00'17,80	10,89'17,80	4,55	133,15	3,31	50	11,0	157		
№ 3	13,10		18,00'17,99	10,89'17,99	4,18	131,30	3,31	50	11,0	157		
№ 4	13,60		18,00'17,99	10,89'17,99	5,07	131,30	3,31	50	11,0	157		
№ 5	12,75		18,00'18,10	10,89'18,10	4,20	133,70	3,31	50	11,0	157		
№ 6	17,70		18,00'23,50	10,89'23,50	5,50	159,15	3,31	50	11,0	157		
№ 7	13,50		18,00'18,02	10,89'18,02	6,25	128,71	3,31	75	11,0	117		
№ 8	Нижние	ЭГП	15,00	21,50'20,35	12,55'20,35	7,80	199,00	2,92	190	4'37,0	130	
ФБУ «Администрация Волго-Дон»												
№ 1, 10–12	Нижние	ЭМП*	11,40	18,00'15,00	10,90'15,19	4,50	136,00	3,31	60	15,00	60	
№ 2–9			10,40	18,00'14,00	10,90'14,22		123,00			11,00		
№ 13			13,50	18,00'16,50	10,90'16,84		129,00			15,00		
№ 15			14,20	18,00'17,00	10,90'17,20		129,00			15,00		
№ 14	Верхние	ЭГП	14,20	18,00'16,50	10,90'17,20	8,00	92,00	1,81	50	11,00	140,00	
	Нижние		13,50	18,00'11,00	10,90'11,25		58,00			40		
Константиновский	Верхние		8,30	18,00'11,30	10,86'11,35		85,00			40		140,00
	Нижние		5,20	18,00'13,60	10,86'13,65	4,50	85,00			40		140,00
№ 30, 31	Верхние	13,50	30,00'13,50	17,56'14,05	13,00	225,00	5,65	100	28	120		
	Средние	18,50	30,00'19,50	17,56'19,89	7,00	343,00						
	Нижние	16,50	30,00'25,00	17,56'17,35	4,00	381,00						

Примечания:

 F_y — установленная грузоподъемности привода; N_y — установленная мощность основного электродвигателя привода;

* — на шлюзе № 7 ВДСК установлен ЭМП типа электроцилиндр с основными рабочими характеристиками идентичными замененному.

Результаты (Results)

Результаты расчета сил сопротивления движению створок основных двустворчатых ворот, требуемой расчетной мощности электроприводов ОДВ, а также расчетных величин коэффициентов запаса сведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчета

Наименование шлюза	Тип привода	F_y , т·с	F_p , т·с	k_F	t_0 , с	N_y , кВт	N_p , кВт	k_N
ФБУ «Администрация «Волго-Балт»								
Нижне-Свирский:								
Верхние	ЭМП	16	17,9	0,9	120	7,5	7,5	1,0
Нижние	ЭМП	16	20,5	0,8	120	7,5	8,6	0,9
Верхне-Свирский	ЭМП	50	25,6	1,9	120	22,0	12,3	1,8
№ 2	ЭМП	50	24,5	2,0	117	11,0	9,0	1,2
№ 3	ЭМП	50	22,5	2,2	117	11,0	8,3	1,3
№ 4	ЭМП	50	27,5	1,8	117	11,0	10,1	1,1
№ 5	ЭМП	50	22,6	2,2	117	11,0	8,3	1,3
№ 6	ЭМП	50	29,6	1,7	117	11,0	10,9	1,0
№ 7	ЭМП	75	33,6	2,2	117	11,0	16,6	0,7
№ 8	ЭГП	190	62,0	3,1	130	72,0	24,3	2,9
ФБУ «Администрация «Волго-Дон»								
№ 1–15	ЭМП	60	24,2	2,5	60	11,0/15,0	23,3	0,5
Константиновский:								
Верхние	ЭГП	50	26,3	1,95	140	40,0	5,9	6,8
Нижние	ЭГП	50	44,3	1,15	140	40,0	10,0	4,0
№ 30, 31:								
Верхние	ЭГП	100	35,5*	2,8	120	28,0	29,1	0,9
Средние	ЭГП	100	19,1*	5,2	120	28,0	15,7	1,8
Нижние	ЭГП	100	43,0*	3,1	120	28,0	26,8	1,0

Примечания:

F_p — расчетная грузоподъемности привода; N_p — расчетная мощности основного электродвигателя привода; k_F , k_N — коэффициенты запаса по грузоподъемности и мощности; t_0 — полное время открытия ворот; h_k — высота подводной части створки при нормальном уровне нижнего бьефа, варьируется от 2,1 м до 13,0 м; a — расстояние от оси вращения створки до оси крепления штанги составляет 1,85–5,6 м; * — $a = 5,6$ м.

Из представленных в табл. 2 результатов расчета основных параметров рассматриваемых электроприводов следует, что для большинства из них установленная грузоподъемность значительно превышает расчетные значения. Средняя величина коэффициентов запаса по грузоподъемности k_F составила для ЭМП $\bar{k}_F^M = 1,9$, для ЭГП — $\bar{k}_F^r = 2,8$. Приведенные значения значительно превышают принятое, равное 1,5.

Как отмечалось ранее, в 70–80-е гг. XX в. в Ленинградском институте водного транспорта под руководством Н. М. Жулина был проведен комплекс натурных исследований по определению фактических значений нагрузок и потребляемой мощности в электроприводах ворот и затворов ВБВП и динамики их изменения в процессе маневрирования. В результате исследований [14], [15] было определено максимальное тяговое усилие ЭМП ОДВ шлюзов № 1–5, а также Нижне-Свирского (НСШ) и Верхне-Свирского (ВСШ). Из полученных в ходе натурных исследований результатов следует, что фактические коэффициенты запаса по грузоподъемности для ЭМП шлюзов № 1–5 и ВСШ совпали с расчетными значениями, приведенными в табл. 2, а для НСШ находятся в близком диапазоне ($k_F^u = 0,5 – 1,1$). Следует также отметить, что несмотря на отсутствие запаса электропривода ОДВ НСШ по грузоподъемности, случаев его недостаточности в течение всего периода эксплуатации сооружения не установлено.

Анализ данного показателя по табл. 2 позволяет выделить приводы с заведомо завышенными значениями грузоподъемности, это, в первую очередь, шлюз № 8 ВБВП. Проектные характеристики

привода его ОДВ при ширине камеры шлюза 21,5 м значительно превышают аналогичные значения для сооружений ВДСК (шлюз № 30–31) и Волжского бассейна (шлюз № 24–25 Балаковского района гидросооружений и судопропуска), ширина камеры которых составляет 30 м.

Для многих приводов ОДВ запас по мощности отсутствует. Однако необходимо отметить, что значения $k_N < 1$ не привели к сбоям и отказам приводов, что свидетельствует о превышении расчетных значений N_p над фактически необходимыми. Наиболее высокие значения запаса по мощности получены для приводов ОДВ Константиновского шлюза ВДСК, где k_N для верхних ворот составил 6,8, нижних — 4,0. На шлюзе № 8 ВБВП мощность привода почти в три раза выше требуемой. Среднее значение коэффициента запаса мощности для ЭМП составило $\bar{k}_N^M = 0,78$, для ЭГП — $\bar{k}_N^Г = 1,92$.

Выводы (Conclusion)

На основе представленных в данной работе результатов сравнительного анализа основных характеристик рассмотренных электроприводов ОДВ можно сделать следующие выводы:

- проектные значения грузоподъемности и мощности эксплуатируемых электроприводов имеют большой диапазон значений, включая близкие технические характеристики ворот и условия нагружения;
- имеет место необоснованное значительное завышение проектных значений основных параметров электроприводов;
- расчетные относительные показатели запасов грузоподъемности и мощности позволяют количественно оценить несоответствие основных характеристик, установленных (проектируемых) приводов двустворчатых ворот их оптимальным значениям.

Для предупреждения в дальнейшем подобных явлений представляется необходимым проведение следующих мероприятий:

1. Разработка общих требований по проектированию электроприводов ворот и затворов судоходных гидротехнических сооружений;
2. При разработке проектов реконструкции эксплуатируемых приводных механизмов выполнение натурных исследований по определению фактически требуемых грузоподъемности и мощности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузьмицкий М. Л. Анализ опыта эксплуатации и технического состояния эксплуатируемых гидроприводов ворот и затворов СГТС на внутренних путях России и систем их управления / М. Л. Кузьмицкий // Гидропривод ворот и затворов шлюзов судоходных гидротехнических сооружений: сб. науч.-техн. материалов технического совещания по оптимизации конструкции гидропривода. — Самара: Изд-во «АСГАРД», 2013. — С. 110–121.
2. Селезнев С. В. Поверхностные затворы больших пролетов судопропускных сооружений, шлюзов и доков / С. В. Селезнев, Г. П. Лохматиков. — СПб.: Энергоатомиздат (СПб. отд.), 1995. — 695 с.
3. Полонский Г. А. Механическое оборудование гидротехнических сооружений / Г. А. Полонский. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергия, 1974. — 344 с.
4. Семанов Н. А. Судоходные каналы, шлюзы и судоподъемники / Н. А. Семанов, Н. Н. Варламов, В. В. Баланин. — М.: Транспорт, 1972. — 352 с.
5. Daniel R. Lock gates and other closures in hydraulic projects / R. Daniel, T. Paulus. — 1st edition. — Butterworth-Heinemann, 2018. — 993 p.
6. Колосов М. А. Механическое оборудование судоходных шлюзов / М. А. Колосов, П. А. Гарибин. — СПб.: Издательство «Лань», 2017. — 148 с.
7. Тырва В. О. Построение и применение интервальной модели нагрузок электропривода ворот шлюза / В. О. Тырва // Сборник научных статей национальной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова». — СПб.: ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова», 2019. — С. 199–206.
8. Gerritse A. Load Principles for Drive Mechanisms of Miter Gates: Master Thesis Report / A. Gerritse. — Delft university of Technology, 2016. — 206 p.

9. McKinley B. F. Miter Gate Machinery, Design Options and State of the Art / B. F. McKinley // *PIANC-World Congress Panama City*. — 2018.

10. Морозов В. Н. Модернизация гидроприводов судоходных гидротехнических сооружений технико-экономические проблемы и пути решения / В. Н. Морозов, В. В. Гнеденко, И. Л. Павлович // *Проблемы развития предприятий: теория и практика*. — 2018. — № 1. — С. 197–201.

11. Морозов В. Н. Перспективные направления развития экспериментальной базы для испытания гидроприводов судоходных гидротехнических сооружений / В. Н. Морозов // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. — 2016. — Т. 18. — № 1–2. — С. 242–246.

12. Zhou J. Analytical and experimental research on stability of large slenderness ratio horizontal hydraulic hoist / J. Zhou, D. W. Shi, Z. L. Sun, T. Bi, X. H. Cheng, D. Chen, Y. Lu // *Advances in Mechanical Engineering*. — 2018. — Vol. 10. — Is. 10. — Pp. 1687814018803472. DOI: 10.1177/1687814018803472.

13. Жулин Н. М. Совершенствование механического оборудования шлюзов и систем управления земснарядов, в том числе исследование режимов механизмов ворот Верхне-Сви́рского шлюза: Отчет о НИР (промежуточный), тема № 83–720 (доп. соглашение) / Н. М. Жулин, В. Э. Шнейдер. — 1986. — 44 с.

14. Жулин Н. М. Совершенствование механического оборудования шлюзов и систем управления земснарядов, в том числе исследование режимов механизмов ворот Нижне-Сви́рского шлюза: отчет о НИР (заключит.), тема № 83–720 (доп. соглашение) / Н. М. Жулин, В. Э. Шнейдер, Н. А. Муленко. — 1987. — 46 с.

15. Жулин Н. М. Исследовать техническое состояние механического оборудования судоходных гидротехнических сооружений и выполнить работы по совершенствованию его контроля. Задание 2. Анализ технического состояния механизмов шлюзов ВБВП им. В. И. Ленина с разработкой предложений по их модернизации: Отчет о НИР (заключит.), тема № 90–421 / Н. М. Жулин. — 1991. — 46 с.

16. Ивановский Ю. К. Основы теории гидропривода / Ю. К. Ивановский, К. П. Моргунов. — СПб.: ФГБОУ ВПО ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова, 2014. — 200 с.

17. Фролов К. В. Машиностроение : энцикл.: в 40 т. — Разд. 4: Расчет и конструирование машин. — Т. 4–2: Электропривод. Гидро- и виброприводы. — Кн. 2: Гидро- и виброприводы / К. В. Фролов [и др.]. — М.: Машиностроение, 2012. — 305 с.

REFERENCES

1. Kuz'mitskii, M. L. "Analiz opyta ekspluatatsii i tekhnicheskogo sostoyaniya ekspluatiruemykh gidroprivodov vorot i zatvorov SGTS na vnutrennikh putyakh Rossii i sistem ikh upravleniya." *Sbornik nauchno-tekhnicheskikh materialov tekhnicheskogo soveshchaniya po optimizatsii konstruktсии gidroprivoda «Gidroprivod vorot i zatvorov shlyuzov sudokhodnykh gidrotekhnicheskikh sooruzhenii»*. Izdatel'stvo AS Gard, 2013. 110–121.

2. Seleznev, S. V., and G. P. Lokhmatikov. *Poverkhnostnye zatvory bol'shikh proletov sudopropusknykh sooruzhenii, shlyuzov i dokov*. SPb.: Energoatomizdat, s.-peterb. otd.-nie, 1995.

3. Polonskii, G. A. *Mekhanicheskoe oborudovanie gidrotekhnicheskikh sooruzhenii*. 2nd ed. M.: «Energiya», 1974.

4. Semanov, N. A., N. N. Varlamov, and V. V. Balanin. *Sudokhodnye kanaly, shlyuzy i sudopod'emniki*. M.: Transport, 1972.

5. Daniel, Ryszard, and Tim Paulus. *Lock gates and other closures in hydraulic projects*. Butterworth-Heinemann, 2018.

6. Kolosov, M. A., and P. A. Garibin. *Mekhanicheskoe oborudovanie sudokhodnykh shlyuzov*. SPb.: Izdatel'stvo «Lan'», 2017.

7. Tyrva, V. O. "Construction and application of interval model loads of electric drive for sluice gate." *Sbornik nauchnykh statei natsional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava FGBOU VO "GUMRF imeni admirala S. O. Makarova"*. SPb.: FGBOU VO "GUMRF imeni admirala S. O. Makarova", 2019. 199–206.

8. Gerritse, Anouk. Load Principles for Drive Mechanisms of Miter Gates. Master Thesis Report. Delft university of Technology, 2016.

9. McKinley, Brenden F. "Miter Gate Machinery, Design Options and State of the Art." *PIANC-World Congress Panama City*. 2018.

10. Morozov, Victor Nikolaevich, Vladimir Vasilevich Gnedenko, and Igor Lvovich Pavlovich. "Modernization of hydraulic drives of navigable hydraulic structures. Technical and economic problems and solutions." *Problems of Enterprise Development: Theory and Practice* 1 (2018): 197–201.

11. Morozov, Viktor, Igor Krasnocshchekov, Dmitriy Krasinskiy, Lev Pavlovich, Igor Pavlovich, Evgeniy Melnikov, and Roman Klinov. "Perspective directions of development of experimental base for tests the hydraulic drives of navigable hydrotechnical facilities." *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences* 18.1–2 (2016): 242–246.
12. Zhou, Ji, Duan-Wei Shi, Zhi-Lin Sun, Tao Bi, Xiong-Hao Cheng, Dong Chen, and Yang Lu. "Analytical and experimental research on stability of large slenderness ratio horizontal hydraulic hoist." *Advances in Mechanical Engineering* 10.10 (2018): 1687814018803472.
13. Zhulin, N. M., and V. E. Shneider. Sovershenstvovanie mekhanicheskogo oborudovaniya shlyuzov i sistem upravleniya zemsnyaradov, v tom chisle issledovanie rezhimov mekhanizmov vorot Verkhne-Svirskogo shlyuza. Research report. 1986.
14. Zhulin, N. M., V. E. Shneider, and N. A. Mulenko. Sovershenstvovanie mekhanicheskogo oborudovaniya shlyuzov i sistem upravleniya zemsnyaradov, v tom chisle issledovanie rezhimov mekhanizmov vorot Nizhne-Svirskogo shlyuza. Research report. 1987.
15. Zhulin, N. M. Issledovat' tekhnicheskoe sostoyanie mekhanicheskogo oborudovaniya sudokhodnykh gidrotekhnicheskikh sooruzhenii i vypolnit' raboty po sovershenstvovaniyu ego kontrolya. Zadanie 2. Analiz tekhnicheskogo sostoyaniya mekhanizmov shlyuzov VBVP im. V. I. Lenina s razrabotkoi predlozhenii po ikh modernizatsii. Research report. 1991.
16. Ivanovskii, Yu. K., and K. P. Morgunov. *Osnovy teorii gidroprivoda*. SPb.: FGBOU VPO GUMRF imeni admirala S. O. Makarova, 2014.
17. Frolov, K. V., et al., eds. *Mashinostroenie. Entsiklopediya v 40 tomakh. Razdel 4. Raschet i konstruirovaniye mashin. Tom 4–2. Elektroprirod. Gidro- i vibroprirody. Kniga 2. Gidro- i vibroprirody*. M.: Mashinostroenie, 2012.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ксенофонов Николай Михайлович —
кандидат технических наук
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: ksen_nm@mail.ru, ksenofontovnm@gumrf.ru

Саушев Александр Васильевич —
доктор технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: saushev@bk.ru, SaushevAV@gumrf.ru

Темкин Антон Андреевич — аспирант
Научный руководитель:
Саушев Александр Васильевич
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: temkinaa@yandex.ru,
kaf_electroprivod@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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

Saushev, Alexander V. —
Dr. of Technical Sciences, associate professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: saushev@bk.ru, SaushevAV@gumrf.ru

Temkin, Anton A. — Postgraduate
Supervisor:
Saushev, Alexander V.
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: temkinaa@yandex.ru,
kaf_electroprivod@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 9 февраля 2021 г.
Received: February 9, 2021.