

DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-4-555-562

CONTROL OF THE WATER LEVELING PROCESS BETWEEN THE SHIPPING LOCK CHAMBER WITH WATER DISTRIBUTION AND THE POOL

P. A. Garibin¹, S. A. Kabanov²

¹ — Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

² — Baltic State Technical University “VOENMEH” named after D. F. Ustinov,
St. Petersburg, Russian Federation

The development of solutions to increase the throughput capacity of inland waterways through the effective management of the water supply system of the shipping lock chamber corresponds to the priorities of the development of inland water transport of the Russian Federation. The subject of research is the process of leveling the water levels in two communicating vessels. At the present stage of researches development, the solution of this problem is associated with an iterative procedure, the convergence of which essentially depends on the choice of the initial approximation and the step of numerical integration. The method of synthesis of the optimal control of changing the water level in the lock chamber is proposed in the paper (knowledge of an object as a single whole, in the unity and interconnection of its parts). At the same time, the solution of the problem of combined optimal control of a nonlinear system according to the hierarchy of functionals is considered. An idea of a self-organizing optimal controller with Krasovsky extrapolation is given. Particular attention is paid to control optimization at low computational costs in the process of system formation. The use of predictive models proposed in the paper makes it possible to obtain practical algorithms that do not require deep fundamental knowledge of control theory when they are introduced. The efficiency of the studied algorithms, when the process time changes, is shown. The presented solution makes it possible to carry out a comparative analysis of various methods of leveling water levels between the chamber of a shipping lock with a distribution power supply system and the corresponding pool, which allows solving one of the urgent problem of increasing the throughput of shipping locks in a section of the waterway with the unconditional fulfillment of ensuring safe locking conditions.

Keywords: control, shipping lock, predictive models, chamber water filling system.

For citation:

Garibin, Pavel A., and Sergei A. Kabanov. “Control of the water leveling process between the shipping lock chamber with water distribution and the pool.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 14.4 (2022): 555–562. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-4-555-562.

УДК 656.628

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ВЫРАВНИВАНИЯ УРОВНЕЙ ВОДЫ МЕЖДУ КАМЕРОЙ СУДОХОДНОГО ШЛЮЗА С РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ВОДЫ И БЬЕФОМ

П. А. Гарибин¹, С. А. Кабанов²

¹ — ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

² — ФГБОУ ВО «Балтийский государственный технический университет
«ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова», Санкт-Петербург, Российская Федерация

Рассмотрен вопрос разработки решений по повышению пропускной способности внутренних водных путей за счет эффективного управления системой питания камеры судоходного шлюза водой, согласно приоритетам развития внутреннего водного транспорта Российской Федерации. Предметом исследований является процесс выравнивания уровней воды в двух сообщающихся сосудах. На современном этапе развития исследований решение этой задачи связано с итерационной процедурой, сходимость которой существенно зависит от выбора начального приближения и шага численного интегрирования. В работе предложено использование метода синтеза оптимального управления (познание объекта как единого целого, в единстве и взаимной связи его частей) изменением уровня воды в камере шлюза. При этом рассмотрено

решение задачи совмещенного оптимального управления нелинейной системой по иерархии функционалов. Дано представление о самоорганизующемся оптимальном регуляторе с экстраполяцией А. А. Красовского. Особое внимание уделено оптимизации управления при малых вычислительных затратах в процессе формирования системы. Предложенное в работе использование прогнозирующих моделей позволяет получить удобные на практике алгоритмы, не требующие при их внедрении глубоких фундаментальных знаний теории управления. Показана работоспособность исследуемых алгоритмов при изменении времени процесса. Представленное решение дает возможность выполнить сравнительный анализ различных методов выравнивания уровней воды между камерой судоходного шлюза с распределительной системой питания и соответствующим бьефом, что позволяет решить одну из задач актуальной проблемы повышения пропускной способности судоходных шлюзов на участке водного пути при безусловном выполнении обеспечения безопасных условий шлюзования.

Ключевые слова: управление, судоходные шлюзы, прогнозирующие модели, система наполнения камеры водой.

Для цитирования:

Гарибин П. А. Управление процессом выравнивания уровней воды между камерой судоходного шлюза с распределением воды и бьефом / П. А. Гарибин, С. А. Кабанов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2022. — Т. 14. — № 4. — С. 555–562. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-4-555-562.

Введение (Introduction)

На реках с транспортными гидроузлами и на межбассейновых воднотранспортных соединениях остро стоит вопрос о необходимости ускорения процесса шлюзования судов. Недостаточная пропускная способность шлюзованных участков водного пути приводит как к снижению конкурентной способности речных перевозок, так и к повышению риска возникновения аварийных ситуаций [1]. Время судопропуска можно условно разделить на две составляющие: машинную, зависящую от времени работы механизмов, отведенного на закрытие и открытие ворот, наполнение и опорожнение камеры шлюза, и составляющую, зависящую от времени входа и выхода судов из камеры. Например, для шлюзов северного склона Волго-Балтийского водного пути машинная составляющая занимает 31–36 % времени судопропуска и практически без изменения системы питания водой камеры шлюза изменяться не может, поскольку определяется в основном величиной гидродинамической силы, действующей на шлюзующиеся суда. Исследования показали, что возможности повышения пропускной способности за счет дальнейшего совершенствования организационной составляющей и оптимизации движения судов практически исчерпаны и для решения проблемы необходима модернизация процессов шлюзования в самих шлюзах.

Разработка предложений по повышению пропускной способности шлюзов за счет изменения параметров наполнения (опорожнения) водой камер эксплуатируемых судопропускных сооружений соответствует приоритетам развития внутреннего водного транспорта РФ^{1, 2}. Мероприятия по повышению пропускной способности шлюзов основаны на анализе перспективного парка судов, обеспечивающих за счет роста тоннажа повышение безопасности судоходства, энергоэффективность и экологичность перевозки грузов по внутренним водным путям [2].

Методы и материалы (Methods and Materials)

Предметом исследований является процесс выравнивания уровней в камере шлюза и бьефе для установления размеров основных конструктивных элементов систем питания судоходного шлюза, при которых обеспечивается заданное время наполнения и опорожнения камеры и соблюдаются все предъявляемые к ним эксплуатационные и технические требования.

Время наполнения (опорожнения) камеры шлюза T , мин, на предварительных стадиях проектирования следует определять по формуле

¹ Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года (утв. распоряжением Правительства РФ от 22 ноября 2008 г. № 1734-р).

² Стратегия развития внутреннего водного транспорта РФ на период до 2030 года (утв. распоряжением Правительства РФ от 29 февраля 2016 г. № 327-р).

$$T = \alpha \sqrt[3]{H_d l_{c,ef} b_{c,ef}}, \quad (1)$$

где α — коэффициент, зависящий от типа системы питания шлюза ($\alpha = 0,27$ — для головных систем питания и $\alpha = 0,19$ — для распределительных систем питания)¹;

Здесь $l_{c,ef}$, $b_{c,ef}$ соответственно, полезная длина и ширина камеры шлюза;

H_d — расчетный напор.

Одним из определяющих этапов проектирования судоходных шлюзов является моделирование движения потока воды в сооружении. Обеспечению безопасных условий стоянки судна в камере шлюза посвящены теоретические и натурные исследования российских ученых А. А. Атавина [3], [4], О. Ф. Васильева [5], П. А. Гарибина [2], С. А. Головкова [6], Б. Д. Качановского, В. В. Ключева, А. В. Михайлова [7], В. П. Сапцина и др.

Вопросами численного моделирования гидродинамических явлений в камере шлюза посвящены работы И. В. Липатова [8], А. П. Яненко [4], [5], Z. Z. J. Wang, Zou [9]. При реализации численного моделирования важным фактором, определяющим достоверность результатов расчетов, является задание параметров этих моделей [10], которые заранее неизвестны. Одним из апробированных инструментов, позволяющих проводить трехмерное моделирование, является программный комплекс FLOW-3D.

Наполнение и опорожнение камеры однокамерного шлюза с распределительной системой питания (рис. 1) происходят под действием всего напора и при неразрывном потоке воды. Уравнение одномерного неустановившегося движения жидкости в этом случае имеет вид

$$h = \sum \xi \frac{v^2}{2g} + L_{np} \frac{1}{g} \frac{dv}{dt}, \quad (2)$$

где L_{np} — приведенная к площади расчетного сечения ω_p длина водопроводных галерей;

$\sum \xi$ — коэффициент сопротивления системы питания, приведенный к площади расчетного сечения ω_p ;

v — скорость течения воды в расчетном сечении.

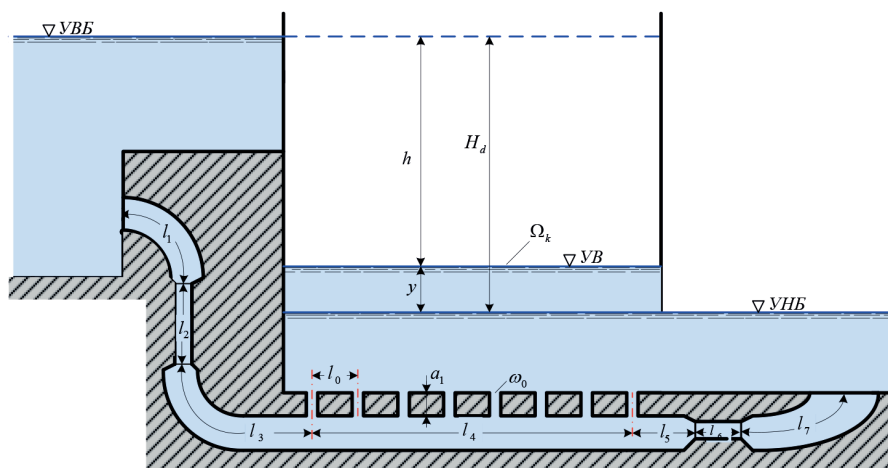


Рис. 1. Расчетная схема простой распределительной системы питания

В уравнении (2) первый член — это обозначение скоростного напора, второй — инерционного.

Введя в данное уравнение величины $v = \frac{dh}{dt} \frac{A}{\omega_p}$, $\frac{dv}{dt} = \frac{d^2 h}{dt^2} \frac{A}{\omega_p}$ и выполнив ряд алгебраических преобразований, получим уравнение одномерного неустановившегося движения воды, записанное в виде дифференциального уравнения второго порядка:

¹ Свод правил СП 101.13330.2012 «Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения» / Актуализированная ред. СНиП 2.06.07–87. М., 2012. 69 с.

$$\frac{d^2 h}{dt^2} + \text{sign}\left(\frac{dh}{dt}\right) \frac{\sum \xi A}{2\omega_p L_{np}} \left(\frac{dh}{dt}\right)^2 + \frac{g\omega_p}{L_{np} A} h = 0, \quad (3)$$

где A — приведенная площадь зеркал источника наполнения и камеры шлюза, принимаемая равной Ω_k при наполнении из верхнего бьефа и $\frac{\Omega_k \Omega'_k}{\Omega_k + \Omega'_k}$ — при наполнении из вышерасположенного шлюза с площадью зеркала Ω'_k ;

знак $\text{sign}\left(\frac{dh}{dt}\right)$ указывает на то, что перед вторым слагаемым в уравнении (3) принят знак приращения напора $\left(\frac{dh}{dt}\right)$.

Аналитического решения уравнения (3), описывающего весь период процесса наполнения (опорожнения) камеры шлюза, не существует. Для получения приближенного решения проведем алгебраические преобразования, позволяющие с достаточной точностью получить гидравлические характеристики процессов наполнения и опорожнения камеры. Введем коэффициенты, учитывающие параметры системы питания, приняв их значения постоянными в течение всего процесса наполнения (опорожнения) камеры шлюза:

$$K_1 = \frac{A}{2\omega_p L_{np}}; \quad K_2 = \frac{g\omega_p}{L_{np} A}. \quad (4)$$

После подстановки (4) в исходное уравнение (3) с учетом знака приращения напора получим упрощенную зависимость

$$\frac{d^2 h}{dt^2} - \sum \xi K_1 \left(\frac{dh}{dt}\right)^2 + K_2 h = 0. \quad (5)$$

Далее решение традиционно производится численно — в конечных разностях [2]. При этом производится дискретизация по времени с интервалом Δt , и уравнение (5) записывается в разностной форме относительно Δh , напор воды вычисляется по формуле $h_i = h_{i-1} + \Delta h_i$. Однако такой подход не является универсальным, позволяющим оперативно изменять алгоритм, сохраняя при этом требуемую точность вычислений при изменении варианта процесса истечения воды. Особенно это заметно при переходе к комбинированным системам питания, сочетающим в себе различные расчетные модели истечения воды — головные и распределительные [1].

Результаты (Results)

Для обеспечения эксплуатационной надежности управления процессом выравнивания уровней воды в камерах шлюза целесообразно использовать *принцип наименьшего действия Гамильтона*, который приводит к оптимальным алгоритмам. Можно утверждать, что оптимизация является одним из ключевых звеньев современного научно-технического развития. Это связано с приближением многих технологий и способов применения конструкций на предельных режимах, истощением ресурсов, обеспечением необходимого уровня безопасности, стремлением к минимизации экологических нарушений. Особенно важна оптимизация для процессов управления, так как научно-техническое развитие, несомненно, находится на новом этапе автоматизации и интеллектуализации управления как в автоматических, так и в человеко-машинных комплексах [11], [12].

Исследуем возможность оптимального управления уровнем воды в камере шлюза. Рассмотрим динамику перетока воды (уравнение (3)) в виде системы обыкновенных дифференциальных уравнений, приняв за управление производную от параметра:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2; \\ \dot{x}_2 &= -\left(\frac{A}{2B} x_2^2 \text{sign } x_2 + \frac{gB}{A} x_1\right) u; \end{aligned}$$

$$\dot{x}_3 = w, \quad (6)$$

где $x = (x_1 \ x_2 \ x_3)^T$ — вектор состояния;

A — приведенная площадь зеркал наполнения камеры шлюза;

B — площадь расчетного сечения подачи воды;

g — ускорение свободного падения;

$x_3 = u$ — управляемый параметр.

Динамика управляемого процесса исследуется на интервале $[t_0, t_f]$. Для управления этим интервалом к системе (1) добавим выражения $\dot{t}_f = w_2$, $x_4 = t_f$.

Применение классических методов оптимизации связано с решением двухточечных краевых задач. Обеспечить сходимость итерационных процедур их решения возможно при хорошем выборе начального приближения, что затруднительно в реальных условиях их применения [11], [12]. Поэтому в качестве целевого функционала для оптимизации рассмотрим критерий Красовского [11]:

$$I = V_f(x, t_f) + 0,5 \int_{t_0}^{t_f} (w^T k^{-2} w + w_o^T k^{-2} w_o) dt, \quad (7)$$

где $V_f(x, t_f) = 0,5 \Delta x_f^T \rho \Delta x_f$, $\Delta x_f = x(t_f) - x_f$, x_f — заданный вектор;

$\rho = \text{diag}(\rho_1, \rho_2, \rho_3)$; $k = \text{diag}(k_1, k_2)$, $w = (w_1 \ w_2)^T$;

w_o — оптимальные значения w ;

ρ_i, k_j — заданные коэффициенты, $(i = \overline{1,3}, j = \overline{1,2})$.

Гамильтониан системы имеет вид

$$H_t = p_1 x_2 - p_2 \left(\frac{A}{2B} x_2^2 \text{sign } x_2 + \frac{gB}{A} x_1 \right) x_3 + p_3 w_1 + p_4 w_2 + \\ + \frac{1}{2} (w^T k^{-2} w + w_o^T k^{-2} w_o), \quad H = 1 H_t (t_f - t). \quad (8)$$

Для решения задачи применим алгоритм с прогнозирующей моделью [11], [12]. Гамильтониан прогнозирующей модели получим при $w = 0$. Запишем систему сопряженных переменных:

$$\begin{aligned} \dot{p}_1 &= p_2 \frac{gB}{A} x_3; \\ \dot{p}_2 &= -p_1 + p_2 \frac{A}{B} x_2 x_3 \text{sign } x_2; \\ \dot{p}_3 &= -p_2 \left(\frac{A}{2B} x_2^2 \text{sign } x_2 + \frac{gB}{A} x_1 \right); \\ \dot{p}_4 &= -H(t_f) \delta(t_f - t), \quad p_4(t) = H(t_f) \end{aligned} \quad (9)$$

при граничных условиях:

$$\begin{aligned} p_1(t_f) &= \rho_1 \Delta x_{1f} = \rho_1 [x_1(t_f) - x_{1f}], \quad p_2(t_f) = \rho_2 \Delta x_{2f} = \rho_2 [x_2(t_f) - x_{2f}]; \\ p_3(t_f) &= 0; \quad p_4(t_f) = 0. \end{aligned}$$

Оптимальное управление определяется в виде

$$w_1 = -k_1^2 p_3, \quad w_2 = -k_2^2 p_4. \quad (10)$$

В расчетах принималось: $x_1(t_0) = 10$ м, $x_2(t_0) = 0$, $x_3(t_0) = 0$, $t_f(t_0) = 600$ с. Шаг численного интегрирования $\Delta t = 5$ с; $\rho_1 = 0,1$; $\rho_2 = 0,01$; $k_1 = 10^{-10}$; $k_2 = 10$. Результаты расчетов представлены на рис. 2 и 3.

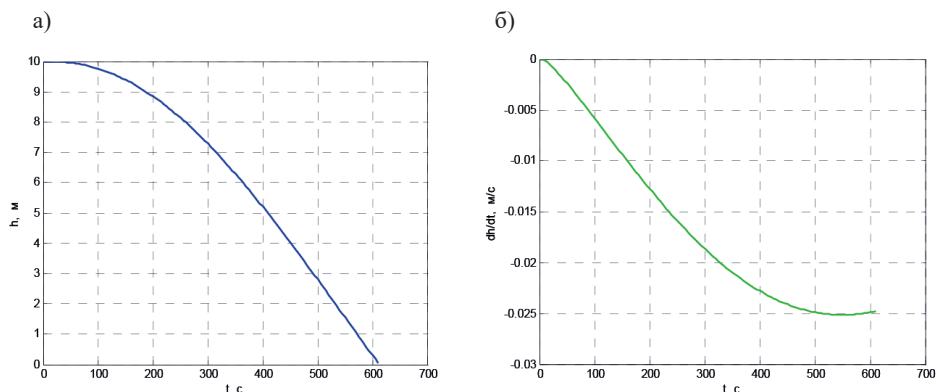


Рис. 2. Изменение уровня воды h в камере (а) и его скорости dh/dt (б) от времени

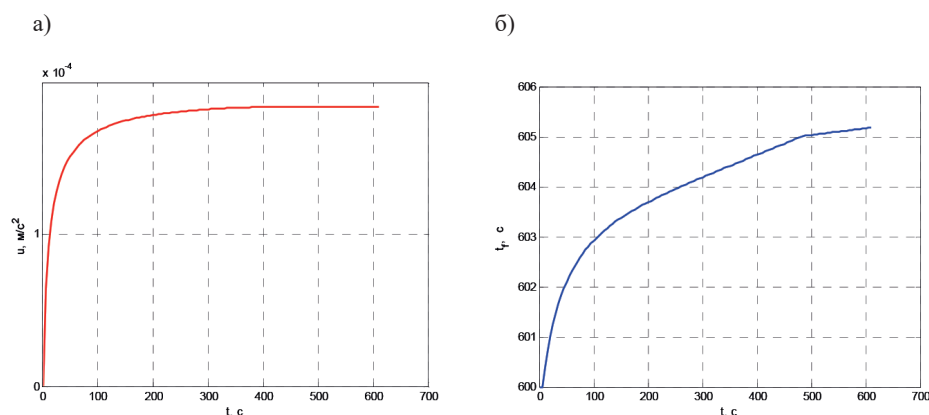


Рис. 3. Изменение управляемого параметра x_3 (а) и интервала оптимизации t_f (б) от времени

Моделирование показало, что алгоритм успешно действует и при других начальных условиях, чем в иллюстративном примере, так как в нем оптимально корректируется величина интервала оптимизации. Результаты вычислений по предложенной методике удовлетворительно согласуются с данными натурных измерений изменения уровня воды в камере шлюза с распределительной системой питания в процессе наполнения (опорожнения).

Обсуждение (Discussion)

При движении системы материальных точек со стационарными связями в потенциальном поле все точки можно перевести из начального состояния в конечное разными способами. Действительный переход будет соответствовать минимуму действия по Гамильтону (1834 г.). Этот принцип наименьшего действия Гамильтона приводит к каноническим уравнениям движения и оптимальному управлению, которое использовано в данной статье при выравнивании уровней воды между камерой шлюза и бьефом.

Действительно, нобелевский лауреат в области физики американский профессор Р. Фейнман отмечал, что «...в закон Ньютона входят также и неконсервативные силы (например, трение). Ньютон утверждал, что ta равно всякой силе F . Принцип же наименьшего действия справедлив только для консервативных систем таких, где все силы могут быть получены из потенциальной функции. Однако на микроскопическом уровне, т. е. на самом глубинном физическом уровне, неконсервативных сил не существует. Неконсервативные силы (такие, как трение) появляются только от того, что мы пренебрегаем микроскопическими сложными эффектами: просто слишком много частиц приходится анализировать. Фундаментальные же законы могут быть выражены в виде принципа

наименьшего действия» (Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. — М.: Мир, 1966. — 344 с.).

Заключение (Conclusion)

В работе продемонстрирована возможность оптимального управления уровнем воды в камере судоходного шлюза в реальном времени процесса, что позволяет применять предложенные алгоритмы при изменении целевой ситуации — изменении варианта процесса истечения воды. Особенно это заметно при переходе к комбинированным системам питания, сочетающим в себе различные расчетные модели истечения воды — сосредоточенные и распределительные. Для решения важной задачи увеличения пропускной способности судоходных шлюзов на внутренних водных путях впервые предложено определять параметры систем питания, используя методологию теории оптимального управления с применением алгоритма с прогнозирующей моделью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моргунов К. П. Судоходные гидротехнические сооружения: учебник для вузов / К. П. Моргунов, А. М. Гапеев. — СПб.: Лань, 2021. — 235 с.
2. Гарибин П. А. Судоходные шлюзы для регионов с дефицитом водных ресурсов: монография / П. А. Гарибин, С. В. Ларионов, С. А. Головков; под ред. д-ра техн. наук П. А. Гарибина. — СПб.: СПГУВК, 2009. — 320 с.
3. Атавин А. А. Гидродинамические аспекты нештатных и аварийных ситуаций на гидротехнических сооружениях: монография / А. А. Атавин, В. И. Букреев, О. Ф. Васильев, В. В. Дегтярев, А. П. Яненко; под ред. д-ра техн. наук, проф. В. В. Дегтярева (мл.). — Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2009. — 327 с.
4. Atavin A. A. The Mathematical Modeling of Hydrodynamic Processes in Navigation Passes and the Optimal Control of Vessel's Passing through a Shipping Lock / A. A. Atavin, P. V. Stepanova, V. V. Tarasevich, A. P. Yanenko // Proceedings of the 28th IAHR World Congress (Graz, 1999). — 1999.
5. Васильев О. Ф. Нестационарные процессы в судопропускных сооружениях: математическое и лабораторное моделирование, натурные испытания / О. Ф. Васильев, А. А. Атавин, В. В. Дегтярев, В. П. Сапцин, А. П. Яненко // Научные и прикладные аспекты гидродинамики, гидрофизики и экологии водных объектов. Труды научной конференции, посвященной 90-летию академика Олега Федоровича Васильева. — Барнаул: ООО «Пять плюс», 2019. — С. 110–118.
6. Головков С. А. Распределение воды в судоходных шлюзах: монография / С. А. Головков, П. А. Гарибин, А. М. Гапеев. — СПб.: СПГУВК, 2009. — 154 с.
7. Михайлов А. В. Гидросооружения водных путей, портов и континентального шельфа. Ч. I: Внутренние водные пути / А. В. Михайлов. — Изд-во АСВ, 2004. — 448 с.
8. Липатов И. В. Гидродинамика речных потоков и ее влияние на эксплуатационные параметры судоходных гидротехнических сооружений: методология исследований: монография / И. В. Липатов. — Н. Новгород: Изд-во ФГОУ ВПО ВГАВТ, 2006. — 100 с.
9. Wang H. Z. Behaviours of a Ship Passing through a Lock under the Influence of a Berthed Ship / H. Z. Wang, Z. J. Zou // IWNTM13: International Workshop on Nautical Traffic Models 2013, Delft, The Netherlands, July 5–7, 2013. — Delft University of Technology, 2013. — Pp. 62–70.
10. Гиргидов А. А. Гибридное моделирование в проектировании гидротехнических сооружений и FLOW-3D® как средство его реализации / А. А. Гиргидов // Инженерно-строительный журнал. — 2011. — № 3 (21). — С. 21–27.
11. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А. А. Красовского. — М.: Наука, 1987. — 712 с.
12. Кабанов С. А. Управление системами на прогнозирующих моделях: монография / С. А. Кабанов. — СПб.: Изд-во СПбГУ, 1997. — 200 с.

REFERENCES

1. Morgunov, K. P., and A. M. Gapeev. *Sudokhodnye gidrotekhnicheskie sooruzheniya: Uchebnik dlya vuzov*. SPb.: Lan', 2021.

2. Garibin, P. A., S. V. Larionov, and S. A. Golovkov. *Sudokhodnye shlyuzy dlya regionov s defitsitom vodnykh resursov: monografiya*. Edited by P. A. Garibin. SPb.: SPGUVK, 2009.
3. Atavin, A. A., V. I. Bukreev, O. F. Vasil'ev, V. V. Degtyarev, and A. P. Yanenko. *Gidrodinamicheskie aspekty neshtatnykh i avariynykh situatsii na gidrotekhnicheskikh sooruzheniyakh: monografiya*. Edited by V. V. Degtyarev. Novosibirsk: NGASU (Sibstrin), 2009.
4. Atavin, Arkady A., Oleg F. Vasiliev, Polina V. Stepanova, Vladimir V. Tarasevich, and Arcady P. Yanenko. "The Mathematical Modeling of Hydrodynamic Processes in Navigation Passes and the Optimal Control of Vessel's Passing through a Shipping Lock." *Proceedings of the 28th IAHR World Congress*. 1999.
5. Vasil'ev, O. F., A. A. Atavin, V. V. Degtyarev, V. P. Sapsin, and A. P. Yanenko. "Nestatsionarnye protsessy v sudopropusknykh sooruzheniyakh: matematicheskoe i laboratornoe modelirovanie, naturnye ispytaniya." *Nauchnye i prikladnye aspekty gidrodinamiki, gidrofiziki i ekologii vodnykh ob'ektov. Trudy nauchnoi konferentsii, posvyashchennoi 90-letiyu akademika Olega Fedorovicha Vasil'eva*. Barnaul: OOO "Pyat' plyus", 2019. 110–118.
6. Golovkov, S. A., P. A. Garibin, and A. M. Gapeev. *Raspredelenie vody v sudokhodnykh shlyuzakh: monografiya*. SPb.: SPGUVK, 2009.
7. Mikhailov, A. V. *Gidrosooruzheniya vodnykh putei, portov i kontinental'nogo shel'fa. Ch. I: Vnutrennie vodnye puti*. Izd-vo ASV, 2004.
8. Lipatov, I. V. *Gidrodinamika rechnykh potokov i ee vliyanie na ekspluatatsionnye parametry sudokhodnykh gidrotekhnicheskikh sooruzhenii: metodologiya issledovaniy: monografiya*. N. Novgorod: Izd-vo FGOU VPO VGAVT, 2006.
9. Wang, H. Z., and Z. J. Zou. "Behaviours of a Ship Passing through a Lock under the Influence of a Berthed Ship." *IWNTM13: International Workshop on Nautical Traffic Models 2013*. Delft University of Technology, 2013. 62–70.
10. Girgidov, A. A. "Gibridnoe modelirovanie v proektirovanii gidrotekhnicheskikh sooruzhenii i FLOW-3D® kak sredstvo ego realizatsii." *Magazine of Civil Engineering* 3(21) (2011): 21–27.
11. Krasovskii, A. A., ed. *Spravochnik po teorii avtomaticheskogo upravleniya*. M.: Nauka, 1987.
12. Kabanov, S. A. *Upravlenie sistemami na prognoziruyushchikh modelyakh: monografiya*. SPb: Izd-vo SPb Universiteta, 1997.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Гарибин Павел Андреевич —
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: garibin@mail.ru, kaf_gsk@gumrf.ru

Кабанов Сергей Александрович —
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «Балтийский государственный
технический университет «ВОЕНМЕХ»
им. Д. Ф. Устинова»
190005, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
1-я Красноармейская ул., 1
e-mail: kaba-sa@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Garibin, Pavel A. —
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: garibin@mail.ru, kaf_gsk@gumrf.ru

Kabanov, Sergei A. —
Dr. of Technical Sciences, professor
Baltic State Technical
University "VOENMEH"
named after D. F. Ustinov
1 1-ya Krasnoarmeiskaya Str.,
St. Petersburg, 190005,
Russian Federation
e-mail: kaba-sa@mail.ru

Статья поступила в редакцию 28 июня 2022 г.
Received: June 28, 2022.