

УДК 338.465.2

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ГИДРОПРИВОДОВ ВОРОТ И ЗАТВОРОВ СУДОХОДНЫХ ШЛЮЗОВ

<sup>1</sup>Морозов В.Н., <sup>2</sup>Гнеденко В.В., <sup>3</sup>Павлович И.Л.

<sup>1</sup>ООО «ТЕХТРАНССТРОЙ», Самара, e-mail: ttstroy@tts63.ru;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Самарский государственный экономический университет»,  
Самара, e-mail: chudaeva@inbox.ru;

<sup>3</sup>ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика  
С.П. Королёва (Самарский университет)», Самара, e-mail: i\_g\_o\_r\_ip@mail.ru

В представленной работе приводится методика оценки экономической эффективности при модернизации гидроприводов судоходных шлюзов гидротехнических сооружений с использованием прогрессивных и инновационных решений в области систем автоматизации управления, регулирования и контроля, которая определяется несколькими составляющими: пропускной способностью шлюза; надежностью модернизируемого оборудования; энергосбережением функционирования оборудования; снижением трудоемкости технического обслуживания и ремонта; снижением потребления запасных частей, инструмента, принадлежностей (ЗИП). На первом этапе по методике, приведенной в нормативных правилах, принятых в гидротехническом строительстве (СНиП), рассчитывается пропускная способность шлюза и оценивается экономический эффект за счет расширения диапазона технических характеристик, во втором оценивается надежность инновационных решений и проводятся расчеты экономической целесообразности реконструкции гидропривода. На третьем этапе оцениваются показатели энергосбережения модернизированного оборудования. На четвертом этапе оцениваются снижение трудоемкости технического обслуживания и ремонта. На пятом этапе оценивается снижение запасов ЗИП. На шестом этапе рассчитывается экономическая эффективность инвестиционного проекта реконструкции гидропривода судоходных гидротехнических сооружений (СГТС). В качестве одного из вариантов, позволяющих увеличить пропускную способность судоходного шлюза, предлагается использование адаптивного электрогидравлического следящего привода с частотно-дрессельным управлением, реализующим переменные скорости при открытии/закрытии ворот.

**Ключевые слова:** судоходный шлюз, гидропривод, эффективность, модернизация

## METHODOLOGY OF ASSESSMENT OF ECONOMIC EFFICIENCY OF MODERNIZATION OF HYDRAULIC GATES AND VALVES OF LOCKS

<sup>1</sup>Morozov V.N., <sup>2</sup>Gnedenko V.V., <sup>3</sup>Pavlovich I.L

<sup>1</sup>TEKHTRANSSTROY, OOO, Samara, e-mail: ttstroy@tts63.ru;

<sup>2</sup>Samara State University of Economics, Samara, e-mail: chudaeva@inbox.ru;

<sup>3</sup>Samara National Research University named after academician S.P. Korolev (Samara University),  
Samara, e-mail: i\_g\_o\_r\_ip@mail.ru

The paper presents a method of assessing the economic efficiency in the modernization of hydraulic drives of navigable locks of hydraulic structures using advanced and innovative solutions in the field of automation control, regulation and control, which is determined by several components: the capacity of the gateway; reliability of modernized equipment; energy saving operation of equipment; reducing the complexity of maintenance and repair; reducing the consumption of spare parts, tools, accessories (spare parts). At the first stage, according to the method given in the regulatory rules adopted in hydraulic engineering construction (SNiP), the capacity of the gateway is calculated and the economic effect is estimated by expanding the range of technical characteristics, the second assesses the reliability of innovative solutions and calculates the economic feasibility of the reconstruction of the hydraulic drive. At the third stage, the energy saving indicators of the upgraded equipment are estimated. At the fourth stage, the decrease in the complexity of maintenance and repair is estimated. At the fifth stage, the reduction of spare parts stocks is estimated. At the sixth stage, the economic efficiency of the investment project for the reconstruction of the hydraulic drive of navigable hydraulic structures (sgts) is calculated. As one of the options that allows to increase the capacity of the shipping gateway, it is proposed to use an adaptive electrohydraulic servo drive with frequency-throttle control, implementing variable speed when opening/closing the gate.

**Keywords:** shipping lock, hydraulic, efficiency, upgrading

За последние годы государством вкладываются большие инвестиции в модернизацию судоходных шлюзов, которые представляют собой сложное гидротехническое крупногабаритное сооружение, одним из составных частей которого является гидропривод ворот с автоматизированной системой

управления. При проектировании, изготовлении и эксплуатации шлюза возникают технические и инвестиционные риски, которые могут привести к финансовым потерям. Безопасность судоходства и пропускная способность внутренних и внешних водных путей России – категория экономическая [1–3].

Цель исследования: разработка методики оценки экономической эффективности модернизации гидроприводов ворот и затворов судоходных шлюзов.

Экономическая эффективность модернизации гидроприводов ворот и затворов судоходных шлюзов определяется несколькими составляющими: увеличением пропускной способности шлюза; надежностью модернизируемого оборудования; энергосбережением функционирования оборудования; снижением трудоемкости технического обслуживания и ремонта; а также снижением запасов ЗИП. Например, по данным [4], в результате модернизации судоходных путей по реке Дунай может вырасти на 50% при выделении на модернизацию 59 млн евро.

Рассмотрим данные составляющие планируемых работ поэтапно.

На первом этапе оценивается возможность увеличения пропускной способности шлюза. Пропускная способность судоходного шлюза является важнейшим комплексным технико-экономическим показателем, определяющим наибольшее число шлюзований (судопроездная способность) и количество грузов в судах (грузопроездная способность), пропускаемых через шлюз за определенный промежуток времени. На стадии проектирования шлюза исходными данными для расчета пропускной способности являются объемы перевозок за навигацию, данные о расчетных судах, доле участие судов различного типа в перевозках грузов и т.д.

Для увеличения пропускной способности эксплуатируемых судоходных шлюзов следует уменьшить время шлюзований за счет сокращения отдельных операций, в особенности времени входа и выхода судов, времени наполнения и опорожнения камер, совершенствовать конструкцию и режимы оборудования, сокращать непроизводительные простои шлюза и т.д. Оценку эффективности пропускной способности шлюза при этом целесообразно проводить по суточной пропускной способности шлюза.

Суточная пропускная способность шлюза характеризуется максимальным числом шлюзуемых судов за 23 часа работы шлюза. Для работающего шлюза эта величина зависит от характера судопроезда (одно- или двустороннее шлюзование) и полного времени (цикла) судопроезда.

Полное время одно- и двустороннего судопроезда через шлюз определяется суммированием времени выполнения времени технологических операций процесса судопроезда (согласно требованиям актуализи-

рованной версии нормативного документа СНиП 2.06.07-87) [5].

В качестве одного из вариантов, позволяющих увеличить пропускную способность судоходного шлюза, авторами предлагается адаптивный электрогидравлический следящий привод с частотно-дрессельным управлением, реализующий переменные скорости при открытии/закрытии ворот [6].

Алгоритм работы защищен патентом на изобретение [7]. Привод, созданный на его основе, прошел лабораторные и полевые испытания в составе действующего шлюза ФБУ «Администрация Волжского бассейна» в навигациях 2013–2015 гг. и был принят в 2017 г. в опытно-промышленную эксплуатацию.

Анализ материалов позволил разработать методику оценки изменения показателей пропускной способности шлюзов с головной системой питания при переходе на режимы с переменной скоростью движения подъемно-опускных ворот.

Предлагаемая методика по оценке экономической эффективности инвестиций в модернизацию гидропривода шлюза на этапе проектирования состоит из семи пунктов.

п. 1. Для шлюза выполняются расчеты по методике СНиП с определением показателей времени технологических операций при постоянной скорости движения ворот.

п. 2. Делается предположение о возможности изменения времени наполнения камеры от 0,5% до 1,5% за счет применения адаптивного следящего гидропривода, реализующего переменные режимы движения ворот при постоянном напоре.

п. 3. Определяется среднее время судопроезда.

п. 4. Определяются показатели пропускной способности.

п. 5. Определяется экономический эффект.

п. 6. Принимается допущение по изменению напора на 5–15%.

п. 7. Выполняются работы по п. 2–6.

В итоге выполняется анализ полученных результатов и делается заключение о целесообразности реконструкции системы питания шлюза.

На втором этапе определяется надежность оборудования шлюза.

На шлюзах с широкими камерами, например 30 м, для движения ворот используются два гидропривода с комбинированной частотно-дрессельной автоматизированной системой управления. Из-за неопределенности нагрузок на их штоки (ветровые и волновые нагрузки, различные триботехнические характеристики, разные

утечки рабочей жидкости по подвижным уплотнениям из-за неравномерного износа, особенности технологического процесса судопропуска и т.д.) постоянно возникают параметрические отказы, например, в виде перекоса плоских ворот, которые могут привести к заклиниванию ворот и длительной остановке шлюза. При работе гидропривода с постоянной скоростью специальная система контроля перекоса при возникновении перекоса отключает насосы привода убегающей стороны с последующим их включением под нагрузкой. Это приводит к появлению в гидросистеме гидропривода пиковых нагрузок по давлению рабочей жидкости, изменяются показатели надежности элементов гидропривода, возможно разрушение гидроагрегатов и трубопроводов, ускоряется старение гидравлического масла. Появление пиковых нагрузок по давлению приводит к возникновению переходных процессов в гидросистеме, изменению таких важных параметров, как расход и вязкость рабочей жидкости, что еще больше снижает показатели надежности. Представленные материалы позволяют классифицировать режим работы гидропривода ворот и затворов судоходного шлюза как весьма тяжелый по числу включений в единицу времени (400–800 включений в час или 5–10 включений в минуту).

По опубликованным статистическим данным [8], известно, что интенсивность отказов оборудования  $\lambda$ , применяемого в гидроприводах, изменяется в достаточно широком диапазоне. Так, минимальное, среднее и максимальное значения  $\lambda \cdot 10^{-6}$  составляет соответственно для цилиндров 0,005–0,008–0,35, для насосов с электроприводом 2,9–13,5–27,4, для гидравлических соединений 0,012–0,03–2,01 и др. При расчетах показателей надежности по показателям интенсивности отказов в реальных условиях влияния влажности, вибрации, неравномерности нагрузки для стационарных наземных установок рекомендовано использование повышающего коэффициента  $s = 10$ .

Более точные значения показателей интенсивности отказов элементов гидроприводов ворот и затворов судоходных шлюзов из-за малой статистики могут быть получены только при проведении испытаний моделей на специальных инновационных динамических стендах типа 100-КЭ.

Расчет вероятности безотказной работы рекомендовано выполнять для 25, 250 и 1000 ч. Повышение надежности может быть достигнуто путем резервирования, например в предлагаемом гидроприводе с частотно-дроссельным управлением функции

регулятора выполняет либо частотный преобразователь, либо регулятор расхода, либо они работают совместно.

В штатных гидроприводах ворот и затворов шлюза применены резервные насосы, спаренные фильтры, различные блокировки, ручное управление и др. Расчет показателей надежности гидросистемы гидропривода ворот и затворов судоходного шлюза как сложной технической системы рекомендуется проводить по экспоненциальному закону.

На втором этапе предлагается следующая методика расчета, содержащая пять пунктов:

п. 1. Разрабатывается структурная гидравлическая схема привода.

п. 2. Определяются средние и максимальные значения показателей интенсивности отказов элементов структурной гидравлической схемы с повышающим коэффициентом 10.

п. 3. Методами теории надежности определяется средний и максимальный показатели интенсивности отказов гидропривода как системы с резервированием отдельных элементов оборудования.

п. 4. С использованием экспоненциального закона для времени работы гидропривода 1000 ч (приблизительно 50% продолжительности навигации) определяются показатели надежности.

п. 5. Выполняется анализ полученных результатов, оцениваются затраты на техническое обслуживание и ремонт и делается заключение о целесообразности реконструкции гидропривода.

При этом расчеты экономической целесообразности реконструкции гидропривода должны быть проведены по нескольким сценариям. Классически это три сценария: оптимистичный, реалистичный и пессимистичный. Применительно к оценке эффективности инвестирования в реконструкцию гидропривода эти сценарии будут отличаться интенсивностью отказов оборудования  $\lambda$ , применяемого в гидроприводах, полученных при проведении испытаний (значения определяются в рамках п. 2 и п. 3 описываемой методики расчета). Расчеты оптимистичного сценария проводятся при минимальном значении интенсивности отказов, реалистичного – при среднем, а пессимистичного – при максимальном.

На третьем этапе оценивается показатель энергосбережения модернизированного оборудования.

Основными потребителями электроэнергии в штатном гидроприводе ворот и затворов ворот/створок ворот являются насосы подачи рабочей жидкости в поло-

сти гидроцилиндров, штоки которых через шарниры соединены с воротами. В процессе наполнения и закрытия верхних подъемно-опускных ворот на шлюзах с шириной камер 30 м, например Чебоксарские шлюзы ФБУ «Администрация Волжского бассейна», работают практически одновременно два насоса с приводом от асинхронных двигателей мощностью по 75 кВт каждый. Среднее время работы этих насосов 5–7 мин. При открытии/закрытии нижних двустворчатых ворот для перемещения каждой створки используют два насоса с приводом от асинхронного двигателя мощностью 55 кВт каждый. Перемещение ворот/створок ворот при этом происходит с постоянной скоростью. Для приближенного расчета рекомендуется принимать количество шлюзований в сутки от 20 до 22. Для гидропривода, реализующего переменную скорость движения ворот за счет уменьшения оборотов насоса/электродвигателя, потребляемая мощность уменьшается на 15–25 %.

Снижение потребляемой мощности приведет к уменьшению затрат на электроэнергию. Так, затраты Балаковского СГТС на приобретение электрической энергии определены в размере 3 120 568 руб. ежегодно на период с 2017 по 2019 гг. (при тарифе 2,87 руб. за кВт). При неизменном тарифе на электроэнергию можно говорить о том, что затраты на электроэнергию будут уменьшены примерно на 468–781 тыс. руб. Затраты на электроэнергию отражаются в текущих затратах, следовательно, величина текущих затрат будет снижена.

На четвертом этапе оценивается снижение трудоемкости технического обслуживания и ремонта.

Для технического обслуживания и ремонта судоводных шлюзов утверждены в 2014 г. нормативы финансирования, однако средств госбюджета не хватает (приблизительно 8 млрд руб.). Применение гидропривода с частотно-дрессельной системой управления позволяет улучшить режим работы и снизить объем технического обслуживания и ремонта на 20–40 %.

Затраты на техническое обслуживание инженерных систем в 2017 г. составили 120 тыс. руб. Следовательно, применение гидропривода с частотно-дрессельной системой управления позволит только на ТО на Балаковском СГТС сэкономить 24–48 тыс. руб.

Затраты на текущий ремонт СГТС на 2017–2019 гг. определены в размере 12 млн руб. ежегодно. Следовательно, применение гидропривода с частотно-дрессельной системой управления позволит только на ТО на Балаковском СГТС сэкономить 2,4–4,8 млн руб.

На пятом этапе оценивается снижение запасов ЗИП.

Экспериментальный образец адаптивного электрогидравлического следящего привода с унифицированной частотно-дрессельной системой управления 158-ГП1.00.00.000 подтвердил свою работоспособность на верхних и нижних воротах шлюзов Балаковского РГСЧС ФБУ «Администрация Волжского бассейна». Опытная эксплуатация привода в составе верхних рабочих ворот производилась без выполнения ремонтных работ три навигации. Отмечено удобство и снижение трудоемкости при подготовке гидропривода к навигации. В 2017 г. модернизированный образец привода 158-ГП1.00.00.000 принят в опытно-промышленную эксплуатацию. Унификация системы управления приводом на верхних и нижних воротах шлюза позволяет снизить ЗИП по элементам системы управления в два раза.

Затраты на сменно-запасные части для Балаковского СГТС на 2017–2019 гг. определены в размере 1100 тыс. руб. ежегодно. Следовательно, за счет применения адаптивного электрогидравлического следящего привода с унифицированной частотно-дрессельной системой управления можно сэкономить до полумиллиона рублей.

Единообразие систем управления как наиболее сложного узла привода позволяет также повысить квалификацию обслуживающего персонала за счет сокращения изучаемых тем и более подробного изучения привода с частотно-дрессельным управлением в специальных научных центрах, например, Самарском университете им. С.П. Королева.

Повышение квалификации обслуживающего персонала, с одной стороны, приводит к увеличению затрат на оплату труда, так как ставка сотрудника зависит от его квалификации. С другой стороны, за счет повышения квалификации появляется возможность сократить количество обслуживающего персонала, что приведет к снижению фонда оплаты труда ФБУ.

Для экономического обоснования и оценки экономической эффективности мероприятий, направленных на реконструкцию СГТС, предлагается следующая методика расчета, содержащая пять пунктов.

- п. 1. Выполняются пункты 1–8 (1 этап).
- п. 2. Определяется надежность оборудования, пункты 1–5 (2 этап).
- п. 3. Оценивается энергосбережение (3 этап).
- п. 4. Оценивается снижение трудоемкости технического обслуживания и ремонта (4 этап).
- п. 5. Оценивается снижение запасов ЗИП (5 этап).

### Заключение

Полученные результаты позволяют оценить экономическую эффективность инвестиционного проекта реконструкции гидропривода СГТС по предлагаемому алгоритму:

- определяется норма дисконта;
- определяется длительность расчетного периода инвестиционного проекта, в виде которого следует представить проект реконструкции СГТС;
- формируются притоки и оттоки проекта, конструируется бюджет проекта;
- на основании данных бюджета рассчитываются показатели экономической эффективности проекта;
- интерпретируются показатели экономической эффективности.

### Список литературы

1. Левачев С.Н., Малахаков В.В., Правдивец Ю.П., Шарухип Л.А. Реконструкция судоходных сооружений Рыбинского гидроузла // Вестник МГСУ Спецвыпуск № 1. 2010. С. 19–29.
2. Волго-Донской канал надежен и безопасен. Речной транспорт. Морские вести России № 2 (2018) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.morvesti.ru/analytics/detail.php?ID=71654> (дата обращения: 16.04.2019).
3. Безопасность судоходства по Волго-Каспийскому судоходному каналу – категория экономическая. Морские порты № 4 (2016) [Электронный ресурс]. URL: <http://morvesti.ru/analytics/detail.php?ID=62541> (дата обращения: 16.04.2019).
4. Евросоюз выделил 59 млн евро на модернизацию судоходных путей по реке Дунай. Евро новости 8 августа 2018 [Электронный ресурс]. URL: <https://sudostroenie.info/novosti/23932.html> (дата обращения: 16.04.2019).
5. СНиП 2.06.07-87 Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения. Государственный строительный комитет СССР М.: 1989 Строительные нормы и правила РФ по состоянию на 13.04.2019 г [Электронный ресурс]. URL: <http://sniprf.ru/razdel-2/2-06-07-87> (дата обращения: 16.04.2019).
6. Морозов В.Н., Краснощекоев И.Л., Красинский Д.Б., Павлович Л.А., Павлович И.Л., Мельников Е.В. Гидропривод ворот судоходного шлюза с автоматизированной системой управления // Гидротехническое строительство 2017. № 6. С. 200–207.
7. Морозов В.Н., Краснощекоев И.Л., Павлович И.Л., Красинский Д.Б., Клинов Р.А., Павлович Л.А., Мельников Е.В. Способ регулирования скорости объемного гидропривода с комбинированной частотно-дрессельной системой управления при пуске под нагрузкой // Патент на изобретение РФ № 2503858 11.09.2012 г. Патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Техтрансстрой» (ООО «Техтрансстрой») Реестр изобретений РФ [Электронный ресурс]. URL: <https://patentinform.ru/inventions/leg-2503858.html> (дата обращения: 16.04.2019).
8. Баржанский Е.Е. Определение надежности гидроприводов, выпускаемых в условиях единичного и мелкосерийного производства // Пневматика и гидравлика. М., 1987. Вып. 13. С. 19–28.