



Оригинальная статья
УДК: 378.1
ББК: 65.05

Важный аспект при подготовке специалистов в области гидротехнического строительства – использование при обучении современных программных комплексов

Ксенофонтова Татьяна Кирилловна¹

¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева
¹ ksentanya@mail.ru

Автор, ответственный за переписку: Ксенофонтова Татьяна Кирилловна, ksentanya@mail.ru

Аннотация. В настоящее время возрастает роль цифровых технологий при обучении и подготовке специалистов различных направлений в области строительства. Это относится также и к обучению инженеров для строительства гидротехнических сооружений повышенной ответственности. Цифровизация учебного процесса в этой области включает в себя использование современных программных комплексов в процессе проектирования студентами гидротехнических сооружений. Одним из таких программных комплексов, сертифицированных в Российской Федерации, является программный комплекс «ЛИРА-САПР», широко используемый в проектных организациях. Это позволяет еще на стадии подготовки специалистов более глубоко познакомиться с будущей специальностью, сформировать в будущем специалисте компетенции, необходимые для его дальнейшей производственной деятельности. Расчеты с использованием ПК «ЛИРА-САПР» внедряются в обучение при выполнении расчетно-графических работ, курсовых и дипломных проектов. В данной статье рассматривается процесс обучения по созданию расчетных моделей в ПК «ЛИРА-САПР» гидротехнических сооружений – консоли водосбросного сооружения из сборно-монолитного железобетона и стального односекционного плоского двухригельного затвора.

Ключевые слова: цифровизация образования, подготовка специалистов, расчетные программные комплексы, метод конечных элементов, гидротехнические сооружения, консоль водосбросного сооружения, стальной плоский двухригельный затвор.

Для цитирования: Ксенофонтова Т. К. Важный аспект при подготовке специалистов в области гидротехнического строительства – использование при обучении современных программных комплексов // В центре экономики. 2024. № 1. Т. 5. URL: <https://vcec.ru/index.php/vcec/article/view/103/118>

Original Paper
JEL Classification:
A22

An important aspect in the training of specialists in the field of construction is the use of modern software systems in training

Tatiana K. Ksenofontova¹

¹ Russian State Agrarian University-Moscow Timiryazev Agricultural Academy
¹ ksentanya@mail.ru

Corresponding author: Tatiana K. Ksenofontova, ksentanya@mail.ru

Abstract. Currently, the role of digital technologies in the education and training of specialists in various fields in the field of construction is increasing. This also applies to the training of engineers for the construction of hydraulic structures of increased responsibility. Digitalization of the educational process in this area includes the use of modern software systems in the process of designing hydraulic structures by students. One of such software packages certified in the Russian Federation is the LIRA-CAD software package, which is widely used in design organizations. This allows, even at the stage of training specialists, to become more deeply acquainted with the future specialty, to form in the future specialist

© Ксенофонтова Т. К., 2024

the competencies necessary for his further production activities. Calculations using the LIRA-CAD PC are introduced into training when performing calculation and graphic works, term papers and diploma projects. This article discusses the learning process of creating calculation models and calculation in the LIRA-CAD PC of hydraulic structures – the console of a spillway structure made of prefabricated monolithic reinforced concrete and a steel single-section flat two-ring gate.

Keywords: digitalization of education, training of specialists, computational software systems, the finite element method, hydraulic structures, the console of the spillway structure, a steel flat two-ring gate.

For citation: Ksenofontova T. K. An important aspect in the training of specialists in the field of construction is the use of modern software systems in training. *In the Center of Economy*. 2024;1(5). URL: <https://vceec.ru/index.php/vceec/article/view/103/118>

Введение / Introduction

В настоящее время к выпускникам строительных специальностей высших учебных заведений предъявляются требования качественных знаний не только по базовым дисциплинам, но также требуется, чтобы выпускник владел компьютерной графикой для выполнения чертежей конструкций различных сооружений в среде Autodesk – AutoCAD [1] или российских продуктов 3ds Max [2], Платформы nanoCAD [3, 4]. Кроме того, выпускники должны владеть основами проектирования конструкций с использованием современных программных комплексов, сертифицированных в России, таких как ПК «ЛИРА-САПР» [5, 6], ВК SCAD [7, 8, 9], ПК STARK ES [10, 11, 12].

Знания и навыки по дисциплинам приобретаются студентами в процессе выполнения расчетно-графических работ, курсовых проектов, а также при разработке и защите выпускных квалификационных работ. В соответствии с развитием и внедрением цифровизации образования студенты в процессе обучения проектируют конструкции сооружений как традиционными методами «руками», так и с помощью современных программных комплексов. Это позволяет провести исследования по сравнению результатов расчета конструкций, выполненных различными методами. В первом случае, при расчете «руками», проектируемое сооружение рассматривается как совокупность отдельных элементов, которые в процессе работы оказывают взаимное влияние и с точки зрения граничных условий, и с точки зрения передачи нагрузок. Во втором случае, с использованием программных комплексов, сооружение рассматривается как пространственная конструкция, а его расчет максимально приближен к реальным условиям работы.

Методы моделирования сооружений

Целью исследований, выполняемых студентами в процессе обучения, была оценка результатов, полученных с использованием современных программных комплексов, которые показывают преимущество цифровизации расчетов с точки зрения отражения пространственной работы сооружений в целом и конструктивных элементов как составных частей этих сооружений, а также условий работы. В то же время такой подход является научной новизной, так как в настоящее время имеется еще немало сторонников расчетов конструкций различного назначения «руками», а анализ и сравнение этих двух методов сейчас в литературных источниках практически отсутствует. Кроме того, расчет с использованием программных комплексов позволяет выявить

опасные моменты проектирования, которые невозможно отразить в традиционных методах в силу их ограниченности, а также найти возможные резервы для экономии материалов и денежных средств, то есть, выполнить оптимальное проектирование конструкций [13].

В гидротехническом строительстве достаточно распространенными сооружениями, входящими в водохозяйственные комплексы, являются концевые участки водосбросов, выполненные в виде консолей, а также механическое оборудование – стальные плоские затворы [14 – 18]. Пример консоли водосбросного сооружения, служащего для сброса воды в водоприемник (река, озеро или другое) приведен на рис. 1.

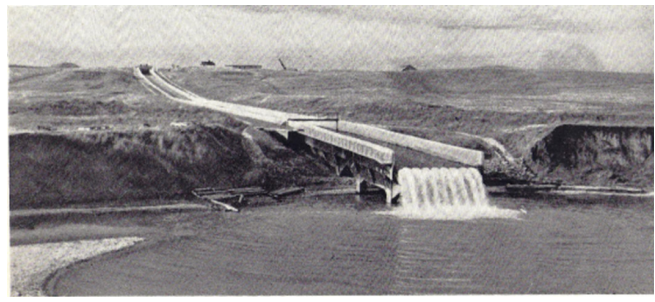


Рис. 1 / Fig 1. Консоль быстрого течения – концевой участок водосбросного сооружения / Fast flow console – end section of the spillway structure

Консоль водосбросного сооружения может быть выполнена из монолитного железобетона или сделана в сборно-монолитном варианте, когда материалом для лотка, по которому течет вода, является монолитный железобетон, а все остальные части сооружения – сборный железобетон. В монографии рассматривается второй вариант конструкции.

Плоские стальные затворы служат для поддержания проектного уровня воды в верхнем бьефе водохранилища гидроузла. Они чаще всего устанавливаются по гребню бетонной водосливной плотины (Васильева И.А., Журавлев Г.И., Корюкин С.Н., Лысенко П.Е., Розанов Н.П. & Суханов Г.К., 1978). В горизонтальном направлении положение плоских затворов обеспечивается их фиксацией в пазах бычков водосливной плотины, позволяющей осуществлять перемещение затвора по вертикали (рис. 2).

При выполнении расчетов по проектированию консоли водосброса и стального плоского затвора методами цифровизации использовался программный комплекс ПК «ЛИРА-САПР 2021», основанный на использовании

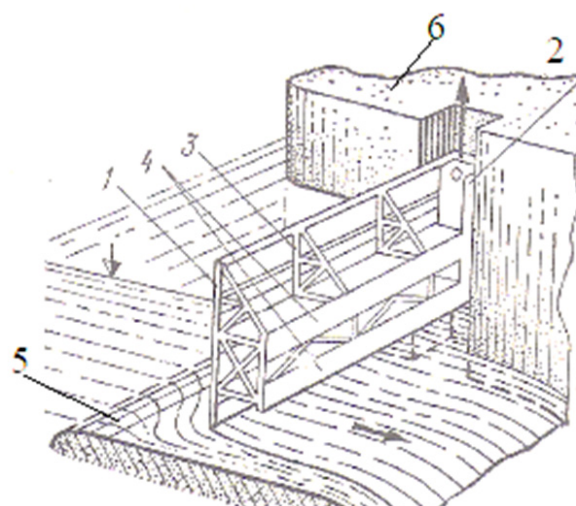


Рис. 2 / Fig 2. Плоский стальной затвор: 1 – обшивка; 2 – опорно-концевая стойка; 3 – ферма поперечных связей; 4 – ригели затвора; 5 – гребень водосливной плотины; 6 – бычок плотины / **Плоский стальной затвор:** 1 – обшивка; 2 – опорно-концевая стойка; 3 – ферма поперечных связей; 4 – ригели затвора; 5 – гребень водосливной плотины; 6 – бычок плотины

метода конечных элементов. В качестве проектных параметров сооружений были приняты размеры и поперечные сечения элементов, полученные при их проектировании традиционными методами. Плитные элементы моделировались конечными элементами оболочки с базовым размером 0,1 м или близкими к нему размерами. Для консоли водосброса – это лоток, а для затвора – обшивка, ригели, и опорно-концевые стойки. Стержневые конструкции – ригель у консоли водосброса, второстепенные балки и стойки обоих сооружений, элементы решетки поперечных и продольной связевой ферм затвора.

При создании расчетной модели консоли водосброса для лотка, второстепенных балок и ригеля был принят класс бетона В30, для стоек и фундамента – класс бетона В25. В качестве рабочей продольной и поперечной арматуры – класс А500С. Вначале была создана из стержневых конечных элементов опорная рама водосбросного сооружения. Затем создавались второстепенные балки и лоток. Высотное расположение консольных второстепенных балок по отношению к ригелю, соответствующее возведению консоли водосброса из сборных элементов, осуществлялось путем поднятия их на высоту, равную половине высоты ригеля, плюс высота консольных балок и половина толщины днища лотка. Затем по консольным балкам моделировалась плита днища лотка сооружения (рис. 3, а). Чтобы обеспечить опору лотка по верху второстепенных балок, с помощью жестких вставок его днище поднималось вверх на высоту, равную половине толщины днища (рис. 3, б). Далее были созданы стенки лотка.

Совместность работы лотка, консольных балок и ригеля осуществлялась путем объединения перемещений узлов стержневых конечных элементов в местах опоры

консольных балок на ригели. Учитывая, что соединение частей конструкции сооружения из сборного железобетона производится с помощью сварки закладных деталей только понизу, и такое соединение относится к классу шарнирных соединений, объединение перемещений в соответствующих узлах производилось по направлениям X, Y, Z.

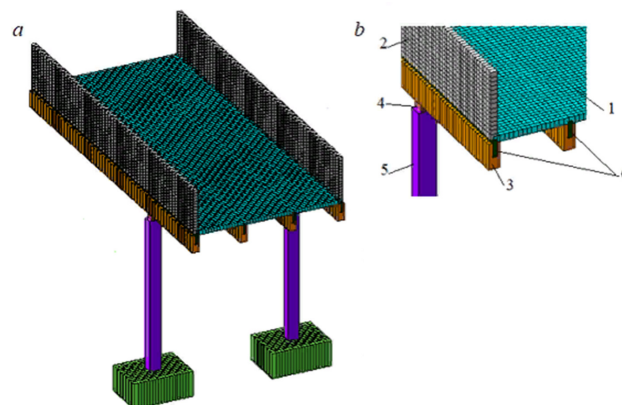


Рис. 3 / Fig 3. Модель консоли водосброса: а – общий вид модели, б – узел сопряжения лотка; консольной балки, ригеля и стойки; 1 – днище лотка; 2 – стенка лотка; 3 – консольная второстепенная балка; 4 – ригель; 5 – стойка рамы; 6 – жесткие вставки / **Spillway console model:** а – general view of the model, б – chute interface; cantilever beam, crossbar and rack; 1 – bottom of the tray; 2 – tray wall; 3 – cantilever secondary beam; 4 – crossbar; 5 – frame stand; 6 – hard inserts

При разработке модели консоли водосброса учитывалось, что фундаменты опираются на грунтовое основание, которое может быть многослойным. В качестве модели грунтового основания была принята реализованная в ПК «ЛИРА-САПР» модель с двумя коэффициентами постели П.Л. Пастернака [6]. Граничные условия, обеспечивающие фиксированное положение фундаментов в грунте в горизонтальной плоскости, задавались специальными одноузловыми конечными элементами КЭ 5б в узлах конечных элементов плиты фундамента. Эти одноузловые конечные элементы имели жесткости R_x и R_y для возможных перемещений фундамента в направлениях X, Y. Кроме того, в месте сопряжения консоли водосброса с подводящим каналом водосбросного сооружения вводились граничные условия в виде запрета на перемещения в направлениях X, Y, Z.

Создание модели плоского затвора производилось в следующей последовательности: сначала моделировались ригели затвора, потом опорно-концевые стойки, обшивка, второстепенные балки, стойки, поперечные и продольная связевые фермы.

Для ригелей затвора было принято поперечное сечение в виде сварного составного двутавра. По длине ригели разбивались на панели поперечными ребрами жесткости. При этом учитывалось, что в процессе поднятия затвора вода под напором захлестывает ригели,

особенно нижний, что приводит к появлению под ним вакуума, что обуславливает опасное для конструкции явление – кавитацию. Чтобы по возможности устранить это явление, в ригелях для снятия вакуума и обеспечения доступа воздуха в опасную зону делаются отверстия: в нижнем ригеле площадь каждого отверстия принимается около 20% от площади соответствующей панели, а в верхнем ригеле диаметр отверстий составляет 100 мм (рис.4).

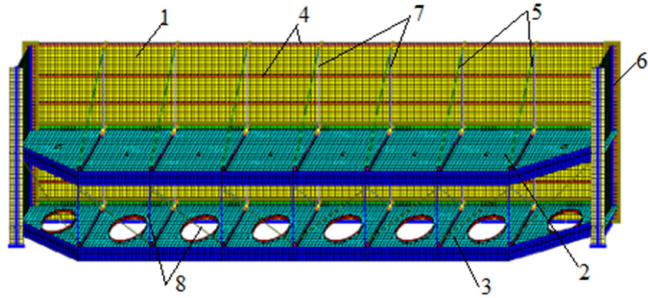


Рис. 4 / Fig 4. Расчетная модель стального плоского затвора: 1 – обшивка; 2 – верхний ригель; 3 – нижний ригель; 4 – вспомогательные балки; 5 – стойки; 6 – опорно-концевые стойки; 7 – верхние раскосы поперечных связевых ферм; 8 – продольная связевая ферма / Calculation model of a steel flat valve: 1 – casing; 2 – upper crossbar; 3 – lower crossbar; 4 – auxiliary beams; 5 – racks; 6 – support-end posts; 7 – upper braces of transverse braced trusses; 8 – longitudinal braced truss

Обшивка затвора приварена к напорным поясам ригелей и опорно-концевым стоек. Чтобы не произошло слияние конечных элементов обшивки с конечными элементами напорных поясов ригелей и опорно-концевых стоек, плоскость обшивки была смещена по отношению к поясам на расстояние, соответствующее фактическому расстоянию между их осевыми плоскостями, равному 15 мм. Совместность работы обшивки и ригелей, обшивки и опорно-концевых стоек обеспечивалась за счет объединения перемещений соответствующих узлов конечных элементов по всем шести степеням свободы (три возможных линейных перемещений и три возможных угловых перемещений): X, Y, Z, UX, UY, UZ (рис.5, поз.8).

Второстепенные балки, которые на рис. 4 показаны оранжевым цветом, подкрепляют обшивку и расположены с внутренней стороны затвора. Такое положение их по отношению к обшивке обеспечивалось за счет введения жестких вставок на величину, равную $l_{ж} = t_o / 2 + h_b / 2$ (рис. 5, поз. 7). Второстепенные балки опираются на стойки, которые располагаются в местах деления затвора на панели и входят в состав поперечных связевых ферм. Стойки затвора опираются на ригели и приварены к их поперечным ребрам жесткости. Ввиду того, что поперечные ребра жесткости ригелей моделировались конечными элементами пластин, а стойки затвора моделировались стержневыми конечными элементами, то согласно рекомендациям [20] сопряжение конечных

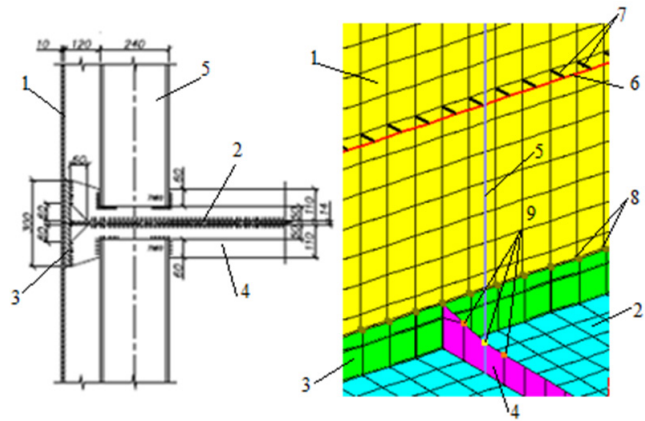


Рис. 5 / Fig 5. Узел соединения элементов плоского стального затвора: 1 – обшивка; 2 – стенка ригеля; 3 – напорный пояс ригеля; 4 – поперечное ребро жесткости ригеля; 5 – стойка затвора; 6 – вспомогательная балка; 7 – жесткие вставки балок; 8 – узлы с объединением перемещений; 9 – узлы абсолютно жесткого тела (АЖТ) / Узел соединения элементов плоского стального затвора: 1 – обшивка; 2 – стенка ригеля; 3 – напорный пояс ригеля; 4 – поперечное ребро жесткости ригеля; 5 – стойка затвора; 6 – вспомогательная балка; 7 – жесткие вставки балок; 8 – узлы с объединением перемещений; 9 – узлы абсолютно жесткого тела (АЖТ)

элементов пластин со стержневыми конечными элементами производится при введении в месте соединения абсолютно жесткого тела (АЖТ), которое на рис. 5 обозначено поз. 9. Совместная работа второстепенных балок и стоек обеспечивалась путем объединения перемещений в соответствующих узлах по направлениям X, Y, Z.

Элементы решеток поперечных и продольной связевых ферм затвора создавались при добавлении стержневых конечных элементов таврового сечения.

Нагрузки, учитываемые при расчете затвора с использованием ПК «ЛИРА-САПР», – это собственный вес конструкций и гидростатическое давление воды, действующее на обшивку. В расчете затвор рассматривается в период эксплуатации при статическом действии нагрузок при полностью закрытом отверстии и опоре затвора на гребень бетонной водосливной плотины. Ввиду этого граничными условиями являлись ограничения по перемещениям по нижнему краю затвора в направлениях X, Y, Z, а также вдоль поясов опорно-концевых стоек по высоте ввиду того, что их положение определяется пазами бычков водосливной плотины.

Результаты расчетов и их интерпретация / Results and their interpretation

При расчете консоли водосброса традиционными методами плита днища и стенки лотка рассматриваются как балочные плиты. В этом случае по длине лотка выделяется расчетный участок размером 1 м. Работа этого участка под нагрузкой рассматривается как балочная конструкция с размерами расчетного сечения: высота



сечения h равна толщине дна или стенки лотка, а размер ширины принимается равным $b = 1$ м. При этом предполагается, что при постоянных по длине лотка геометрических характеристиках сечения и нагрузках дна и стенки работают равномерно. На рис. 6 приведена схема нагрузок и изгибающих моментов при рассмотрении лотка как балочной конструкции. Здесь введены обозначения: g – нагрузка на днище лотка, которая состоит из собственного веса, гидростатического давления воды на уровне дна p_w , веса выравнивающего цементно-песчаного раствора на поверхности дна g_z . На стенки лотка учитывалось давление ветра: – активное и – пассивное. Расчет ветровой нагрузки производился с учетом ее пульсации как квазистатической нагрузки.

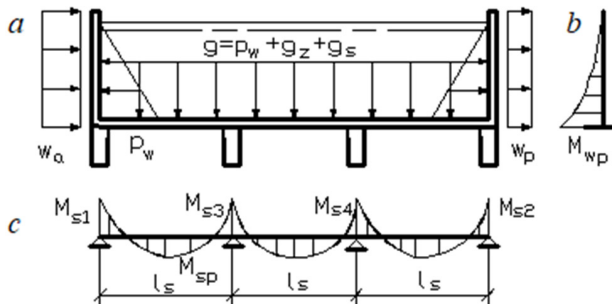


Рис. 6 / Fig 6. Расчетная схема лотка консоли водосброса (а), эпюры изгибающих моментов в стенке (b) и днище (c) при расчете традиционными методами / Design diagram of the spillway console tray (a), diagrams of bending moments in the wall (b) and bottom (c) when calculated using traditional methods

В табл. 1 приведены значения изгибающих моментов в характерных сечениях стенки и днища лотка.

Таблица 1. / Table 1. Изгибающие моменты в лотке при расчете традиционными методами / Bending moments in the tray when calculated using traditional methods

Элементы лотка	M_{wp} кН м/м	M_{s1} кН м/м	M_{s2} кН м/м	M_{s3} кН м/м	M_{s4} кН м/м	M_{sp} кН м/м
Стенка лотка	6,75					
Днище лотка		4,56	6,75	3,84	3,11	3,22

На рис. 7 приведено распределение изгибающих моментов в лотке при его расчете в ПК «ЛИРА-САПР 2021». На рис. 7, а приведено распределение изгибающих моментов в лотке в продольном направлении (вдоль оси X), а на рис. 7, б – в поперечном направлении (вдоль оси Y).

Как показали расчеты в ПК «ЛИРА-САПР 2021», наибольшие изгибающие моменты в лотке возникают в днище. При этом в отличие от традиционных методов расчета значительные изгибающие моменты возникают не только в поперечном направлении, но и в продольном направлении. Максимальная величина изгибающих моментов, вызывающих растяжение дна снизу, составляет: в продольном направлении кН м/м; в поперечном направлении – кН м/м. Минимальная величина изгибающих моментов, вызывающих растяжение дна сверху, составляет: в продольном направлении кН м/м;

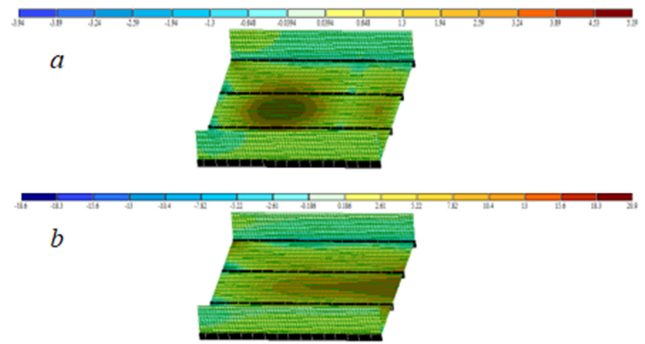


Рис. 7 / Fig 7. Мозаика изгибающих моментов в лотке водосброса, кН м/м: а – вдоль оси X; б – вдоль оси Y / Mosaic of bending moments in the spillway chute, кН м/м: а – along the X axis; б – along the Y axis

в поперечном направлении – кН м/м.

Для элементов рамы сооружения анализ результатов расчетов, выполненных традиционными методами, и результатов при расчете в ПК «ЛИРА-САПР 2021», производилось путем сравнения полученного армирования продольной арматурой ригеля и стоек. Требуемая площадь арматуры определялась с учетом прочности и обеспечении допустимой ширины раскрытия трещин, равной 0,3 мм. Для нижней части ригеля рамы расчетами традиционными методами и с использованием ПК «ЛИРА-САПР 2021» было получено одинаковое армирование – 6Ø22 A500С (рис. 8). На опорах рамы у ригеля сверху традиционными методами было получено армирование – 3Ø25 A500С, а с использованием ПК «ЛИРА-САПР 2021» – 2Ø25 A500С.

В процессе расчета стоек рамы консоли водосбро-

са традиционными методами для обеспечения общей устойчивости возникла необходимость увеличить высоту их поперечного сечения. Если в начале расчета стойки имели размеры поперечного сечения $h \times b = 400 \times 300$ мм, то с учетом обеспечения их общей устойчивости размеры поперечного сечения стали – $h \times b = 500 \times 300$ мм. На рис. 9 приведено сравнение армирования стоек, полученного традиционными методами и с использованием ПК «ЛИРА-САПР 2021».

В ходе расчета конечно-элементной модели затвора (рис. 4) в ПК «ЛИРА-САПР 2021» его стержневые элементы (второстепенные балки, стойки, входящие в состав поперечных связевых ферм, элементы решеток связевых ферм) были подобраны с учетом требований первого и второго предельных состояний – по прочности, общей и местной устойчивости и проверены по допустимым прогибам. Результаты расчета по подбору

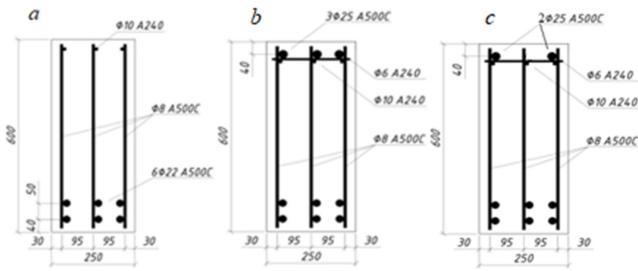


Рис. 8 / Fig 8. Армирование ригеля рамы консоли водосброса: а – в нижней части, полученное традиционными методами и расчетами в ПК «ЛИРА-САПР 2021»; б – на опорах сверху, полученное традиционными методами; с – на опорах сверху, полученное в ПК «ЛИРА-САПР 2021» / Reinforcement of the crossbar of the spillway console frame: а – in the lower part, obtained by traditional methods and calculations in the LIRA-SAPR 2021 software; б – on supports from above, obtained by traditional methods; с – on supports from above, obtained in the LIRA-SAPR 2021 PC

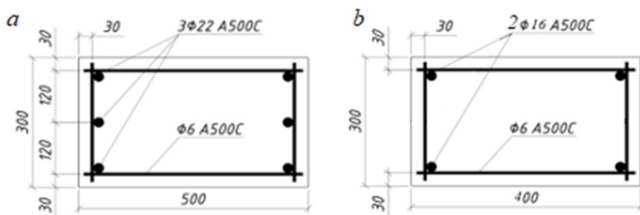


Рис. 9 / Fig 9. Поперечные сечения стоек рамы консоли водосброса: а – сечение, полученное традиционными методами; б – сечение, полученное в ПК «ЛИРА-САПР 2021» / Cross sections of the racks of the spillway console frame: а – section obtained by traditional methods; б – section obtained in the LIRA-SAPR 2021 software

сечений приведены в табл. 2, в которой слева приведены начальные сечения стержневых элементов затвора, полученные расчетами традиционными методами, а справа – сечения, подобранные расчетом в ПК «ЛИРА-САПР 2021».

Таблица 2. / Table 2. Результаты подбора стержневых элементов затвора / Results of selection of valve rod elements

Текущие сечения		Подобранные сечения		
№	Профиль	№	Профиль	Сталь
12	Двутавр 1251 (Второсте...	1	[20aП	C245
13	Швеллер 12П (Верхняя в...	2	I1251	C245
14	Двутавр 25Б1 (Стойка)	3	I25Б1	C245
15	Тавр 11.5БТ1 (Раскос)	4	T10БТ*	C245
16	Тавр 10БТ1 (Раскос нижн...	5	T10БТ*	C245
17	Тавр 10БТ1 (Стойка фер...	6	T10БТ*	C245
18	Тавр 10БТ1 (Раскосы фер...	7	T10БТ*	C245

Обшивка и сечения ригелей затвора проверялись по главным напряжениям: максимальным и минимальным. При этом требовалось, чтобы полученные расчетом главные напряжения удовлетворяли условию:

$$\frac{\sigma_{\max}}{\min} \leq R_y$$

где – расчетное сопротивление стали затвора, принятое с учетом коэффициента условия его работы = 0,72.

Как показали расчеты, обшивка затвора удовлетворяла условию (1) как по главным максимальным напряжениям, так и по минимальным напряжениям. Ригели затвора по максимальным главным напряжениям также удовлетворяли условию (1), а при проверке по минимальным главным напряжениям условие (1) не выполнялось для небольших участков поперечных ребер жесткости ригелей в местах их крепления к напорному поясу нижнего ригеля (рис. 10). Ввиду этого толщина поперечных ребер жесткости была увеличена на 2 мм. Благодаря этому абсолютная величина минимальных напряжений уменьшилась, но условие (1) по-прежнему не выполнялось. Учитывая, что эти участки очень малы, было решено допустить там возникновение пластических деформаций стали. Далее ригели были проверены по допустимым прогибам.

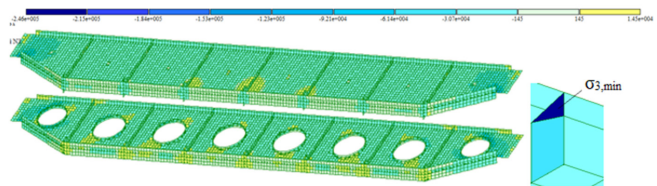


Рис. 10 / Fig 10. Главные минимальные напряжения в ригелях затвора / The main minimum voltages in the bolts of the gate

Как показали расчеты, проектирование гидротехнических сооружений традиционными методами, методика которых приведена в работах (14–19), в ряде случаев может привести к недостаточному армированию сооружений из железобетона по сравнению с проектированием с использованием ПК «ЛИРА-САПР». При расчете лотка железобетонной консоли водосброса традиционными методами получается, что лоток работает в основном в поперечном направлении. Поэтому и рабочая арматура укладывается в поперечном направлении лотка (вдоль оси Y), а в продольном направлении лотка (вдоль оси X) арматура ставится преимущественно конструктивно. В то же время при проектировании консоли в ПК «ЛИРА-САПР» получается, что в лотке сооружения возникают значительные изгибающие моменты как в направлении оси X, так и в направлении оси Y. По величине расчетные изгибающие моменты в ПК «ЛИРА-САПР» оказались значительно больше, чем при расчете традиционными методами. Это получается потому, что при расчете в ПК «ЛИРА-САПР» учитывается пространственная работа всех конструкций консоли водосброса, а также учитывается влияние осадки фундаментов рамы. Поэтому при проектировании лотка



консоли водосброса традиционными методами, возникает опасность, что лоток сооружения будет недостаточно армирован.

При армировании ригеля рамы консоли получилось, что при расчете традиционными методами и с использованием ПК «ЛИРА-САПР» в его нижней части требуется одинаковая арматура. В верхней части ригеля на опорах при расчете традиционными методами требуется арматуры на 33,3% больше, чем при расчете с использованием ПК «ЛИРА-САПР». Это объясняется тем, что при расчете рамы консоли водосброса традиционными методами не учитываются изгибающие моменты от гидростатического давления воды на стенки лотка, которые разгружают опорные сечения ригеля рамы. По этой же причине при армировании стоек сооружения также требуется значительно меньшее армирование.

Для стальных конструкций вследствие использования традиционных методов могут быть получены сечения элементов сооружений, не обеспечивающие их нормальную эксплуатационную пригодность. Как показали расчеты стального плоского затвора, результаты подбора стержневых элементов оказались практически одинаковыми как при проектировании традиционными методами, так и при расчетах в ПК «ЛИРА-САПР». Исключение составила только вспомогательная балка по верху затвора. При расчете традиционными методами сечение этой балки принималось конструктивно из швеллера №12П. При расчетах в ПК «ЛИРА-САПР» расчетами было установлено, что для этой балки требуется сечение больше – швеллер №20аП. Это объясняется тем, что при расчете вспомогательных балок традиционными методами возникают трудности одновременного учета влияния нагрузок от гидростатического давления воды на вспомогательные балки и их собственного веса, так как эти нагрузки действуют в разных плоскостях. Такой подход обосновывается тем, что нагрузка от гидростатического давления воды намного больше, чем нагрузка от собственного веса вспомогательных балок. При расчете затвора в ПК «ЛИРА-САПР» учитывается пространственная работа сооружения, а также влияние всех нагрузок: и гидростатического давления воды, и собственного веса конструкций.

Выводы / Inferences

Как показывает сравнение проектирования рассмотренных в статье сооружений традиционными методами с методами цифровизации, использование современных программных комплексов, таких как ПК «ЛИРА-САПР 2021», позволяет более точно отразить условия работы конструкции с учетом взаимного влияния ее элементов, более правильно отразить граничные условия проектируемого сооружения, учесть нагрузки, которые сложно учитывать в расчетах традиционными методами.

При этом нельзя не учитывать, что в случаях, когда влияние некоторых нагрузок или других каких-либо параметров незначительно, то расчеты традиционными методами и с использованием программных комплексов дают близкие результаты. Например, одинаковые результаты были получены при армировании нижней части ригеля рамы консоли водосбросного сооружения,

для второстепенных балок, стоек и элементов поперечных и продольной связевой ферм стального плоского поверхностного затвора.

Рассмотрение подобных примеров проектирования традиционными методами и методами цифровизации в процессе обучения студентов формирует в них компетенции, позволяющие в дальнейшей практической деятельности правильно оценивать работу конструкций различных сооружений, на стадии обучения формирует навыки умения работать с использованием современных программных комплексов.



Список источников

1. Жарков, Н.В. AutoCAD 2020. Официальная русская версия: Полное руководство / Н.В. Жарков, М.В. Финков, Р.Г. Прокди. – Санкт-Петербург: Издательство «Наука и Техника», 2020. – 640 с.
2. Горелик, А.Г. 3ds Max: Самоучитель / А.Г. Горелик. – Санкт-Петербург: Издательство «БХВ-Петербург», 2020. – 541 с.
3. Габидулин, В.М. (2018). Основы работы в nanoCAD: Самоучитель / В.М. Габидулин. – М: ДМК Пресс, 2018. – 178 с.
4. Кувшинов, Н.С. NanoCAD Plus 10. Адаптация к учебному процессу: Учебное пособие / Н.С. Кувшинов. – М: ДМК Пресс, 2019. – 346 с.
5. Городецкий, А.С. Компьютерные модели конструкций / А.С. Городецкий, И.Д. Евзеров. – Киев: Факт, 2007. – 344 с.
6. Городецкий, А.С. Компьютерное моделирование в задачах строительной механики / А.С. Городецкий, М.С. Барабаш, В.Н. Сидоров. – М: Издательство АСВ, 2016. – 337 с.
7. Карпиловский, В.С. SCAD OFFICE. Вычислительный комплекс SCAD: Руководство / В.С. Карпиловский, Э.З. Криксунов, А.А. Маляренко, М.А. Микитаренко, А.В. Перельмутер, М.А. Перельмутер. – М: Издательства СКАД СОФТ и АСВ, 2009. – 647 с.
8. Карпиловский, В.С. SCAD OFFICE. Реализация СНиП в проектирующих программах / В.С. Карпиловский, Э.З. Криксунов, А.А. Маляренко, М.А. Микитаренко, А.В. Перельмутер, М.А. Перельмутер, В.Г. Федоровский, В.В. Юрченко. – М: Издательство СКАД СОФТ, 2014. – 479 с.
9. Семенов, А.А. Вычислительный комплекс SCAD в учебном процессе. Статический расчет: Учебное пособие / А.А. Семенов, А.И. Габитов, А.А. Маляренко, И.А. Порьваев, М.Н. Сафиуллин. – М: Издательства СКАД СОФТ и АСВ, 2013. – 237 с.
10. Симбиркин, А.В. Моделирование железобетонного каркаса многоэтажного здания в программном комплексе STARK ES. Работа с позиционной (ПОС) моделью. Методическое пособие / В.Н. Симбиркин, С.О. Курнавина. – М: ЕВРОСОФТ, 2014. – 65 с.
11. Симбиркин, В.Н. Моделирование монолитного железобетонного каркаса многоэтажного здания в программном комплексе STARK ES. Работа с программами



TouchAt, DXFModel, Poseidon: Методическое пособие / В.Н. Симбиркин, А.В. Ананьев. – М: ЕВРОСОФТ, 2016. – 97 с.

12. Дегтярев, Г.В. Моделирование и расчет железобетонных конструкций здания в программном комплексе STARK ES: Учебник / Г.В. Дегтярев. – Краснодар: КубГАУ, 2017. – 101 с.

13. Klyuev S.V., Shlychkov D.I., Muravyov K.A., Ksenofontova T.K. (2020). Optimal Design Building Structures. In Xiong Neal N (Ed). International Journal of advanced Science and Technology 2020 (pp. 2577 – 2583). Australia: NADIA. – p. 2577 – 2583.

14. Журавлев, Г.И. Гидротехнические сооружения: Учебник / Г.И. Журавлев. – М: Колос, 1979. – 423 с.

15. Каганов, Г.М. Гидротехнические сооружения: Учебник. Книга 1 / Г.М. Каганов, И.С. Румянцев. – М: Энергоатомиздат, 1994. – 305 с.

16. Каганов, Г.М. Гидротехнические сооружения: Учебник. Книга 2 / Г.М. Каганов, И.С. Румянцев. – М: Энергоатомиздат, 1994. – 272 с.

17. Дукарский, Ю.М. Инженерные конструкции. Металлические конструкции и конструкции из древесины и пластмасс: Учебник / Ю.М. Дукарский, Ф.В. Расс, О.В. Мареева. – М: ИНФРА-М, 2018. – 261 с.

18. Ксенофонтова, Т.К. Инженерные конструкции. Железобетонные и каменные конструкции: Учебник / Т.К. Ксенофонтова, М.М. Чумичева. – М: ИНФРА-М, 2019. – 386 с.

19. Васильева, И.А. Гидротехнические сооружения: Учебное пособие / И.А. Васильева, Г.И. Журавлев, С.Н. Корюкин, П.Е. Лысенко, Н.П. Розанов, Г.К. Суханов. – М: Стройиздат, 1978. – 647 с.

20. Перельмутер, А.В. (2011). Расчетные модели сооружений и возможность их анализа: 4-е издание переработанное / А.В. Перельмутер, В.И. Сливкер. – М: Издательство СКАД СОФТ, 2011. – 595 с.

7. Karpilovsky, V.S. SCAD OFFICE. Computer complex SCAD: Manual / V.S. Karpilovsky, E.Z. Kriksunov, A.A. Malyarenko, M.A. Mikitarenko, A.V. Perelmuter, M.A. Perelmuter. – М: Publishing houses SKAD SOFT and ASV, 2009. – 647 p.

8. Karpilovsky, V.S. SCAD OFFICE. Implementation of SNiP in design programs / V.S. Karpilovsky, E.Z. Kriksunov, A.A. Malyarenko, M.A. Mikitarenko, A.V. Perelmuter, M.A. Perelmuter, V.G. Fedorovsky, V.V. Yurchenko. – М: SKAD SOFT Publishing House, 2014. – 479 p.

9. Semenov, A.A. SCAD computing complex in the educational process. Static calculation: Textbook / A.A. Semenov, A.I. Gabitov, A.A. Malyarenko, I.A. Poryvaev, M.N. Safiullin. – М: Publishing houses SKAD SOFT and ASV, 2013. – 237 p.

10. Simbirkin, A.V. Modeling of a reinforced concrete frame of a multi-story building in the STARK ES software package. Working with a positional (POS) model. Methodical manual / V.N. Simbirkin, S.O. Kurnavina. – М: EUROSOFT, 2014. – 65 p.

11. Simbirkin, V.N. Modeling of a monolithic reinforced concrete frame of a multi-story building in the STARK ES software package. Working with TouchAt, DXFModel, Poseidon programs: Methodological manual / V.N. Simbirkin, A.V. Ananyev. – М: EUROSOFT, 2016. – 97 p.

12. Degtyarev, G.V. Modeling and calculation of reinforced concrete building structures in the STARK ES software package: Textbook / G.V. Degtyarev. – Krasnodar: KubGAU, 2017. – 101 p.

13. Klyuev S.V., Shlychkov D.I., Muravyov K.A., Ksenofontova T.K. (2020). Optimal Design Building Structures. In Xiong Neal N (Ed). International Journal of advanced Science and Technology 2020 (pp. 2577 – 2583). Australia: NADIA. – p. 2577 – 2583.

14. Zhuravlev, G.I. Hydraulic structures: Textbook / G.I. Zhuravlev. – М: Kolos, 1979. – 423 p.

15. Kaganov, G.M. Hydraulic structures: Textbook. Book 1 / G.M. Kaganov, I.S. Rummyantsev. – М: Energoatomizdat, 1994. – 305 p.

16. Kaganov, G.M. Hydraulic structures: Textbook. Book 2 / G.M. Kaganov, I.S. Rummyantsev. – М: Energoatomizdat, 1994. – 272 p.

17. Dukarsky, Yu.M. Engineering structures. Metal structures and structures made of wood and plastics: Textbook / Yu.M. Dukarsky, F.V. Russ, O.W. Mareeva. – М: INFRA-M, 2018. – 261 p.

18. Ksenofontova, T.K. Engineering structures. Reinforced concrete and stone structures: Textbook / T.K. Ksenofontova, M.M. Chumicheva. – М: INFRA-M, 2019. – 386 p.

19. Vasilyeva, I.A. Hydraulic structures: Textbook / I.A. Vasilyeva, G.I. Zhuravlev, S.N. Koryukin, P.E. Lysenko, N.P. Rozanov, G.K. Sukhanov. – М: Stroyizdat, 1978. – 647 p.

20. Perelmuter, A.V. (2011). Calculation models of structures and the possibility of their analysis: 4th edition revised / A.V. Perelmuter, V.I. Slivker. – М: SKAD SOFT Publishing House, 2011. – 595 p.



Reference

1. Zharkov, N.V. AutoCAD 2020. Official Russian version: Complete guide / N.V. Zharkov, M.V. Finkov, R.G. Prokdi. – St. Petersburg: Publishing House “Science and Technology”, 2020. – 640 p.

2. Gorelik, A.G. 3ds Max: Tutorial / A.G. Gorelik. – St. Petersburg: Publishing House “BHV-Petersburg”, 2020. – 541 p.

3. Gabidulin, V.M. (2018). Basics of working in nanoCAD: Self-instruction manual / V.M. Gabidulin. – М: DMK Press, 2018. – 178 p.

4. Kuvshinov, N.S. NanoCAD Plus 10. Adaptation to the educational process: Textbook / N.S. Kuvshinov. – М: DMK Press, 2019. – 346 p.

5. Gorodetsky, A.S. Computer models of structures / A.S. Gorodetsky, I.D. Evzerov. – Kyiv: Fakt, 2007. – 344 p.

6. Gorodetsky, A.S. Computer modeling in problems of structural mechanics / A.S. Gorodetsky, M.S. Barabash, V.N. Sidorov. – М: ASV Publishing House, 2016. – 337 p.



Информация об авторах

Т. К. Ксенофонтова – кандидат технических наук, доцент,
Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева;
Адрес: Россия, 127434, Москва, ул. Тимирязевская, д. 49;
E-mail: ksantanya@mail.ru
ORCID ID 0000-0002-3484-6894

Information about the authors

T. K. Ksenofontova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy;
Address: 49, Timiryazevskaya Street, Moscow, 127434, Russia;
E-mail: ksantanya@mail.ru
ORCID ID 0000-0002-3484-6894

Вклад авторов

Ксенофонтова Т. К. – научное руководство; концепция исследования; развитие методологии; написание и доработка текста; оформление статьи; итоговые выводы.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Ksenofontova T. K. – scientific guidance; research concept; development of methodology; writing and revision of the text; design of the article; final conclusions.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.



Статья поступила в редакцию: 08.02.2024;
одобрена после рецензирования: 11.03.2024;
принята к публикации: 28.03.2024.

The article was submitted: 08.02.2024;
approved after reviewing: 11.03.2024;
accepted for publication: 28.03.2024.