DOI: 10.24937/2542-2324-2018-4-386-84-94
УДК 629.5.017.001.24

С.В. Ковальчук, Е.Н. Пушной, С.В. Шедько
ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Санкт-Петербург, Россия

ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ВЫПОЛНЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ЖИВУЧЕСТИ КОРАБЛЕЙ

Объект и цель научной работы. Объектом научного исследования являются проектируемые надводные корабли и подводные лодки, а также разрабатываемые образцы противокорабельного оружия. Целью статьи является ознакомление читателей с историей создания и возможностями программного комплекса количественной оценки живучести надводных кораблей и подводных лодок, разработанного в ФГУП «Крыловский государственный научный центр».
Материалы и методы. Изложена история создания методики и программного комплекса количественной оценки живучести надводных кораблей и подводных лодок в ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Приведено описание расчетных возможностей программного комплекса. Дан обзор аналогичного программного обеспечения, применяемого за рубежом.
Основные результаты. Отечественный программный комплекс количественной оценки живучести надводных кораблей и подводных лодок способен составить конкуренцию зарубежным аналогам, однако требует проведения работ по применению современных образцов боеприпасов и конструкционных материалов.
Заключение. Рассмотрены возможности программного комплекса количественной оценки живучести надводных кораблей и подводных лодок.
Ключевые слова: живучесть, надводный корабль, подводная лодка, боеприпас, программный комплекс, гибель, потеря боеспособности, повреждения.
Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

DOI: 10.24937/2542-2324-2018-4-386-84-94
UDC 629.5.017.001.24

S. Kovalchuk, Ye. Pushnoy, S. Shedko
Krylov State Research Centre, St. Petersburg, Russia

INTEGRATED SURVIVABILITY ASSESSMENT SOFTWARE FOR SHIPS

Object and purpose of research. This study investigates new designs of surface ships and submarines, as well as of anti-ship weaponry. The purpose of this paper is to describe development history and capabilities of UZP, KSRC-developed software package for quantitative survivability assessment of surface ships and submarines.
Materials and methods. The paper describes history of UZP software development and the procedure it is based on. It also describes its calculation capabilities and reviews similar software products used in other countries.
Main results. UZP, Russian software package for quantitative survivability assessment of surface ships and submarines could rival with its foreign counterparts, however, it requires further work on application of modern ordnance and structural materials.
Conclusion. The paper presents capabilities of Russian software package mentioned above
Keywords: survivability, surface ship, submarine, ordnance, software package, loss, non-effectiveness, damage.
Authors declare lack of the possible conflicts of interests.

Для цитирования: Ковальчук С.В., Пушной Е.Н., Шедько С.В. Программные средства выполнения комплексной оценки живучести кораблей. Труды Крыловского государственного научного центра. 2018; 386(4): 84–94.

For citations: Kovalchuk S., Pushnoy Ye., Shedko S. Integrated survivability assessment software for ships. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2018; 386(4): 84–94 (in Russian).

Предыстория разработки

Development history

Традиционно в отечественной и мировой практике на ранних стадиях проектирования кораблей ключевыми факторами, которым уделяется наибольшее внимание, является обеспечение размещения комплексов оружия, вооружения и энергетики (в рамках оговоренного тактико-техническим заданием водоизмещения), а также прочности и мореходных свойств корабля. В связи с этим вопросы, связанные с живучестью, подробно рассматриваются на более поздних стадиях проектирования, зачастую по остаточному принципу из-за исчерпанных возможностей по перекомпоновке и весовой нагрузке уже сформированного проекта. Отсутствие современных средств интегрированной оценки и количественного анализа живучести, которые можно использовать на всех стадиях проектирования, существенно затрудняет выполнение требований к уровню живучести кораблей.

Действующий в настоящее время руководящий документ [1] разработан в 1986 г. Его теоретическая часть основана на результатах серии НИОКР, выполнявшихся в первой половине 70-х гг. [2]. Программное обеспечение (ПО) для расчетов условного закона поражения (УЗП) было создано для применявшихся в то время ЭВМ серии ЕС. В 90-е гг. прошла модификация ПО, в ходе которой для персональных ЭВМ были разработаны программы расчетов УЗП в верхней и нижней полусферах (рис. 1, 2). В настоящее время, несмотря на ряд модификаций, данное ПО и методика, на основе которой оно разработано, морально устарели.

Некоторые вопросы живучести, например потеря плавучести и остойчивости, потеря общей прочности, в старой методике решаются по упрощенным схемам. Кроме того, при оценке живучести кораблей необходимо учитывать не только повреждения, полученные непосредственно от взрыва боезаряда, но и повреждения от возникшей аварии – пожара и распространения воды по кораблю. Старая методика таким функционалом не располагает.

Обзор программного обеспечения, применяемого за рубежом для выполнения оценки живучести

Review of foreign survivability assessment software products

По имеющимся сведениям [3–7], ведущие военно-морские державы активно создают и используют ПО для выполнения оценки живучести в ходе проектирования своих кораблей. Так, в Великобритании специалистами компании QinetiQ, по заказу Министерства обороны и Управления оборонных исследований DERA, разработано ПО SURVIVE для проведения оценки живучести надводных кораблей (НК) и подводных лодок (ПЛ). ПО SURVIVE создавалось на основе объединения всех существующих по отдельным направлениям программ (наведение боеприпаса на цель, размеры разрушений, воздействие сотрясений, распространение затопления и пожара) в единое целое. Клю-

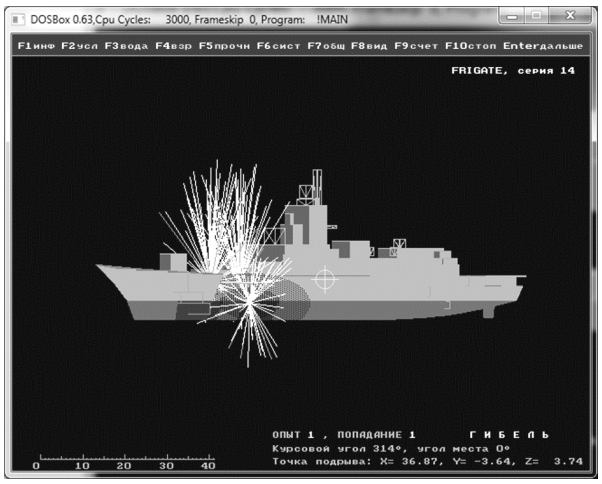


Рис. 1. Программа для расчетов условного закона поражения в верхней полусфере

Fig. 1. Calculation software for a conditional engagement law above water

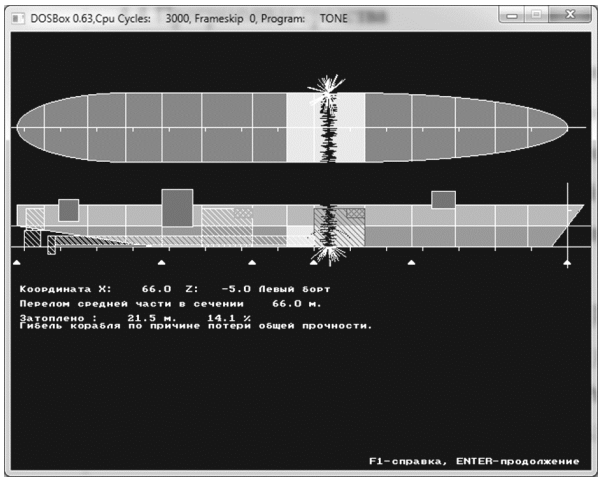


Рис. 2. Программа для расчетов условного закона поражения в нижней полусфере

Fig. 2. Calculation software for a conditional engagement law under water

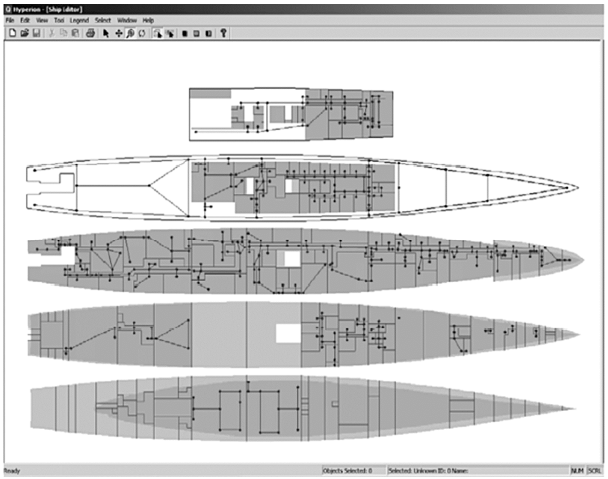


Рис. 4. Расчет путей перемещения в программном обеспечении SURVIVE

Fig. 4. Calculation of movement paths in SURVIVE

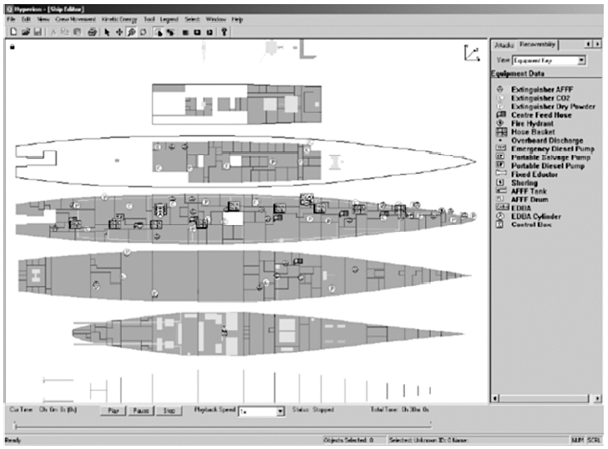


Рис. 5. Схема размещения систем пожаротушения и аварийного оборудования в программном обеспечении SURVIVE

Fig. 5. Arrangement of fire-fighting systems and emergency equipment: SURVIVE simulation

чевая особенность ПО SURVIVE – выполнение расчетов на базе единых моделей НК и ПЛ, включающих геометрию корпуса, размещение оборудования, логические связи. ПО SURVIVE было использовано, показав высокую эффективность, для анализа и оценки живучести нового ЭМ УРО типа 45. Впоследствии оно стало основным инструментом Министерства обороны Великобритании при анализе возможности повышения живучести кораблей. Фрагменты интерфейса ПО приведены на рис. 3–5 (рис. 3, см. вклейку). Все расчеты производятся применительно к трехмерной электронной модели корабля.

ПО ASAP (Advanced Survivability Assessment Program), созданное компанией SURVICE, является основным ПО анализа живучести крупных боевых кораблей ВМС США. ПО ASAP было разработана применительно к электронной модели корабля и выполняет расчеты с учетом как первичных, так и вторичных результатов воздействия боевых средств. В частности, ПО ASAP использовалось отделением Carderock Командования военно-морских систем ВМС США (NAVSEA) при оценке уязвимости эсминца типа Zumwalt (рис. 6).

Для моделирования пожаров и взрывов в составе ПО ASAP используются результаты расчета CFD-модели[1]. На рис. 7 (см. вклейку) изображены волны давления по мере их прохождения по внешней поверхности корабля.

Другим поставщиком передовых решений в области проектирования, информационных технологий и эксплуатации для ВМС США является американская компания Alion Science and Technology, разработавшая для выполнения оценки живучести НК программный комплекс (ПК) MOTISS. ПК MOTISS включает расчет воздействия взрывной волны на конструкции корпуса и оборудование и позволяет анализировать возможность восстанавливаемости боевых функций корабля в едином программном пакете с целью оценки выполнения требований живучести, распределения ресурсов и пр. Также с помощью ПК MOTISS выполняется сравнительная оценка эффективности принятия решений по повышению живучести проекта с учетом наилучшей рентабельности. ПК MOTISS позволяет:

- определить основные причины потери боеспособности/гибели корабля;
- моделировать распространение пожара и затопления;
- выполнять расчет поражения корабля при воздействии ударной волны и осколочного поля.

После осуществления проверки и валидации посредством более 800 испытаний ПК MOTISS был аккредитован ВМС США и используется в обеспечение проектирования как для оценки живучести боевых кораблей, так и для оценки безопасности

[1] CFD – Computational Fluid Dynamics (вычислительная гидродинамика) – подраздел механики сплошных сред, включающий совокупность физических, математических и численных методов, предназначенных для вычисления характеристик потоковых процессов.

гражданских судов. Фрагменты интерфейса ПО приведены на рис. 8, 9 (см. вклейку).

Американской компанией Sener было создано обновленное ПО Foran System, предназначенное для трехмерного моделирования кораблей и судов на всех этапах их проектирования и строительства. ПО включает опцию FBasic, предназначенную для проектирования архитектурного облика кораблей и судов на начальных стадиях разработки. Опция позволяет оценивать динамические и статические характеристики поперечной и продольной остойчивости при различных вариантах размещения оборудования корабля (судна) и грузов с автоматическим построением графиков и диаграмм.

Применительно к итальянским ВМС расчеты по оценке живучести выполняет компания CETENA SpA, входящая в состав группы Fincantieri – крупнейшего итальянского судостроительного предприятия. Подробная информация о ПО в области оценки живучести, разработанном этой итальянской компанией, отсутствует. Известно лишь, что при помощи данного ПО производится расчет воздействия на НК надводного и подводного оружия на всех стадиях проектирования корабля. Последняя версия ПО, созданного компанией CETENA, позволяет моделировать динамику развития пожара, а также конечное состояние комплексов технических средств.

Известно также, что военно-морским агентством ФРГ MTG Marinetechnik в 2015 г. было приобретено ПО оценки живучести боевых кораблей SURMA, разработанное финской компанией Surma Ltd (рис. 10). ПО SURMA позволяет проводить оценку живучести боевых кораблей на разных стадиях их проектирования, начиная с самых ранних. Благодаря этому ПО можно рассчитывать разрушение корпуса корабля при воздействии надводного и подводного оружия, моделировать пожар, затопление и повреждение технических средств.

Таким образом, современные средства оценки живучести боевого корабля, применяемые иностранными разработчиками, представляют собой ПО, которое включает в свой состав расчетные модули, описывающие:

- параметры наведения боеприпаса на корабль;
- разрушение корпусных конструкций;
- повреждение элементов оружия, вооружения и общекорабельных систем, а также поражение членов экипажа;
- распространение вторичных поражающих факторов (пожар и затопление);

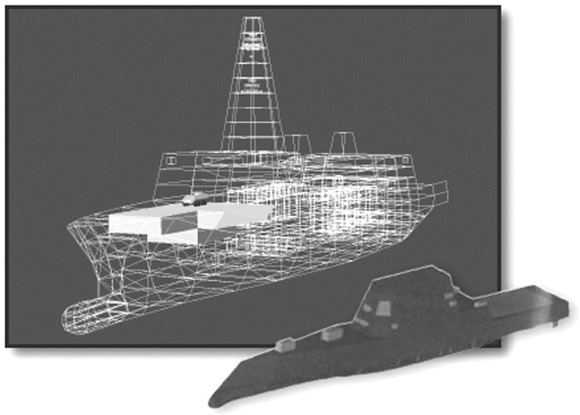
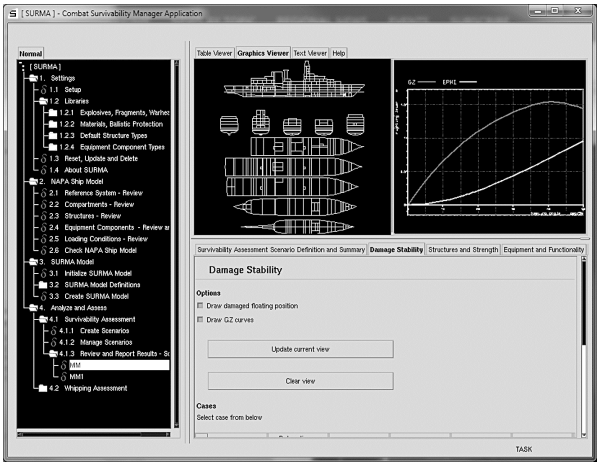


Рис. 6. Электронная модель эсминца типа Zumwalt в составе программного обеспечения ASAP

Fig. 6. Model of a Zumwalt-class destroyer: ASAP software



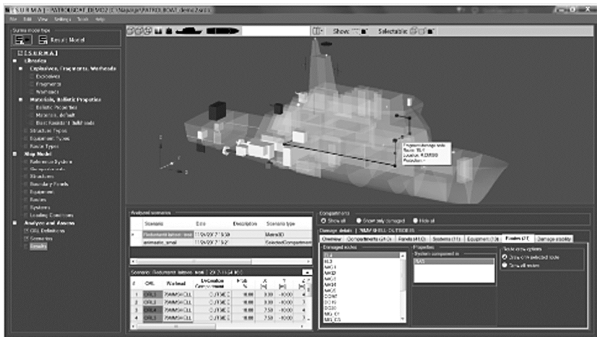


Рис. 10. Экранные формы программного обеспечения SURMA

Fig. 10. Screenshots of SURMA software

- применение средств борьбы за живучесть корабля.

Моделирование воздействия противокорабельного оружия выполняется применительно к подробной трехмерной электронной модели корабля.

Возможности UZP – программного комплекса количественной оценки живучести НК и ПЛ

Capabilities of UZP, Russian software product for quantitative survivability assessment of surface ships and submarines

В отечественном кораблестроении XXI века в данной области образовался пробел. В первую очередь это было вызвано отсутствием утвержденной современной методики расчета и соответствующего ПО.

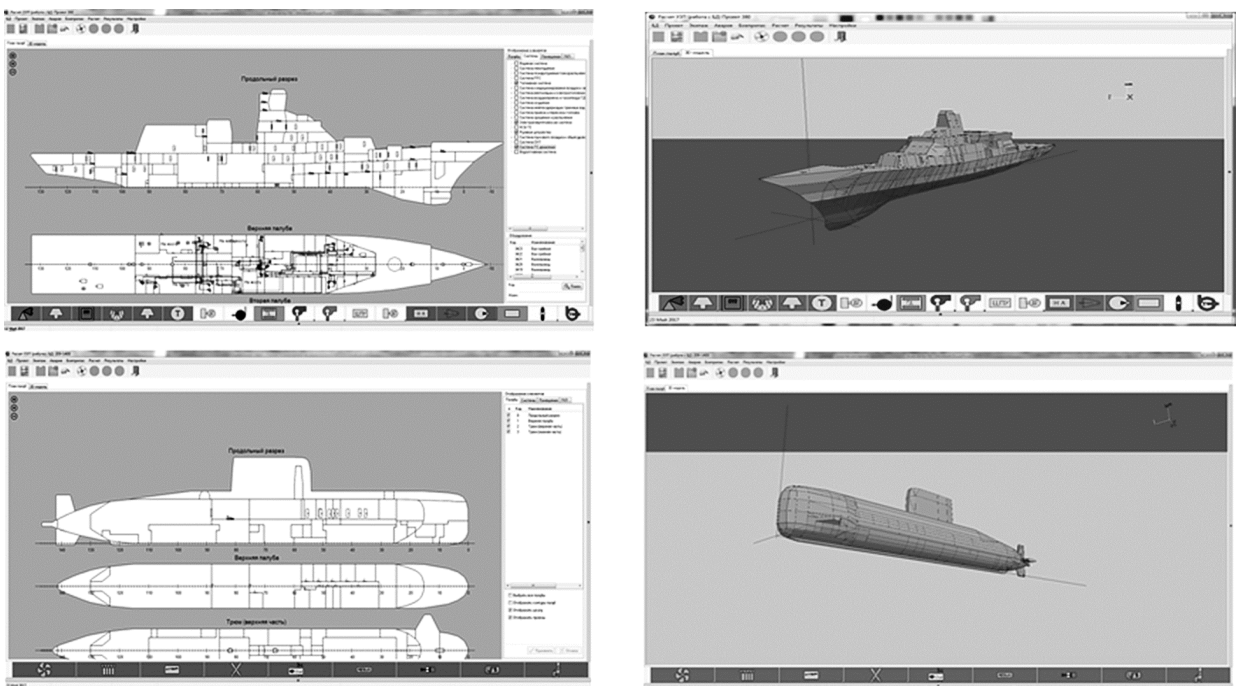
Результатом реализации ряда НИОКР, выполненных в последние годы ФГУП «Крыловский государственный научный центр» и направленных на восполнение существующего пробела, явилась разработка нового ПК количественной оценки живучести НК и ПЛ – UZP. Участие в разработке ПК принимали специалисты ФГУП «Крыловский государственный научный центр», а также сотрудники ОАО «ГосНИИмаш» и НИИ КиВ ВМФ ВУНЦ ВМФ «ВМА».

ПК предназначен для проведения оценки живучести корабля при боевых повреждениях и оценки эффективности противокорабельного оружия. ПК позволяет:

- определять показатели живучести НК и ПЛ;
- определять показатели эффективности противокорабельного оружия;
- оптимизировать размещение элементов корабельных систем и комплексов вооружения;
- рационально применять конструктивную защиту корабля;
- оценить возможности корабля по борьбе за живучесть при боевых повреждениях.

Отличительными особенностями созданного ПК от предыдущей версии являются:

- использование трехмерной электронной модели корабля;
- моделирование динамики развития аварии после боевых повреждений (пожар, затопление);
- возможность выполнения расчета параметров посадки и остойчивости корабля с учетом ди-



а) *б*)

Рис. 11. Основной пользовательский интерфейс программного комплекса UZP:
а) двухмерные чертежи планов палуб; *б*) 3D-модели корабля

Fig. 11. Main user interface of UZP: *a*) 2D deck plans; *b*) 3D models of ship

намики поступления и распространения воды в корпусе корабля;
- возможность оценки состояния всех корабельных систем и комплексов, определяющих боеспособность корабля;
- возможность моделирования действий личного состава по борьбе за живучесть;
- учет сотрясений в качестве поражающего фактора подводного взрыва;
- замена упрощенных оценок на расчетные методы (общая прочность, непотопляемость, функционирование систем и т.д.).

Элементы пользовательского интерфейса ПК приведены на рис. 11.

Алгоритм функционирования ПК заключается в следующем. Для выбранного корабля и заданного боеприпаса выполняется серия расчетов в следующей последовательности:

1. Разыгрывается точка подрыва боеприпаса при заданных законах рассеивания.
2. Выполняется расчет размера пробоины в корпусе и объем разрушения внутренних конструкций.
3. При подводном взрыве определяются параметры сотрясений корпусных конструкций в местах установки оборудования и расположения личного состава.
4. Формируется база данных по оборудованию, вышедшему из строя в результате первичных разрушений и воздействия ударных сотрясений, и личному составу.
5. Моделируется поступление воды внутрь корпуса и динамика всплытия (для ПЛ) с учетом полученных повреждений.
6. Моделируется динамика развития пожара.
7. Формируется база данных по оборудованию, вышедшему из строя в результате вторичных разрушений (огонь, вода), и личному составу.
8. Анализируются состояние систем и комплексов корабля с учетом поврежденного оборудования, а также продольная прочность корпуса и параметры непотопляемости.
9. Определяется достигнутая категория поражения корабля. Если заданная категория поражения корабля не достигнута, моделируется следующий выстрел.

В качестве каналов самонаведения боеприпаса на цель в ПК UZP рассматривается радиолокационный и оптический. Также существует возможность задавать параметры наведения на цель и рассеивания попаданий, предоставляемые разработчиками боеприпасов.

Модуль по определению точки прицеливания противокорабельных ракет с радиолокационными головками самонаведения анализирует расчетный радиолокационный портрет корабля с различных углов по азимуту и пикированию боеприпаса с заданным шагом (рис. 12, см. вклейку). Результатом работы модуля является определение центра (центров) наведения при различных углах подхода боеприпаса.

Модуль по определению точки прицеливания противокорабельных ракет с оптико-электронными головками самонаведения рассчитывает центр площади силуэта корабля при различных углах подхода боеприпаса (рис. 13). При определении точки попадания учитывается рассеивание боеприпаса относительно точки прицеливания. Определение точки подрыва боеприпаса производится с учетом траектории подлета, точки попадания в корпус корабля, возможности пробития корпусных конструкций, скорости боеприпаса и времени замедления взрывателя (рис. 14).

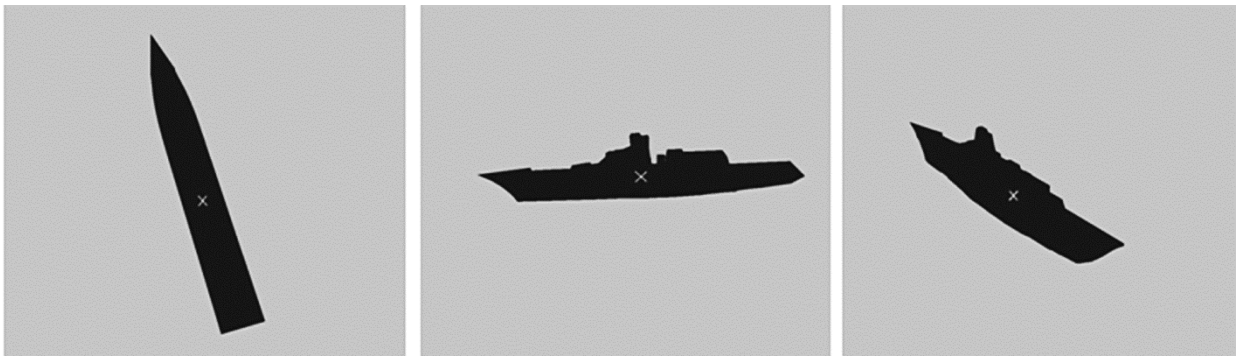


Рис. 13. Определение центра площади силуэта корабля при различных углах подхода боеприпаса
Fig. 13. Determination of ship outline profile area center for ordnance incoming at different angles

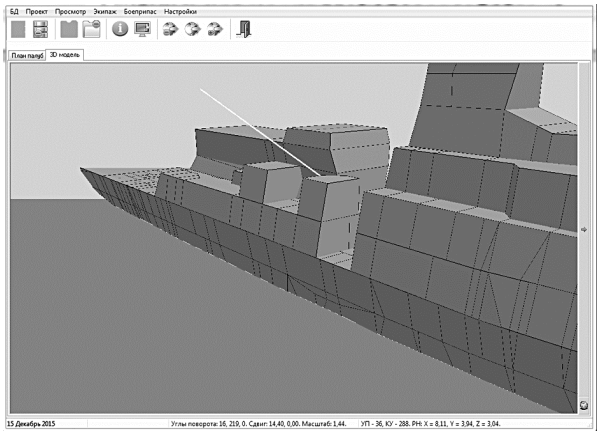


Рис. 14. Определение точки подрыва боеприпаса для надводного корабля

Fig. 14. Determination of ordnance explosion point for a surface ship

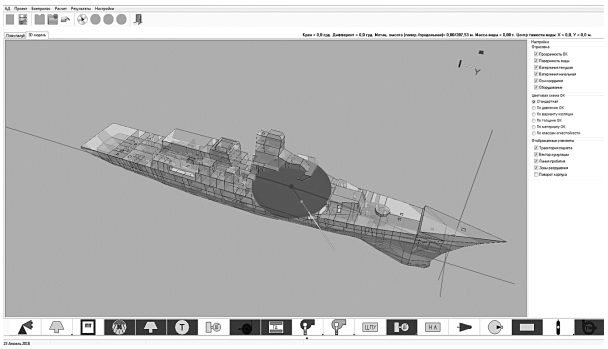


Рис. 15. Отображение размеров разрушений от подрыва боеприпаса для надводного корабля

Fig. 15. Display of damage inflicted to surface ship by ordnance explosion

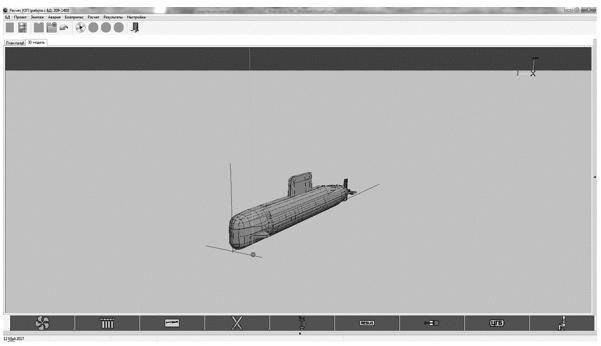


Рис. 16. Определение точки подрыва боеприпаса для подводной лодки

Fig. 16. Determination of ordnance explosion point for a submarine

Расчет размеров разрушений и повреждений корпуса корабля производится в специальном модуле с учетом типа боеприпаса (фугасный, кумулятивный), массы заряда в тротиловом эквиваленте, свойств корпусных конструкций, а также угла подхода боеприпаса. Пробоина характеризуется площадью отверстия в наружной обшивке (прочном корпусе). Зона разрушений определяется как эллипсоид с различными радиусами по длине, ширине и высоте (рис. 15).

В случае фугасного воздействия подводного взрыва выполняется расчет сотрясения корпусных конструкций корабля в трех направлениях, оценивается погашающая способность амортизационных креплений оборудования (при их наличии), определяется работоспособность оборудования (рис. 16, 17, см. вклейку). В качестве критерия повреждения оборудования принимается превышение «Норм ударостойкости» [8]. Как и за рубежом, данные расчеты являются одними из самых трудоемких. Для их выполнения чаще всего используются ПК DYSMAS, LS-DYNA [9] и ANSYS-AUTODYN [10, 11]. Все программы в своих расчетах учитывают воздействие пульсаций газового пузыря. ПК UZP использует результаты предварительных расчетов комплекса LS-DYNA, в котором заранее рассчитывается координатное поле сотрясений и разрушений. В процессе моделирования ПК UZP выбирает ближайшие точки поля и вычисляет методом интерполяции параметры сотрясений, которые используются для вывода из строя оборудования и расчета воздействий на экипаж (рис. 18, см. вклейку).

При разрушении продольных связей корпуса поврежденного корабля проводится расчет потери его общей продольной прочности (рис. 19–21). В расчете учитывается наличие воды, влившейся в результате повреждений [12, 13].

В случае образования в корпусе корабля пробоины ниже действующей ватерлинии выполняется моделирование динамики поступления через пробоину воды и ее распространения по внутренним помещениям через имеющиеся во внутренних конструкциях проемы и неплотности. Распространение воды моделируется с учетом внешнего гидростатического давления, внутреннего противодавления воздушной подушки, повреждения/разрушения внутренних конструкций непосредственно от взрыва, способности внутренних конструкций сохранять целостность при воздействии гидравлического давления, работы водоотливной системы и средств перепуска, а также текущих параметров посадки корабля. Для моделирования поступления распространения и удаления воды

используется дифференциальная модель расчета (рис. 22, см. вклейку). С учетом поступившей внутрь корпуса воды определяется текущая посадка корабля и параметры его остойчивости (рис. 23).

Если вода поступает внутрь прочного корпуса ПЛ, при помощи специализированного модуля производится расчет динамики всплытия поврежденной ПЛ с учетом массы принятой воды и действий экипажа (рис. 24, см. вклейку):

- продувание ЦГБ;
- наращивание подъемной силы ПЛ за счет увеличения скорости хода и поворота горизонтальных рулей;
- применение водоотливных средств.

В процессе моделирования учитывается текущее фактическое состояние технических средств ПЛ, располагаемые запасы воздуха и мощности ЭУ, а также возможность выполнения членами экипажа противоаварийных действий.

В случае реализации условий возникновения на корабле очагов возгорания (после применения оружия) производится расчет динамики развития пожара (рис. 25) [14, 15]. Определяется температура газовоздушной среды, содержание кислорода, задымленность [16] и другие параметры аварийных помещений с учетом применения личным составом средств пожаротушения. Также моделируется распространение пожара по помещениям корабля. При этом определяется перечень поврежденного огнем оборудования. Для расчета используются интегральные методы моделирования параметров пожара.

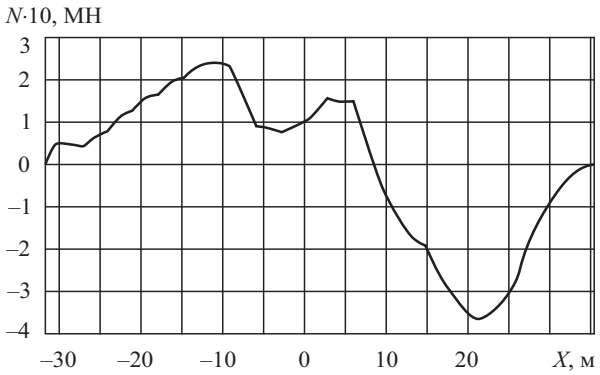


Рис. 20. Распределение перерезывающих сил N_{sw} (МН) по длине корабля

Fig. 20. Distribution of shearing forces N_{sw} (MN) along ship

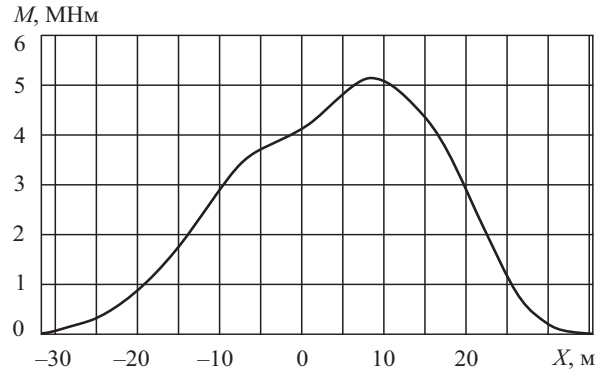


Рис. 21. Распределение изгибающих моментов M_{sw} (МНм) по длине корабля

Fig. 21. Distribution of bending moments M_{sw} (MN·m) along ship

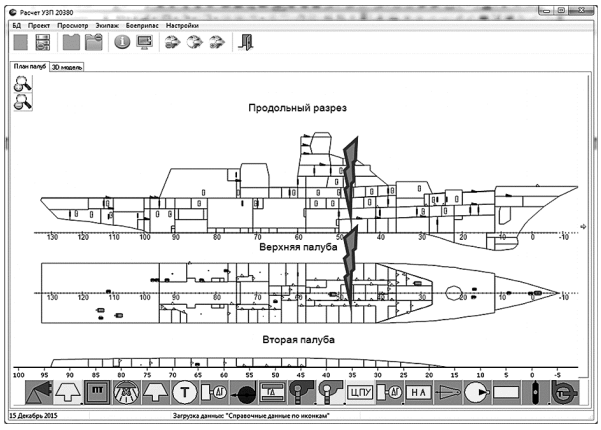


Рис. 19. Определение общей продольной прочности поврежденного корабля

Fig. 19. Determination of global longitudinal strength for a damaged ship

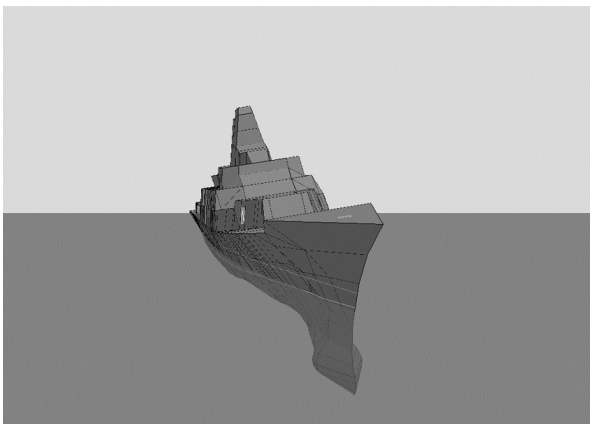


Рис. 23. Текущая посадка поврежденного надводного корабля

Fig. 23. Current trim and draught of damaged surface ship

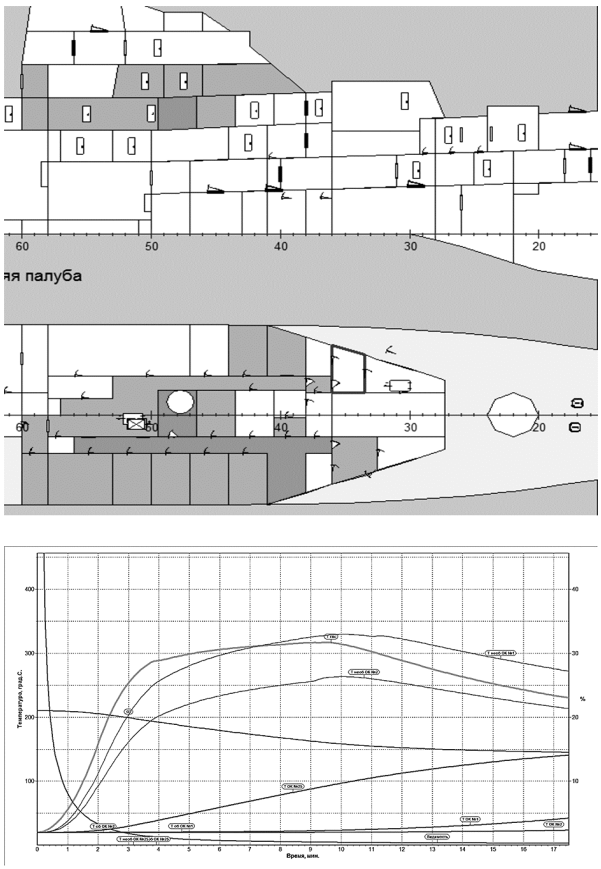


Рис. 25. Динамика развития корабельного пожара
Fig. 25. Propagation dynamics of fire aboard ship

В процессе расчета параметров динамики развития вторичных поражающих факторов (пожар, затопление) производится моделирование противоаварийных действий экипажа. Полное описание всех расчетных методов приведено в [17, 18].

После завершения серии расчетов автоматически формируется график условного закона поражения цели выбранным боеприпасом и выполняется анализ причин, приводящих к достижению заданной категории поражения (рис. 26–28, рис. 27 и 28, см. вклейку).

Заключение
Conclusion

Представленный ПК позволяет решать широкий спектр задач по обеспечению живучести кораблей на всех стадиях проектирования. ПК оценки живучести НК и ПЛ при боевых повреждениях построен с использованием современных методик, алгоритмов, средств программирования и баз данных, отвечает уровню современных мировых требований в области ПО и по своим возможностям не уступает зарубежным аналогам. Поскольку ПК использует результаты натурных экспериментов, проведенных в 60–70-е гг. прошлого века, необходимо выполнение комплекса экспериментальных работ по применению современных образцов боеприпасов и конструкционных материалов.

Комплекс может использоваться для оценки эффективности противокорабельного оружия, оценки пожаровзрывобезопасности и непотопляемости. Решая широкий спектр задач как в комплексе, так и по отдельности, ПК UZP является незаменимым инструментом на всех стадиях проектирования.

Библиографический список

1. РД «Надводные корабли и суда ВМФ. Методы расчета живучести с помощью ЭВМ», Л-83877. Л., 1988.
2. Методика расчетов УЗП по теме А-1-193, Л-55445сс. Л., 1977.

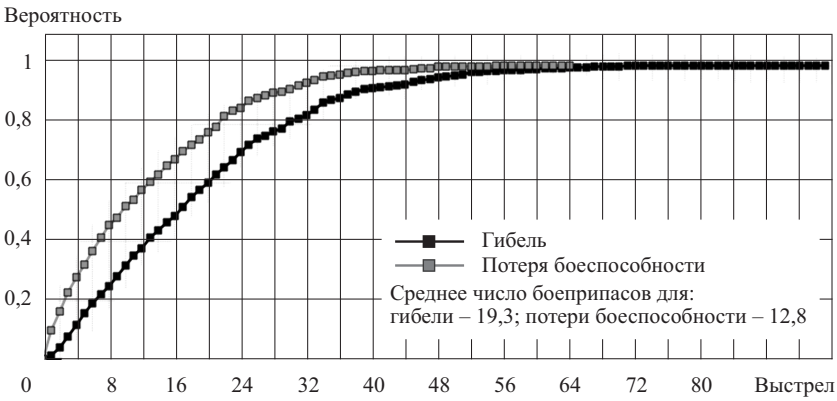


Рис. 26. Условный закон поражения
Fig. 26. Conditional law of engagement

3. QinetiQ / URL: www.qinetiq.com (дата обращения: 12.03.2018).
4. Cetena SpA / URL: www.cetena.it (дата обращения 12.03.2018).
5. Alion Science and Technology / URL: www.alionscience.com (дата обращения: 26.04.2018).
6. Surma Ltd // URL: www.survivability.fi (дата обращения: 26.04.2018).
7. *Piperakis A.S.* An integrated approach to naval ship survivability in preliminary ship design. Department of Mechanical Engineering, UCL / URL: http://discovery.ucl.ac.uk/ 1399992/ (дата обращения: 21.11.2017).
8. «Нормы ударостойкости…» № 063-76.4.-003. СПб.: ФГУП «ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова», 1993.
9. LS-DYNA / URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/ LS-DYNA (дата обращения: 12.07.2018).
10. Autodyn // Ansys / URL: https://www.ansys.com/ products/structures/ansys-autodyn (дата обращения: 12.07.2018).
11. Ansys Autodyn // Ansys / URL: https://cae-expert.ru/product/ansys-autodyn (дата обращения: 12.07.2018).
12. *Короткин Я.И., Ростовцев Д.М., Сиверс Н.Л.* Прочность корабля. Л.: Судостроение, 1974.
13. Руководящий документ «Проверка общей прочности корабля, имеющего боевые повреждения. Методические указания». РД5.76.024-83. арх. № Л-59950с. СПб.: ФГУП «ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова», 1983.
14. Методика расчета температурных режимов пожара в корабельных помещениях. СПб.: ФГУП «ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова», 1997.
15. *Драйздейл Д.* Введение в динамику пожаров. М.: Стройиздат, 1990.
16. Методика определения характеристик задымленности и концентрации газов в газовоздушной среде корабельных помещений при пожаре. СПб.: ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 1995.

References

1. Regulatory Document Naval ships and vessels. Computer-based methods of survivability calculation. L-83877. L.: 1988 (*in Russian*).
2. UZP calculation procedure. Topic A-1-193, Л-55445сс. L.: 1977 (*in Russian*).
3. QinetiQ / URL: www.qinetiq.com.
4. Cetena SpA / URL: www.cetena.it.
5. Alion Science and Technology / URL: www.alionscience.com.
6. Surma Ltd // URL: www.survivability.fi.
7. *Piperakis A.S.* An integrated approach to naval ship survivability in preliminary ship design. Department of Mechanical Engineering, UCL / URL: http://discovery.ucl.ac.uk/1399992.
8. Shock resistance regulations. No. 063-76.4.-003. SPb.: KSRI, 1993 (*in Russian*).
9. LS-DYNA / URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/LS-DYNA.
10. Autodyn // Ansys / URL: https://www.ansys.com/ products/structures/ansys-autodyn.
11. Ansys Autodyn // Ansys / URL: https://cae-expert.ru/ product/ansys-autodyn.
12. *Korotkin Ya., Rostovtsev D., Sivers N.* Ship strength. L.: Sudostroyeniye, 1974 (*in Russian*).
13. Regulatory document Global strength verification of naval ship damaged in battle. Methodical guidelines. RD5.76.024-83, archive No. L-59550s. L.: KSRI, 1983 (*in Russian*).
14. Calculation procedure for temperature conditions of shipboard fires. SPb.: KSRI, 1997 (*in Russian*).
15. *Drysdale D.* An Introduction to Fire Dynamics (Russian translation). M.: Stroyizdat, 1990 (*in Russian*).
16. Calculation procedure for smoke and gas content in gas-air mix of ship spaces in case of fire. SPb.: KSRI, 1995 (*in Russian*).

Сведения об авторах

Ковальчук Сергей Викторович, начальник сектора ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, 44. Тел.: +7 (921) 348-55-88. E-mail: green_1254@pisem.net.

Пушной Евгений Николаевич, начальник сектора ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, 44. Тел.: +7 (921) 946-64-50. E-mail: enp70@mail.ru.

Шедько Сергей Владимирович, начальник отдела ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, 44. Тел.: +7 (921) 302-82-90. E-mail: chedko@mail.ru.

About the authors

Sergey V. Kovalchuk, Head of Sector, Krylov State Research Centre. Address: 44, Moskovskoye sh., St. Petersburg, Russia, post code 196158. Tel.: +7 (921) 348-55-88. E-mail: green_1254@pisem.net.

Yevgeny N. Pushnoy, Head of Sector, Krylov State Research Centre. Address: 44, Moskovskoye sh., St. Petersburg, Russia, post code 196158. Tel.: +7 (921) 946-64-50. E-mail: enp70@mail.ru.

Sergey V. Shedko, Head of Department, Krylov State Research Centre. Address: 44, Moskovskoye sh., St. Petersburg, Russia, post code 196158. Tel.: +7 (921) 302-82-90. E-mail: chedko@mail.ru.

Поступила / Received: 24.04.18
Принята в печать / Accepted: 09.11.18
© Коллектив авторов, 2018