

Приложение 2 к проекту «Подсистема управления водно-энергетическими режимами Зеленчукской ГЭС-ГАЭС

Основные принципы реализации системы численных моделей сверхкраткосрочного прогнозирования стока рек

Технологическая концепция, принятая при разработке комплекса моделей – разработать совокупность методов, приемов и средств, позволяющих получить максимально универсальный, недорогой, легко адаптируемый и тиражируемый программный продукт для решения определенного круга задач в области гидравлического моделирования произвольных речных бассейнов и водохозяйственных систем.

Программное обеспечение должно легко встраиваться в различные промышленные системы по обеспечению гидрологической безопасности на реках и управлению водными ресурсами (в т.ч. для гидроэнергетики, ирригации, регулирования стока и др.). Как дополнительные направления использования программного комплекса могут рассматриваться – научные исследования, выполнение проектных работ, образование.

В связи с этим установлены требования к разработке – сочетание универсальности, достаточной простоты и гибкости в использовании и настройке, устойчивость и надежность применяемых расчетных методов и моделей при вариации, как структуры рассматриваемого объекта, его протяженности, временного шага, так и его параметров.

В связи с этим разработка учитывает известные фундаментальные закономерности из гидрологии и гидравлики водных объектов и водосборов, которые в ряде случаев позволяют упростить структуру и уменьшить число параметров моделей без существенной потери точности в конечном результате. А использование принципа скользящей коррекции позволяет полностью адаптировать модель к текущей гидрологической обстановке и получить достаточно точные результаты с практической точки зрения.

Топологическая структура речного бассейна описывается с помощью ориентированного графа-дерева и представляется в виде набора отдельных элементов, существенных для построения алгоритма моделирования процессов формирования стока на водосборе, руслового добега расходов и прогнозирования уровней на нижерасположенных участках бассейна: элементарные участки водосбора, приуроченные к створам и элементам выделенной гидрографической сети; участки водотоков; гидротехнические сооружения, в том числе пруды и водохранилища, мосты, подводные переходы трубопроводов, дамбы, и др.

«Привязка» вершин графа-дерева осуществляется согласно разработанной схеме кодировки водных объектов и элементов на гидрографической сети, принятой в системе ведения государственного водного кадастра, с учетом местоположения вершин графа по отношению к рассматриваемому водотоку на составленной линейной схеме элементов бассейна.

Принципы выделения и описания элементарных участков системы основаны на определенных критериях и методических положениях, позволяющих получить приемлемый по точности и надежности результат при оптимальных трудовых, временных и материальных затратах, а также, впоследствии - и затратах вычислительных ресурсов при практическом использовании программного обеспечения. Эти подходы разработаны и обоснованы в процессе многолетних исследований по множеству различных водных объектов, выполненные, как самими авторами, так и известными научными учреждениями,

такими как ГГИ, ИВП РАН и др.

В основе структурирования и описания элементов бассейна лежит апробированная на практике методика микромасштабного ландшафтно-гидрологического районирования и типизации элементарных водосборов, как первичных элементов гидрографической сети (стокообразующих элементов).

Содержательный смысл данной методики заключается в выделение первичных замкнутых пространственных единиц (элементарных участков) водосбора и оценка их наиболее информативных репрезентативных параметров. Результатом данной работы является формирование представительной информационной модели водосбора и его моделирование с помощью унифицированного программного модуля.

Структурирование гидрографической сети предусматривает выделение расчетных участков и створов, что определяется топологией гидрографической сети и предварительно выполненным описанием водосбора, а также изменчивостью параметров геометрии русла и поймы, гидравлических и морфометрических характеристик, схемой и расположением притоков различного порядка, наличием гидротехнических сооружений, средств наблюдения (АГК), расположением других важных объектов.

При формализации задачи гидродинамического моделирования выделенные участки водотоков в случае целесообразности детализируются до более мелких расчетных элементов водосбора и участков водотоков при наличии уточняющей информации для получения более надежных результатов.

Моделирование гидрологической системы осуществляется на уровне выделенных элементов с помощью типовых модулей, которые увязываются между собой на основе составленной информационно-топологической модели водосбора.

Для описания процессов инфильтрации и движения влаги в почвенном горизонте использованы широко известные в почвенной гидравлике уравнения просачивания, фильтрации и движения влаги в пористой среде. Основными факторами рассмотренных моделей является тип почв, механический состав почвогрунтов, характер подстилающей поверхности. На основе справочных данных определены параметры пористости, наименьшей влагоемкости, коэффициенты скорости впитывания и фильтрации в зоне аэрации в насыщенном и ненасыщенном влагой почвогрунте.

С учетом текущей информации о влажности почвенного покрова в верхнем почвенном горизонте, осадках и испарении (транспирации) рассчитывается баланс почвенной влаги, водоотдача водосбора в виде двух составляющих: слой поверхностного и слой подпочвенного контактного стока на элементарной площадке, а также потери на испарение, дополнительное увлажнение почвогрунтов и фильтрацию в зону аэрации.

Моделирование динамики поверхностного стока в русловую сеть (кинематико-волновая модель стока с водосбора: модель «поверхностный сток») осуществляется на основе схемы, так называемой модели кинематического каскада с учетом ключевых (стокоопределяющих) показателей водоотдачи водосбора. Интегрирование уравнений кинематической волны осуществляется на основе модифицированной трехточечной неявной схемы для водосбора.

Для моделирования динамики подпочвенного (контактного) стока и его разгрузки в русловую сеть используется такая же схема кинематического каскада, но с отличной от предыдущего случая моделью расчета движения жидкости, учитывая наличие пористой среды и пограничного слоя.

Моделирование динамики поверхностного стока по участкам русловой сети (модель «русловая динамика») осуществляется на основе уравнений кинематической волны в разрезе выделенных расчетных участков с начальными и граничными условиями.

Интегрирование уравнений кинематической волны осуществляется на основе трехточечной неявной схемы для участка русла. Для ее реализации в модели разработан специальный (унифицированный) метод параметрического описания геометрии русла (включая пойменные участки), что позволяет на основе небольшого числа численных характеристик моделировать русловые гидравлические и морфометрические связи с использованием кусочно-гладких кривых (сплайнов).

Параметры численных моделей и входящих в них уравнений определены на основе анализа литературных источников, проектных материалов и детальнх карт местности.

Структура комплекса моделей гидравлики водных объектов и сверхкраткосрочного прогнозирования стока:

1. Блок формирования пространственно-топологической структуры, расчетной схемы речного бассейна и информационной базы:

а) методика и технология предварительного выделения и описания характеристик системы расчетных элементов гидрографической сети и водосбора (пространственных, морфометрических, гидравлических, гидрофизических и др.):

- системы водотоков различного порядка;
- расчетных створов и участков водотоков;
- типизированных участков водосбора бассейна (элементарных водосборов), приуроченных к выделенной гидрографической сети и расчетным створам;
- гидротехнических сооружений и прочих объектов в русле и на водосборной площади, влияющих на характер поверхностного стока.

б) методика и технология формирования информационных моделей элементов пространственно-топологической структуры бассейна с учетом их индивидуальных характеристик и пространственно-временных взаимосвязей.

2. Блок моделирования поверхностного стока для участков водосбора (элементарных водосборов) различного типа.

Технологии данного блока:

- использование информации о текущих осадках, температуре, влажности, атмосферном давлении (получаемых от АГК и ДМРЛ) и моделирование компьютерных территориальных карт: температуры; влажности атмосферы; распределения осадков в пределах водосборного бассейна - (*модель «карты температуры», модель «влажность атмосферы», модель «карты осадков»*)
- использование данных АГК за предшествующий и текущий периоды для определения базисного (грунтово-подземного) стока на текущий момент в бассейне – *модель «базисный сток»*;
- моделирование взаимодействия осадков и водосбора: инфильтрация, динамика впитывания, фильтрация в зону аэрации, отток гравитационных вод, изменение влажности почвогрунтов; определение величины и структуры стокообразующих осадков и водоотдачи водосборов в виде двухфазного процесса: поверхностного и подпочвенного («контактного») стока (*модель: «инфильтрация и водоотдача»*);

- моделирование динамики поверхностного стока в русловую сеть (кинематико-волновая модель стока с водосбора: модель «поверхностный сток»);
 - моделирование динамики подпочвенного (контактного) стока и его разгрузки в русловую сеть (динамико-фильтрационная модель: «контактный сток»).
3. Блок моделирования русловой гидравлики:
- моделирование кинематической волны распространения поверхностного стока по участкам русловой сети (модель «русловая динамика»);
 - моделирование влияния русловых гидротехнических сооружений на динамику поверхностного (руслового) стока (модель «сооружения»);
 - моделирование параметров возможных площадей затопления (модель «площади затопления»);
 - оценка вероятностного риска прорыва плотин и гидродинамических аварий на отдельных сооружениях и моделирование последствий таких событий – распространение волны прорыва (модель «аварии»).

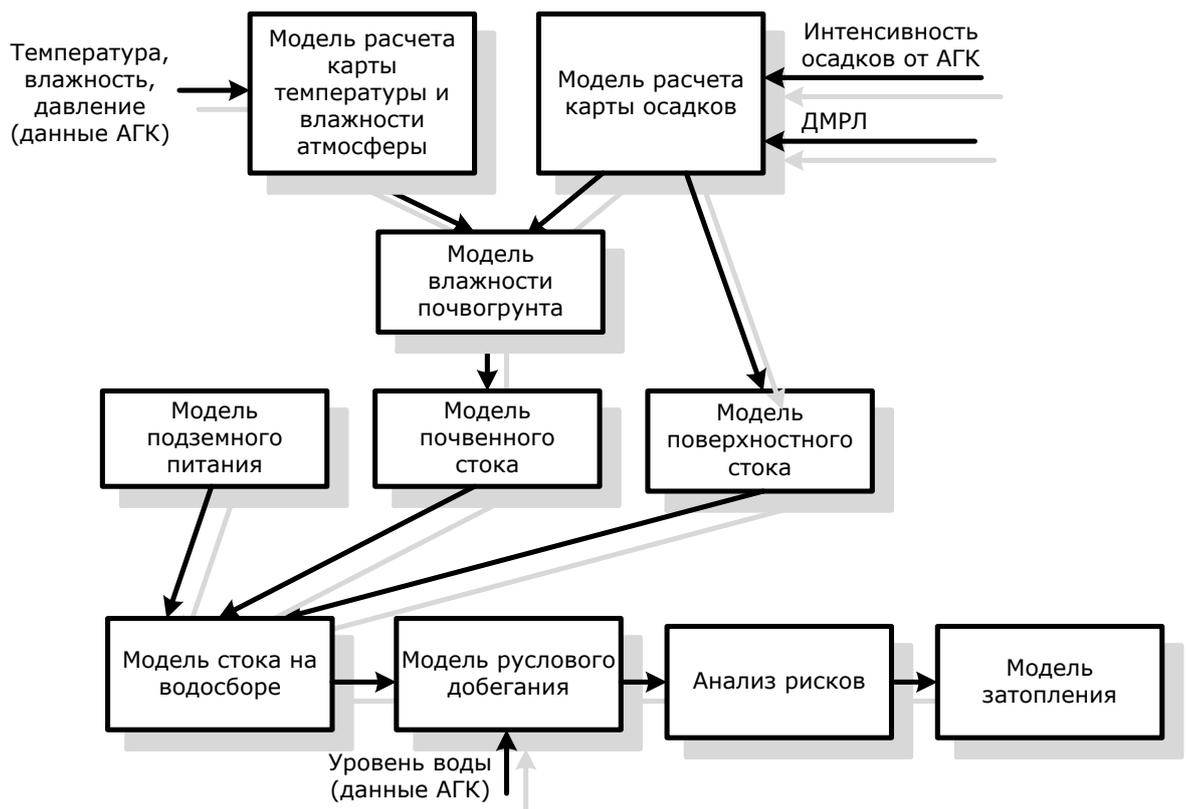


Рис.2 Реализуемая модель гидродинамики поверхностного стока

СХЕМА КОМПЛЕКСА МОДЕЛЕЙ СВЕРХКРАТРОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СТОКА

