



Комплексный подход к решению задач водоотведения в IndorCAD

Петренко Д.А., технический директор ООО «ИндорСофт» (г. Томск)
Андрющенко Д.П., разработчик ООО «ИндорСофт» (г. Томск)
Шаймарданов М.Ш., разработчик ООО «ИндорСофт» (г. Томск)

Рассматриваются возможности САПР IndorCAD в части анализа обеспеченности водоотвода и расчёта зон водосбора с учётом искусственных средств водоотведения.

Одной из важнейших задач при проектировании линейных сооружений, таких как автомобильные или железные дороги, а также площадных объектов (внутриквартальные проезды, парки, скверы, объекты дорожного сервиса) является обеспечение водоотвода с проектируемой территории [1]. Неотведённая вода, скапливаясь в виде луж, доставляет массу неудобств пешеходам и существенно снижает безопасность движения транспортных средств. Кроме того, при наличии даже небольших трещин в покрытии дороги или тротуара вода, попавшая в трещину, продолжит разрушать покрытие, если температура окружающей среды опустится ниже 0°C. Таким образом, небезопасный водоотвод негативно сказывается как на безопасности движения, так и на стоимости содержания объекта. В связи с этим решение задачи обеспечения поверхностного водоотвода является обязательной составляющей любого проектного решения.

Многие мероприятия по обеспечению поверхностного водоотвода уже заложены в СНиПе 2.05.02–85* [2] в виде пунктов правил, простое соблюдение которых позволяет получать проектную поверхность, с которой вода будет уходить. Это нормы на поперечные уклоны, ограничения на минимальный продольный уклон, требования к проектированию пилообразного

профиля по лотку на участках улиц, где продольный уклон менее 4‰ и т.д.

Однако правила, прописанные в СНиПе, лишь регламентируют мероприятия по отведению воды с «рабочих» поверхностей (проезжих частей, тротуаров) и придорожной полосы (кюветы). Для понимания же как, куда и сколько воды будет перетекать при, например, затяжном дожде или сильном ливне, нужны инструменты для анализа модели рельефа с учётом искусственных средств водоотведения (дождеприёмные колодцы, водопропускные трубы).

Существуют разные методы математического моделирования стоков с водосборов [3–7]. Наиболее точный из них — моделирование перемещения воды методом конечных элементов на основе законов гидродинамики [8]. Однако этот метод имеет два существенных недостатка. Во-первых, очень большое, неприемлемое для применения в большинстве случаев время расчёта. В наше время инженеру нужны интерактивные инструменты, умеющие в реальном времени реагировать на изменение поверхностей [9]. Второй недостаток метода конечных элементов — ориентированность данного метода на регулярные модели поверхности, которые практически не применяются при проектировании линейно-протяжённых объектов. Альтернативой

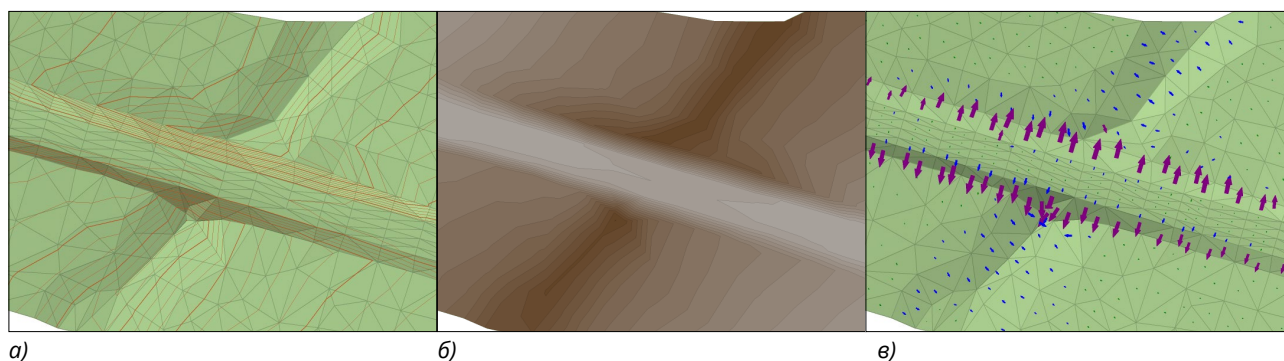


Рис. 1. Базовые инструменты анализа водоотвода:
а) изолинии, б) изоконтур, в) градиенты стоков

могут быть приближённые (учитывающие меньшее количество факторов) алгоритмы расчётов, основанные на анализе геометрии модели поверхности.

Базовые инструменты

Практически все САПР, ориентированные на проектирование линейных сооружений и площадных объектов, содержат базовые инструменты для анализа модели рельефа: это хорошо всем знакомые изолинии (рис. 1а), изоконтур (рис. 1б), а также стрелки уклонов поверхности, которые показывают градиент стока в каждом треугольнике модели рельефа (рис. 1в).

Однако с помощью таких инструментов произвести визуальный анализ рельефа на предмет обеспечения водоотвода можно лишь локально, на небольшом участке, поскольку удержать в голове всю «картину», чтобы комплексно оценить водоток на рельефе человек не в состоянии.

Существенно более развиты инструменты анализа водоотведения в САПР IndorCAD компании «ИндорСофт». Помимо перечисленных базовых инструментов, в IndorCAD реализован расчёт «зон затопления». Программа анализирует модель рельефа и вычисляет участки, которые останутся под водой, если «пройдёт сильный дождь». Алгоритм расчёта допускает некоторые упрощения физики процесса: предполагается, что вода обладает абсолютной текучестью, а также совершенно не умеет впитываться в поверхность и испаряться с неё. Из-за отсутствия информации о рельефе за пределами модели поверхности предполагается, что вода может безнаказанно «стекать» с границ поверхности.

Зоны затопления отображаются на плане и в 3D-виде, а также в сечениях (профилях), предупреждая инженера о возможности скопления воды на том или ином участке (рис. 2). Наглядная визуализация зон затопления позволяет легко выявить участки поверхности с небезопасным водоотводом и помогает опреде-

лить необходимые инженерные мероприятия по борьбе с затоплением.

Расчёт русел

В девятом поколении программных продуктов «ИндорСофт» [10] инструменты анализа поверхности пополнились возможностью расчёта и отображения «русел» — рёбер треугольников поверхности, по которым осуществляется сток воды. При расчёте русел дополнительно рассчитывается объём воды, который будет протекать по рёбрам поверхности, образующим «ложбины». В результате инженер получает изображение плана с наглядным отражением картины перемещения водных масс по площади водосбора (рис. 3).

Используя новую возможность, можно не только рассчитать участки, где останется вода после прекращения дождя, но и спрогнозировать места основных потоков воды, которые могут размывать (разрушать) поверхность склонов, а также принять меры к недопущению размывов откосов и кюветов.

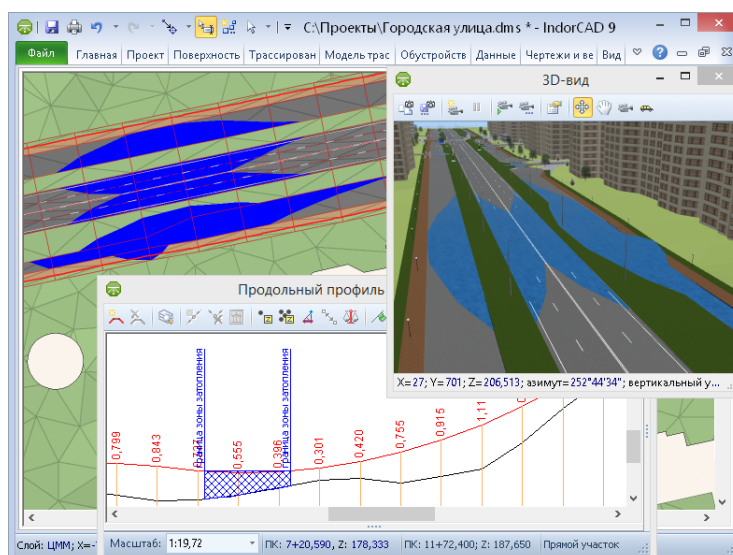


Рис. 2. Отображение зон скопления воды в разных проекциях

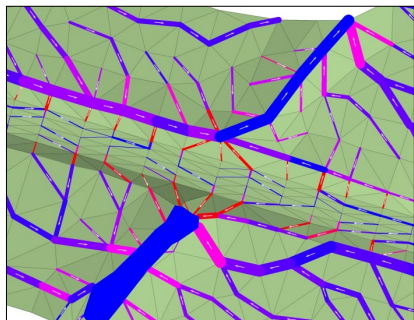


Рис. 3. Визуализация водотоков в плане

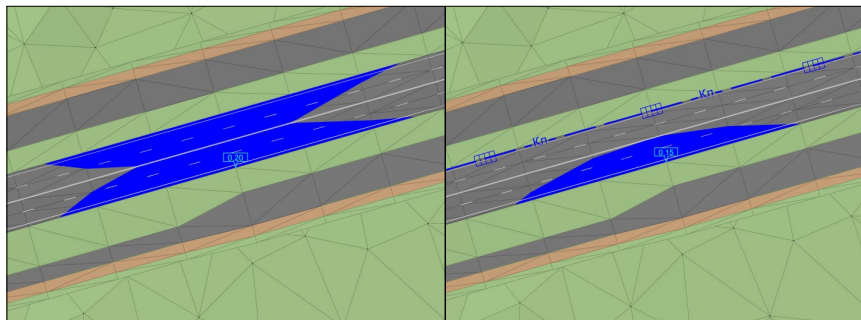


Рис. 4. Влияние объектов ливневой канализации на расчёт зон затопления: а) неотведённая вода на проезжей части без ливневой канализации, б) отведение воды с одной стороны проезжей части с помощью ливневой канализации

Наглядная визуализация зон затопления позволяет легко выявить участки поверхности с необеспеченным водоотводом и помогает определить необходимые инженерные мероприятия по борьбе с затоплением.

Для анализа участков, подверженных размыву, важен не только объём воды, проходящий по рёбрам модели рельефа, но и скорость потока, зависящая от уклона поверхности. Поэтому система IndorCAD при выводе результатов анализа отображает потоки как разными толщинами (в зависимости от объёма воды), так и разными цветами (в зависимости от скорости потока).

Учёт средств водоотведения

Описанные выше инструменты анализа зон затопления позволяют увидеть картину водотока по рельефу. Но важно не только уметь оценивать водоток, но и иметь возможность видеть, как изменит ситуацию присутствие в модели тех или иных средств водоотведения.

Важным расширением инструмента расчёта зон затопления является возможность учёта искусственных средств водоотведения, таких как колодцы ливневой канализации и водопропускные трубы. Где следует располагать такие средства — подскажет сама программа. IndorCAD показывает, где находится самое глубокое место в местах скопления воды и подписывает глубину зоны затопления.

Учёт дождеприёмных колодцев делается с допущением, что колодец «умеет» отводить воду в неограниченном количестве, поэтому уровень воды в «луже», рассчитанной просто по модели рельефа, будет понижен до отметки решётки колодца (рис. 4).

Дополнительно учитываются водопропускные трубы, принадлежащие поверхности: если положить водопропускную трубу входным оголовком в потенциальную «лужу», а выходным — на

участок поверхности, с которого водоотвод обеспечен, уровень воды в «луже» будет понижен до отметки входного оголовка (рис. 5), а потоки, которые приводили к образованию лужи, появятся на выходном оголовке трубы.

Редактор водопропускных труб

Водопропускные трубы давно используются в IndorCAD. Поскольку труба — это не просто линия в плане, а трёхмерный объект, имеющий третью координату (отметки оголовков), программа автоматически вычисляет отметку пересечения трубы с осью трассы, благодаря чему трубы отображаются в редакторе и на чертеже продольного профиля. По точкам пересечения труб с осями линейно-протяжённых объектов формируются ведомости существующих водопропускных труб. Похожим образом могут создаваться и проектные трубы. Отличие лишь в том, что проектную трубу нельзя разместить в произвольном месте на плане, поскольку координаты оголовков трубы определяются её пикетажным положением на трассе, углом пересечения оси и расстояниями от оси трассы до оголовков.

Некоторые дополнительные параметры (диаметр, число очков, материал и пр.), которые можно задать в свойствах как существующих, так и проектных водопропускных труб, оказывают влияние на подписи к трубам при их отображении на плане и в профилях. При желании легко получить чертёж сечения поверхности по водопропускной трубе.

В 2014 году в IndorCAD планируется включить мощный специализированный редактор водопропускных труб, позволяющий при необ-

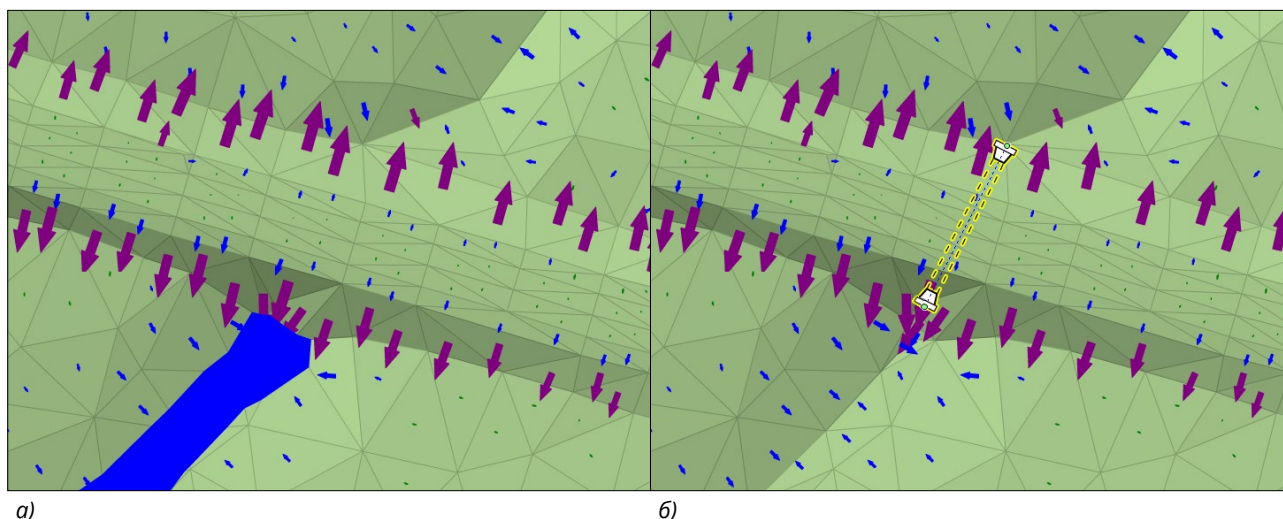


Рис. 5. Учёт водопропускных труб при расчёте зон затопления:
а) без водопропускного сооружения, б) с водопропускным сооружением

ходимости гораздо более детально моделировать водопропускные трубы (включая оголовки) и строить полноценную трёхмерную модель водопропускного сооружения непосредственно в системе проектирования автомобильных дорог. Редактор позволяет создавать несколько вариантов конструкции одной водопропускной трубы, формировать чертежи создаваемой конструкции. Информация о насыпи берётся автоматически из модели проектной поверхности, в которой располагается моделируемый объект.

Редактор водопропускных труб будет также доступен как самостоятельное приложение IndorCulvert, в котором можно моделировать трубы и формировать чертежи (план, сечение, оголовки). В одном файле проекта могут быть собраны несколько объектов труб, каждый из которых может иметь несколько вариантов конструкций трубы (рис. 6). При использовании редактора

в качестве отдельного приложения по каждому объекту необходимо ввести информацию о насыпи, в которой проходит труба.

Заключение

Разработанные и реализованные в IndorCAD алгоритмы расчёта стоков с водосборов позволяют решать различные задачи при проектировании объектов промышленного, гражданского и транспортного строительства: от моделирования в режиме реального времени ливневого стока и вычисления площадей водосборов до проектирования элементов систем водоотведения, что позволяет более полно подойти к процессу проектирования в рамках одного программного продукта. ■

Литература:

1. Федотов Г.А., Поспелов П.И. Изыскания и проектирование автомобильных дорог. В 2 кн. Кн. 1: Учебник. М.: Высш. шк., 2009. 646 с.
2. СНиП 2.05.02-85*. Автомобильные дороги. М., 2004.
3. Киселёв П.Г. Справочник по гидравлическим расчётам. М.: Гос. энергетическое изд-во, 1957.
4. Кузник И.А., Луконин Е.И., Пилипенко В.Я. Гидрология и гидрометрия. Л.: Гидрометеоиздат, 1974.
5. Международное руководство по методам расчёта основных гидрологических характеристик. Л.: Гидрометеоиздат, 1989.
6. СП 33-101-2003 Определение основных расчётных гидрологических характеристик. М., 2004.
7. Коваленко В.В., Викторова Н.В., Гайдукова Е.В. Моделирование гидрологических процессов. СПб.: РГГМУ, 1993.
8. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.
9. Бойков В.Н. САПР АД — перспективы развития // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2013. №1(1). С. 6–9.
10. Петренко Д.А. Новое поколение программных продуктов ИндорСофт // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2013. №1(1). С. 10–17.

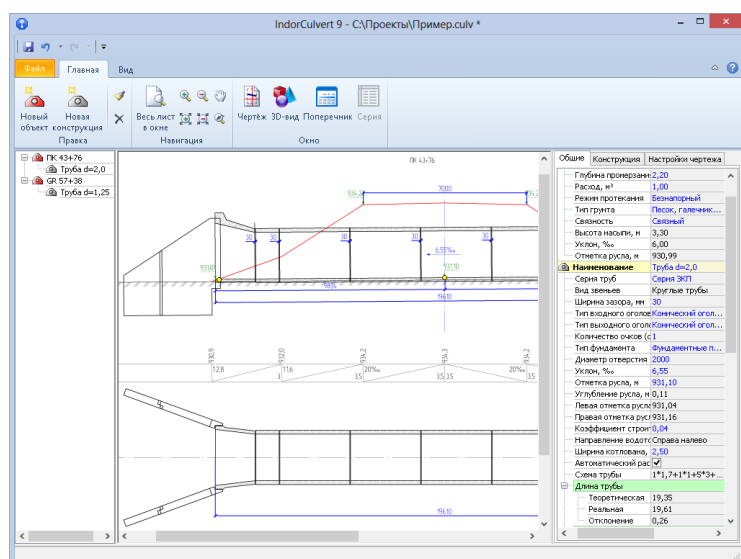


Рис. 6. Редактор водопропускных труб IndorCulvert