

УДК 625.042.1

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2020.90.0.32

## УКРРВС20: АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАСЧЁТ ДОРОЖНЫХ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ

Мусиенко И. В., Гунько И. С.

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

**Аннотация.** Рассмотрена проблема автоматизированного расчёта дорожных водопропускных сооружений в современных программах. Был проведен анализ современных программ по расчёту дорожных труб, рассмотрены их возможности. Для расчёта ливневого стока предложено использовать формулу МАДИ/Союздорпроект с детализированными картами для Украины. Приводится актуальная методика расчёта дорожных водопропускных труб с анализом возможности автоматизации ее составляющих. Разработан алгоритм расчёта дорожных водопропускных труб. Упор сделан на расчёт ливневого и талого стока. Подбор диаметра трубы производится на основании максимального расхода по табличным данным. Создан интерфейс программы автоматизации расчёта дорожных водопропускных труб. Он делит работу проектировщика на три этапа: формирование общих исходных данных, формирование исходных данных для расчёта ливневого стока, формирование исходных данных для расчёта талого стока, расчёт и анализ ливневого стока, расчёт и анализ талого стока, подбор необходимого диаметра дорожной водопропускной трубы.

**Ключевые слова:** автоматизированный расчёт, дорожная водопропускная труба, ливневой сток, талый сток, алгоритм.

### Введение

Автоматизированное проектирование играет очень важную роль в современном производстве всех видов проектной документации. Автоматизированные расчёты коснулись и процесса проектирования дорожных водопропускных труб.

Проектирование дорожных водопропускных труб включает в себя следующие задачи [1]:

- расчёт максимальных расходов ливневого и талого стоков;
- гидравлический расчёт отверстий труб с определением величины подпора перед трубой и скорости воды в сжатом сечении трубы;
- определение минимальной высоты насыпи над трубой;
- определение длины трубы и её конструирование;
- расчёт и проектирование укрепления отводящего русла и откосов насыпи;
- определение объёмов и стоимости работ.

Кроме того, существуют разные методики решения вышеперечисленных задач. Например, для расчётов в Украине необходимо использовать действующие украинские нормы. Всё это необходимо учитывать при автоматизированном расчёте дорожных водопропускных труб.

### Анализ программ по автоматизированному расчёту дорожных водопропускных труб

Были проанализированы следующие программы по автоматизированному расчёту дорожных водопропускных труб: «CREDO ГРИС 2.1» (СП «Кредо-Диалог» г. Минск [2]), IndorCulvert (ООО «ИндорСофт» г. Томск [3]), «ТопоматикRobug – Искусственные сооружения» (ООО НПФ «Топоматик» г. Санкт-Петербург [4]) (рис. 1).

Среди вышеперечисленных только одна программа поддерживает украинские нормы – это программа компании Кредо-Диалог [2].

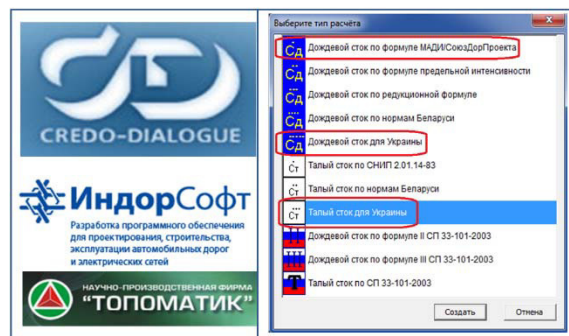


Рис. 1. Анализ программ по автоматизированному расчёту дорожных водопропускных труб

Программа ГРИС включает две автономные программы: ГРИС\_С и ГРИС\_Т. Они позволяют выполнить расчёт дождевых стоков и талых вод, а также рассчитать пропускную способность труб и малых мостов. Исходными данными программы ГРИС\_С служат материалы полевых изысканий. Результатами расчёта являются отчёты в формате RTF. Результаты расчёта в программе ГРИС\_С могут быть исходными данными для расчёта в программе расчёта пропускной способности малых искусственных сооружений ГРИС\_Т [2].

В программе CREDO ГРИС 2.1 в качестве украинских нормативов используются труды научно-исследовательского института УкрГМИ [5]. В программе есть также возможность расчёта ливневого стока по формуле МАДИ/Союздорпроект.

В целом, направление автоматизированного расчёта дорожных водопропускных труб для Украины является актуальным.

#### Современная методика расчёта максимального расхода воды от ливневого и талого стока

Выделяют два отдельных расчёта расхода воды: расчёт ливневого и расчёт талого стока.

На данный момент в Украине, как и в других странах бывшего СССР, актуальной является методика расчёта ливневого стока по формуле МАДИ/Союздорпроект. В программе CREDO ГРИС 2.1 картографический материал представлен для территории СССР. Более детализированные карты для Украины приведены в «Справочнике дорожника» [6]. Последний источник и был взят за основу автоматизированного расчёта дорожных водопропускных труб, согласно которому максимальный расход воды от ливневого стока ( $Q_3$ ), м<sup>3</sup>/с [6]

$$Q_3 = 16,7 a_{\text{ч}} k_t F \alpha \phi, \quad (1)$$

где  $a_{\text{ч}}$  – средняя интенсивность ливня, продолжительностью 1 час, мм/мин, которая зависит от района и вероятности превышения паводка ИП, %;  $k_t$  – коэффициент перехода от интенсивности ливня, продолжительностью 1 час, к расчётной интенсивности;  $F$  – площадь водосбора, км<sup>2</sup>;  $\alpha$  – коэффициент расходов стока, который зависит от вида грунта на поверхности водосбора;  $\phi$  – коэффициент редукации, учитывающий неполноту стока.

Согласно [7] эта формула носит название МАДИ-77 и разработана Андреевым А. В. и Шахидовым А. Ф. для водосборных бассейнов до 100 км<sup>2</sup> [7]. В формуле используются данные Союздорпроекта по районированию СССР и данные СН 435-72 [8].

Средняя интенсивность ливня, продолжительностью 1 час  $a_{\text{ч}}$ , зависит от ливневого района и вероятности превышения. Ливневой район определяется по карте [6], а вероятность превышения зависит от типа сооружения и категории дороги [9]. Таблица для определения интенсивности ливня, продолжительностью 1 час, имеет дискретный характер (нет необходимости в интерполяции), поэтому автоматизация определения этого показателя не вызывает сложностей.

Сложнее обстоит дело с нахождением коэффициента перехода от интенсивности ливня, продолжительностью 1 час, к расчётной интенсивности  $k_t$ , которого ещё не было в Инструкции по расчёту ливневого стока воды с малых бассейнов (ВСН 63-76) [10]. В поздних источниках есть два подхода: определение по формулам Соколовского Д. Л. или по справочной таблице [7]. Оба подхода позиционируются как идентичные, но расчёты опровергают эту «идентичность». При этом она «кочует» из одного учебника в другой десятки лет [11].

Такая же ситуация наблюдается и со многими расчётными номограммами, когда результаты расчётов по предлагаемым формулам не сходятся с результатами, получаемыми по номограммам (например, это явление распространено при расчётах нежёстких дорожных одежд). Семилетний опыт автоматизации инженерных расчётов при обсуждении этого вопроса со специалистами показывает, что предпочтение следует отдавать номограммам и табличным данным, нежели их формульным аналогам, хотя это значительно усложняет процесс автоматизации. Таким образом, целесообразно для расчёта коэффициента перехода от интенсивности ливня, продолжительностью 1 час, к расчётной интенсивности  $k_t$  для автоматизации использовать табличные данные с линейной интерполяцией. Исходными данными для определения коэффициента  $k_t$  в этой таблице служат длина и уклон лога, которые измеряются по топографической карте или с использованием средств систем автоматизированного проектирования по

цифровой модели местности.

И наоборот, расчёт коэффициента редукции, учитывающего неполноту стока по данным Союздорпроекта для площадей до 100 км<sup>2</sup>, может быть выполнен по формуле (2), причём, результаты будут сходиться с табличными данными [7, 10]:

$$\phi = \frac{1}{\sqrt[4]{10F}}. \quad (2)$$

Площадь водосбора  $F$  также определяется по топографической карте либо с использованием средств систем автоматизированного проектирования по цифровой модели местности.

Нахождение коэффициента расходов стока  $\alpha$  зависит от вида грунта на поверхности водосбора, определяется по табличным данным [7, 10] и не вызывает затруднений при автоматизации.

Максимальный расход воды от снеготаяния определяем по формуле [6], м<sup>3</sup>/с:

$$Q_T = \frac{k_0 h_{\text{расч}} F}{(F + 1)^n} \delta_1 \delta_2, \quad (3)$$

где  $k_0$  – коэффициент дружности половодья;  $n$  – показатель степени;  $F$  – площадь водосбора, км<sup>2</sup>;  $h_{\text{расч}}$  – расчётный слой суммарного стока;  $\delta_1$  – коэффициент, учитывающий уменьшение расходов при наличии на поверхности озёр;  $\delta_2$  – коэффициент, учитывающий уменьшение расходов за счёт лесов и болот.

В данной методике расчёта сложности автоматизации возникают только при нахождении модульного коэффициента при гамма-параметрическом законе распределения. Было принято решение по дигитализации функций гамма-параметрического закона распределения.

### Автоматизация расчёта дорожных водопропускных труб

Автоматизация расчёта дорожных водопропускных труб была выполнена на языке C# с использованием технологии WindowForm.NET. Автоматизация состоит из этапов алгоритмизации, кодирования и создания интерфейса.

Алгоритм расчёта расхода ливневого стока состоит из 3 этапов:

– формирование общих исходных данных;

– формирование исходных данных для расчёта ливневого стока;

– формирование результатов расчёта.

Формирование общих исходных данных состоит из 2 этапов:

– назначение площади водосборного бассейна;

– назначение вероятности превышения согласно таблице 6.2 ДБН В.2.3-22 [9].

Формирование исходных данных для расчёта ливневого стока состоит из 4 этапов:

– назначение ливневого района с помощью справочного окна;

– назначение длины лога;

– назначение уклона лога;

– назначение вида грунта.

Формирование результатов расчёта состоит из 5 этапов:

– расчёт интенсивности ливня, продолжительностью 1 час;

– расчёт коэффициента  $k_t$ ;

– расчёт коэффициента расхода стока, который зависит от площади водосбора и вида грунта;

– расчёт коэффициента редукции;

– расчёт максимального расхода от ливневого стока.

Алгоритм расчёта расхода талого стока состоит из 3 этапов:

– формирование общих исходных данных;

– формирование исходных данных для расчёта талого стока;

– формирование результатов расчёта.

Формирование общих исходных данных состоит из 2 этапов:

– назначение площади водосборного бассейна;

– назначение вероятности превышения согласно таблице 6.2 ДБН В.2.3-22 [9].

Формирование исходных данных для расчёта ливневого стока состоит из 7 этапов:

– назначение дорожно-климатической зоны с помощью справочного окна;

– назначение слоя стока с помощью справочного окна;

– назначение поправочного коэффициента, который зависит от вида рельефа и почвы;

– назначение коэффициента вариации слоя стока с помощью справочного окна;

– назначение озёрности;

– назначение площади лесов;

– назначение площади болот.

Формирование результатов расчёта состоит из 6 этапов:

– расчёт коэффициента дружности половодья;

- расчёт показателя степени  $n$ ;
- расчёт модульного коэффициента;
- определение расчётного слоя стока;
- расчёт коэффициента  $\delta_2$ ;
- расчёт максимального расхода от снего-таяния.

Заключительным этапом работы в программе является сравнение величин расходов ливневого и талого стока, выбор большего значения и подбор по табличным данным диаметра дорожной водопропускной трубы.

Создание листингов программы производилось в среде Microsoft Visual Studio. Пример части метода для нахождения коэффициента перехода от интенсивности ливня, продолжительностью 1 ч, к расчётной интенсивности приведен на рис. 2.

```
//метод для дигитализации табл. 9
public double Getkt(double slope, double log,
double[,] tab9, double[,] slopeMatrix, double[,] logMatrix)
{
    double kt1 = 0;
    double kt2 = 0;
    double kt = 0;
    //1
    if (slope >= slopeMatrix[0, 0] && slope < slopeMatrix[0, 1])
    {
        //1.1
        if (log >= logMatrix[0, 0] && log < logMatrix[1, 0])
        {
            kt1 = tab9[0, 0] + (slope - slopeMatrix[0, 0]) *
                (tab9[0, 1] - tab9[0, 0]) /
                (slopeMatrix[0, 1] - slopeMatrix[0, 0]);
            kt2 = tab9[1, 0] + (slope - slopeMatrix[0, 0]) *
                (tab9[1, 1] - tab9[1, 0]) /
                (slopeMatrix[1, 1] - slopeMatrix[1, 0]);
        }
    }
}
```

Рис. 2. Часть метода для нахождения коэффициента перехода от интенсивности ливня, продолжительностью 1 час, к расчётной интенсивности

Интерфейс программы расчёта водопропускных сооружений УКРРВС 19 состоит из трёх блоков исходных данных: общие исходные данные, исходные данные для расчёта ливневого стока, исходные данные для расчёта талого стока (рис. 3) и двух блоков результатов ливневого и талого расчёта (рис. 4).

В помощь проектировщику в программе подгружается необходимый справочный материал (рис. 5) и комбобоксы (рис. 6) с дискретными заданными значениями, которые облегчают выбор пользователя.

УКРРВС 19

1. Загальні вхідні дані

1.1 Площа водозбору, кв.км 0.56

1.2 Імовірність перевищення, % 3

2. Вхідні дані для витрати зливого стоку

2.1 Зливовий район 5

2.2 Довжина улоговини, км 0.75

2.3 Ухил улоговини, 0/00 16

2.4 Вид ґрунту та поверхні водозбірної басейну Чорнозем, каштанові ґрунти, лес, карбонатні ґрунти

3. Вхідні дані для витрати талого стоку

3.1 Дорожньо-кліматична зона III/IV (Cs=2Cv)

3.2 Шар стоку, мм 60

3.3 Поправочний коефіцієнт Рівнинний рельєф, глинистий та суглинний ґрунт (k1 = 1)

3.4 Коефіцієнт варіації шару стоку 0.7

3.5 Озерність, % 2-5% (δ1 = 0.9)

3.6 Ліси, кв.км 0.012

3.7 Болота, кв.км 0.008

Рис. 3. Блоки формирования исходных данных

Розрахунок витрати зливого стоку

Результати розрахунків по зливовому стоку

1. Інтенсивність зливи тривалістю 1 год	0.75
2. Коефіцієнт kt	10.0805328807187
3. Коеф. витрати стоку залежно від площі і виду ґрунту	0.662
4. Коефіцієнт редукації	0.6500593260
5. Максимальна витрата від зливого стоку	9.2725237760

Підбір діаметру отвору труби

Розрахунок витрати талого стоку

Результати розрахунків по талому стоку

1. Коефіцієнт дружності повені	0.02
2. Показник ступеня	0.25
3. Середній багаторічний шар стоку	60
4. Коефіцієнт варіації шару стоку повені	0.875
5. Модульний коефіцієнт	3.18
6. Розрахунковий шар стоку	190.8
7. Коефіцієнт δ2	0.94
8. Максимальна витрата від сніготоплення	1.62

Рис. 4. Блоки результатов расчётов

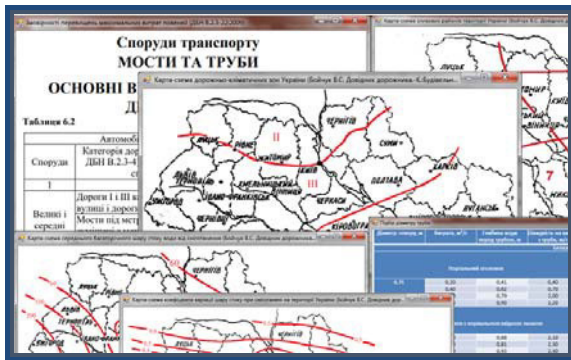


Рис. 5. Справочные материалы программы

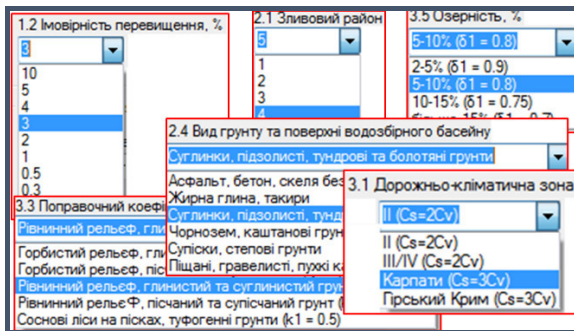


Рис. 6. Комбобоксы программы

### Выводы

Была решена проблема автоматизированного расчёта дорожных водопропускных труб с использованием актуальных для Украины методик. Решение этой проблемы было имплементировано через конкретный программный продукт УКРРВС 19, в котором соблюдена основа данного расчёта. Первая версия этой программы значительно уступает уже имеющимся программным продуктам, однако есть большое поле для дальнейшего развития. Уже сейчас данная версия может быть использована в учебных целях.

### Литература

1. Федотов Н. Г., Кривых И. В. Обзор программных продуктов для проектирования водопропускных труб. *САПР и ГИС автомобильных дорог*. 2015. № 2(5). С. 86–93. DOI: 10.17273/CADGIS.2015.2.13.
2. Официальный сайт СП «Кредо-Диалог». URL: <http://www.credo-dialogue.ru/produkty/korobochnye-produkty/207-gris-naznachenie.html/> (дата обращения: 1.04.2020).
3. Официальный сайт ООО «ИндорСофт». URL: <https://www.indorsoft.ru/> (дата обращения: 1.04.2020).
4. Официальный сайт ООО НПФ «Топоматик». URL: <http://www.topomatic.ru/> (дата обращения: 1.04.2020).
5. Официальный сайт Украинского гидрометеорологического института УкрГМИ. URL: <https://uhmi.org.ua/> (дата обращения: 1.04.2020).

6. Бойчук, В. С. Довідник дорожника. Київ: Будівельник, 1995. 312 с.
7. Большаков В. А., Курганович В. А. Гидрологические и гидравлические расчёты малых дорожных сооружений. Київ: Вища школа, 1983. 280 с.
8. СН 435-72. Указания по определению расчётных гидрологических характеристик. [Введ. 1972-10-01]. – Ленинград: Гидрометеоздат. Госстрой/СССР, 1972. 32 с. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293793/4293793705.pdf> (дата обращения: 1.04.2020).
9. ДБН В.2.3-22. Мости та труби. Основні вимоги проектування. Споруди транспорту. [Введ. 2009-11-11]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. 73 с.
10. ВСН 63-76. Инструкция по расчёту ливневого стока воды с малых бассейнов [Введ. 1976-12-01]. Москва: Минтрансстрой/СССР, 1976. 114 с.
11. Бабков В. Ф., Андреев О. В. Проектирование автомобильных дорог. Москва: Транспорт, 1987. 368 с.

### Reference

1. Fedotov N. G., Krivykh I. V. Obzor programnykh produktov dlya proektirovaniya vodopropusknykh trub. [Overview of culvert design software products]. *SAPR i GIS avtomobil'nykh dorog*. 2015. № 2(5). S. 86–93. DOI: 10.17273/CADGIS.2015.2.13. [in Russian].
2. Official website SP «Kredo-Dialog». URL: <http://www.credo-dialogue.ru/produkty/korobochnye-produkty/207-gris-naznachenie.html/> (access date: 1.04.2020).
3. Official website ООО «IndorSoft». URL: <https://www.indorsoft.ru/> (access date: 1.04.2020). [in Russian].
4. Official website ООО НПФ «Топоматик». URL: <http://www.topomatic.ru/> (access date: 1.04.2020). [in Russian].
5. Official website Ukrainського gidrometeorologicheskogo instituta UkrGMI. URL: <https://uhmi.org.ua/> (access date: 1.04.2020). [in Russian].
6. Bojchuk, V. S. Dovidnik dorozhnika. [Road Engineer Handbook]. Київ: Budivel'nik, 1995. 312 s. [in Ukrainian].
7. Bol'shakov V. A., Kurganovich V.A. Gidrologicheskie i gidravlicheskie raschyoty mal'yx dorozhnykh sooruzhenij. [Hydrological and hydraulic calculations of small road structures]. Київ.: Vishha shkola, 1983. 280 s. [in Russian].
8. SN 435-72. Ukazaniya po opredeleniyu raschyotnykh gidrologicheskix charakteristik. [Guidelines for Determining Estimated Hydrological Characteristics]. [Vved. 1972-10-01]. Leningrad: Gidrometeoizdat. Gosstroj/SSSR, 1972. 32 s. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293793/4293793705.pdf> (access date 1.04.2020). [in Russian].

9. DBN V.2.3-22. Mosti ta trubi. Osnovni vimogi proektuvannya. Sporudi transportu. [Vved. 2009-11-11]. Kiiiv: Minregionbud Ukraïni, 2009. 73 s. [in Ukrainian].
10. VSN 63-76. Instrukciya po raschyotu livneвого stoka vody` s maly`x bassejnov [Vved. 1976-12-01]. Moskva: Mintransstroj/SSSR, 1976. 114 s. [in Russian].
11. Babkov V. F., Andreev O. V. Proektirovanie avtomobil`ny`x dorog. [Road design]. Moskva: Transport, 1987. 368 s. [in Russian].

**Мусієнко Ігорь Владимирович**, к.т.н., доцент, доцент кафедри проєктирования дороз, геодезії и землеустройства ХНАДУ, ул. Ярослава Мудрого, 25, Харьков, 61002, Украина, телефон +38 (057) 707-37-32, [saprad14@gmail.com](mailto:saprad14@gmail.com).

**Гулько Ірина Сергеевна**, студентка ХНАДУ, ул. Ярослава Мудрого, 25, Харьков, 61002, Украина, телефон +38 (099) 481-32-19, [irinagunko98@gmail.com](mailto:irinagunko98@gmail.com).

#### **УКРРВС20: автоматизований розрахунок дорожніх водопропускних труб**

**Анотація.** Розглянуто проблему автоматизованого розрахування дорожніх водопропускних споруд у сучасних програмах. Було здійснено аналіз сучасних програм з розрахування дорожніх труб, розглянуті їхні можливості. Для розрахування зливогого стоку запропоновано використовувати формулу МАДИ / Союздорпроект з деталізованими картами для України. Наводиться актуальна методика розрахування дорожніх водопропускних труб з аналізом можливості автоматизації її складових. Розроблено алгоритм розрахування дорожніх водопропускних труб. Увага акцентується на розрахування зливогого і талого стоків. Підбирання діаметра труби здійснюється на підставі максимальної витрати за табличними даними. Створено інтерфейс програми автоматизації розрахування дорожніх водопропускних труб. Він поділяє роботу проєктувальника на три етапи: формування загальних вихідних даних, формування вихідних даних для розрахування зливогого стоку, формування вихідних даних для розрахування талого стоку, розрахування й аналіз зливогого стоку, розрахування й аналіз талого стоку, підбирання необхідного діаметра дорожньої водопропускної труби.

**Ключові слова:** автоматизоване розрахування, дорожня водопропускна труба, зливовий стік, талий стік, алгоритм.

**Мусієнко Ігор Володимирович**, к.т.н., доцент, доцент кафедри проєктування доріг, геодезії і землеустрою ХНАДУ, вул. Ярослава Мудрого, 25, Харків, 61002, Україна, +38(057) 707-37-32, [rp@khadi.kharkov.ua](mailto:rp@khadi.kharkov.ua).

**Гулько Ірина Сергіївна**, студентка ХНАДУ, вул. Ярослава Мудрого, 25, Харків, 61002, Україна, телефон +38 (099) 481-32-19, [irinagunko98@gmail.com](mailto:irinagunko98@gmail.com).

#### **UKRRVS20: road culverts CAD**

**Abstract. Problem.** Among the road culverts CADs, only the CREDO GRIS allows calculating according to Ukrainian standards. The works of the Ukrainian Hydrometeorological Institute UHMI are used in CREDO GRIS as Ukrainian standards. The program also has the ability to calculate rainfall runoff according to the formula MADI/Soyuzdorproekt. The conclusion about the relevance of the road culverts CAD problem has been made. **Goal.** It is proposed to use the MADI/Soyuzdorproekt formula with detailed maps for Ukraine to calculate the rainfall runoff. **Methodology.** The current methodology for calculating road culverts with an analysis of the possibility of automation for the components of this technique has been given. Some formulas of this technique do not show the required results given in the reference tables. **Results.** The problem of modern programs for road culverts CAD has been considered. The analysis of modern programs for road culverts calculation has been carried out, capabilities of this programs have been considered. The following tasks in the design of road culverts have been identified: calculation of maximum water consumption from rain and melt water flow; hydraulic calculation of pipe holes; determination of minimum height of embankment above the pipe; determination of the length of the pipe and its design; calculation and design of reinforcement of discharge channel and slopes of the embankment; determination of volume and cost of work. **Practical value.** The algorithm for calculating road culverts has been developed. The emphasis is on the calculation of storm and melt runoff. The selection of the pipe diameter is based on the maximum flow rate according to the tabular data. **Originality.** The interface has been created for the automation program for calculating road culverts. The interface divides the work of the designer into three stages: the formation of a common source data, the formation of the source data for calculating the rainfall runoff, the formation of the initial data for calculating the meltwater runoff, the calculation and analysis of the stormwater runoff, the calculation and analysis of the meltwater runoff, the selection of the required diameter of the road culvert. The interface provides all necessary reference materials: cartographic and tabular. The interface makes maximum use of comboboxes with discrete setpoints that facilitate the user's choice.

**Keywords:** CAD, road culvert, maximum water consumption from rain, melt runoff, algorithm.

**Musienko Igor**, Ph.D., associate professor, associate professor of department of highway design, geodesy and land management Kharkov national automobile highway university, 61002, Ukraine, Yaroslava Mudrogo str., 25, +38(057) 707-37-32, [rp@khadi.kharkov.ua](mailto:rp@khadi.kharkov.ua).

**Hunko Iryna**, student of Kharkov national automobile highway university, 61002, Ukraine, Yaroslava Mudrogo str., 25, +38 (099) 481-32-19, [irinagunko98@gmail.com](mailto:irinagunko98@gmail.com).