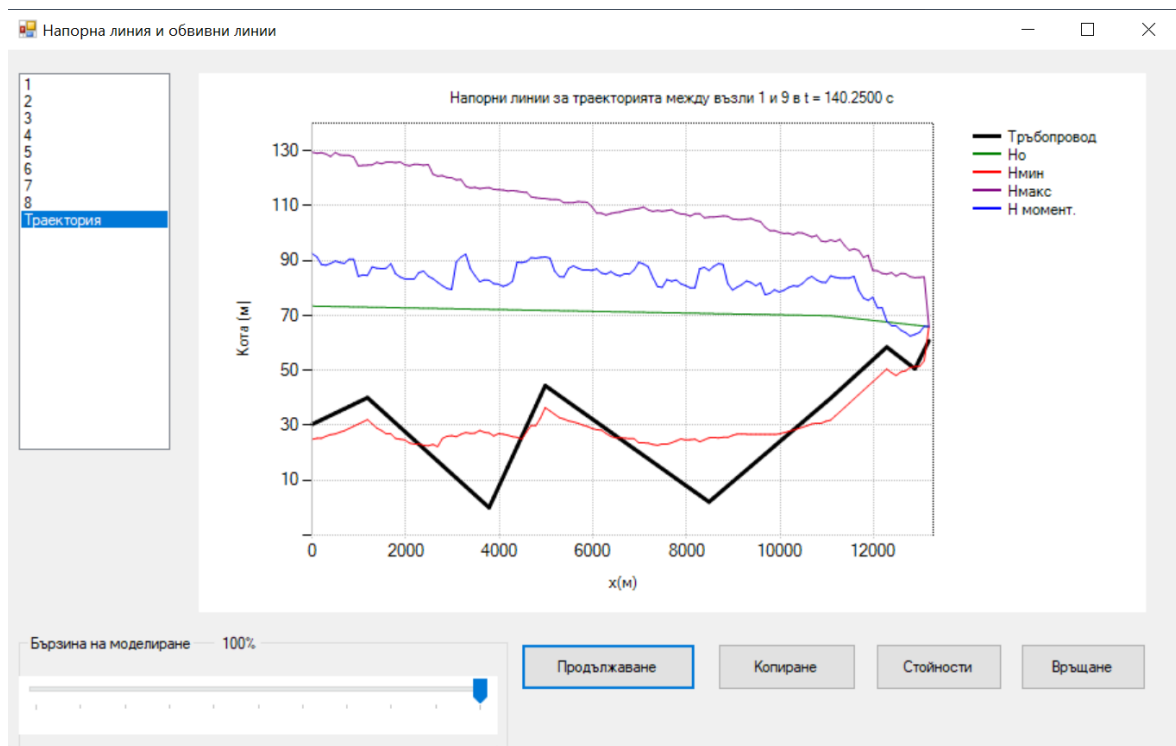




Програма ИМХУАСГ

Интерактивно Моделиране на Хидравичен Удар в напорни Системи,
малки и Големи

РЪКОВОДСТВО НА ПОЛЗВАТЕЛЯ

проф. д-р инж. Величко Г. Цачков
доц. д-р инж. Борис Ц. Цанков
2024

1 ВЪВЕДЕНИЕ

ИМХУАСГ е програма за моделиране на хидравличен удар в напорни тръбопроводни системи. Програмата симулира преходния процес, като показва резултатите в числена и графична форма.

Най-честите причини за хидравличен удар са аварийното спиране на помпите и бързото затваряне на кранове или други затворни органи. Неговото изследване е важно поради четири основни причини:

- Може да причини недопустимо високо налягане, което да доведе до аварии и нарушаване на целостта на тръбопроводната система.
- Може да причини вакуумно налягане във вътрешността на тръбите вследствие на което, при определени условия, атмосферното налягане да смаже тръбите.
- Могат да се причинят аварии на хидравличните машини (помпи или турбини), развивайки недопустима скорост на въртене по време на преходния процес.
- Може да причини умора на материала на тръби и съоръжения, което да доведе до тяхното разрушаване.

По тези причини, всеки проект на напорна тръбопроводна система трябва да съдържа подробно изследване на хидравличния удар.

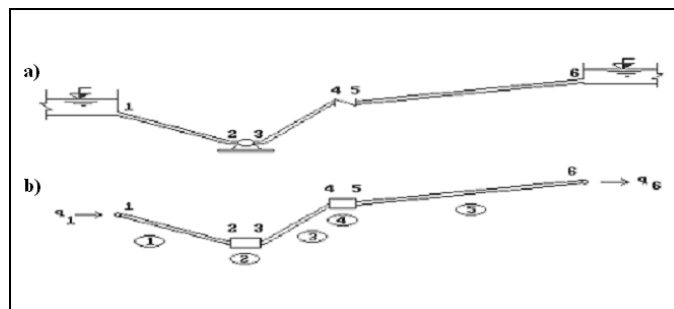
За целите на моделирането хидравличната система се разглежда като съвкупност от *участъци*, свързани в общи точки, наречени *възли*. Точките, където са разположени помпите, резервоарите и устройствата за защита срещу хидравличен удар, както и съединенията между тръбите и крайните точки на хидравличната система, също се представят като възли. От своя страна, всеки участък е включен между два възела и може да представлява тръба с постоянни характеристики по своето протежение или някакво устройство от хидравличната система, като обратна клапа и др. От гледна точка на изчислението, възелът се определя като точка, в която напорът има една и съща стойност за краищата на всички участъци, които свързва, т.е. напорите в крайните точки на участъците, свързани към възела, са равни .един на друг и равни на напора във възела.

На Фигура 1-(а) е даден случай на тръбопровод с помпа, дълга смукателна тръба и междинна обратна клапа. Фигура 1-(b) представя схемата на тази система за целите на изчислението по програмата ИМХУАСГ. Тъй като напорът е различен в точките непосредствено преди и след помпата, помпата е представена посредством два възела (участък 2). Също такова представяне има и обратната клапа (участък 4).

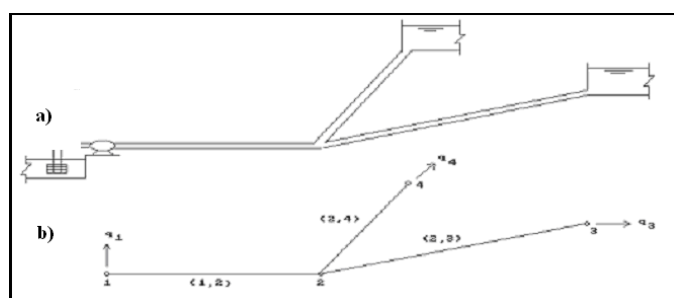
Като друг пример, Фигура 2-(а) показва схемата на помпа, работеща срещу два резервоара, и Фигура 2-(b) показва съответната изчислителна схема във възли и участъци. Тъй като тук смукателната тръба е къса, помпата е представена чрез един възел.

За да се идентифицира устройството или компонента, намиращи се във възел, програмата борави с *типове възли*. Типът възел е цяло число, което определя какъв компонент представлява възелът, или в какви условия се намира по време на преходния процес. Разнообразието от възможни типове възли (и *типове*

участъци) определя приложимостта и голямото многообразие на програмата да анализира различни типове системи и различни преходни процеси в тях.



Фигура 1 Схема на система, където помпата е представена от един участък и два възела



Фигура 2 Схема на система, където помпата е представена от един възел

Програмата включва следните типове възли:

Тип 0 - ВЪЗЕЛ БЕЗ СЪОРЪЖЕНИЕ. Използва се за представяне на тръбни съединения или краища на системата.

Тип 1 - ВИНДКЕСЕЛ.

Тип 2 - ВОДНА КУЛА.

Тип 3 - ОТКРИТ РЕЗЕРВОАР ЗА ВПУСКАНЕ НА ВОДА. Това е съоръжение със свободно водно ниво която цел е предотвратяване разкъсването на водната струя. Снабдено е с обратна клапа, което позволява водно му ниво да е по-ниско от онова отговарящо на напора в същата точка.

Тип 4 - ЗАТВОРЕН РЕЗЕРВОАР ЗА ВПУСКАНЕ НА ВОДА. Представлява затворен обем вода снабден с въздушници. Целта му е също предотвратяване разкъсването на водната струя.

Тип 5 - ВЪЗДУШНИК ЗА ВПУСКАНЕ И ИЗПУСКАНЕ НА ВЪЗДУХ.

Тип 6 - ВЪЗДУШНИК ЗА ВПУСКАНЕ И ЗАДЪРЖАНЕ НА ВЪЗДУХ.

Тип 7 - ГОЛЯМ РЕЗЕРВОАР ИЛИ СВОБОДНО ИЗТИЧАНЕ В АТМОСФЕРАТА. От хидравлична гледна точка, представя възел в който напора не се променя по време на хидравличния удар.

Тип 8 - ИЗТИЧАНЕ ПРЕЗ ОТВОР ИЛИ НАСТАВКА. От хидравлична гледна точка, изтичане под налягане в атмосферата. Типичен случай – дъждовален апарат.

Тип 9 - СПИРАТЕЛЕН КРАН РАЗПОЛОЖЕН ПРЕД ИЗТИЧАНЕ ПРЕЗ ОТВОР ИЛИ НАСТАВКА.

Тип 10 – УДАРОУБИВАТЕЛ или УДАРОГАСИТЕЛ. Разликата между

двата се определя от налягането на задействане, което при удароубивателя е по-високо от работното налягане и при ударогасителя е по-ниско.

Тип 11 – УДАРОУБИВАТЕЛ РАЗПОЛОЖЕН ПРЕД ИЗТИЧАНЕ ПРЕЗ ОТВОР ИЛИ НАСТАВКА. Предпазен клапан срещу високо налягане, разположен пред изтичане под налягане.

Тип 12 – СПИРАТЕЛЕН КРАН И УДАРОУБИВАТЕЛ РАЗПОЛОЖЕНИ ПРЕД ИЗТИЧАНЕ ПРЕЗ ОТВОР ИЛИ НАСТАВКА. Предпазен клапан срещу високо налягане, разположен до спирателен вентил пред изтичане под налягане

Тип 13 - РАБОТЕЩА ПОМПА. Помпа която работи с номиналните си обороти по време на преходния процес. Причината за хидравличния удар в този случай не е спирането на помпата, а е в друга точка на хидравличната система.

Тип 14 - СПИРАЩА ПОМПА+обратна клапа. Помпа която спира (и по този начин е причина за хидравличния удар), съоръжена с обратна клапа.

Тип 15 - ПОМПА+ОБРАТНА КЛАПА И БАЙПАС. Помпа която спира, съоръжена с обратна клапа и байпас обхождащ обратната клапа.

Тип 16 - СПИРАЩА ПОМПА С ПРОГРАМИРУЕМ ЗАТВОРЕН ОРГАН.

Тип 17 - РАБОТЕЩА ПОМПА С ВИНДКЕСЕЛ.

Тип 18 - СПИРАЩА ПОМПА С ВИНДКЕСЕЛ.

Тип 19 - РАБОТЕЩА ПОМПА С ВОДНА КУЛА.

Тип 20 - СПИРАЩА ПОМПА С ВОДНА КУЛА.

Тип 21 - СПИРАЩА ПОМПА, С ОТКРИТ РЕЗЕРВОАР ЗА ВПУСКАНЕ НА ВОДА.

Тип 22 - СПИРАЩА ПОМПА, СЪС ЗАТВОРЕН РЕЗЕРВОАР ЗА ВПУСКАНЕ НА ВОДА.

Тип 23 - РАБОТЕЩА ПОМПА+УДАРОУБИВАТЕЛ или УДАРОГАСИТЕЛ.

Тип 24 - СПИРАЩА ПОМПА+УДАРОУБИВАТЕЛ или УДАРОГАСИТЕЛ.

Тип 25 – ВЕЦ, при затваряне на направляващия апарат на турбините.

Тип 26 – ВЕЦ, при аварийно изключване на генератора от мрежата.

Тип 27 – ВЕЦ, при включване от изключено състояние.

Тип 32 - ВЪТРЕШНА ПОМПА, с обратна клапа. Този тип възел се използва когато помпите вземат вода от тръба, а не директно от черпателен резервоар. Типични случаи са помпени инсталации с дълги смукателни тръби или помпи разпоположени една след друга в серия, разделени помежду си от дълги тръби. Нарича се също помпа за препомпване, на английски “booster pump”. Помпата се представя като участък от Тип 4, чийто първи възел е Тип 32.

Тип 34 - НЕПРОМЕНЯЩА СЕ КОНСУМАЦИЯ. Изтичане на вода което остава непроменено по време на хидравличния удар.

Тип 48 - ВЪТРЕШНА ПОМПА С ПРОГРАМИРУЕМ ЗАТВОРЕН ОРГАН.

Тип възли 28, 29, 30, 31, 33 и други непоказани в този списък за запазени за други цели, поради което в момента не се използват.

От друга страна, програмата предвижда възможността за работа с пет вида участъци, това са:

- Тип 0: Тръбопровод: Това е най-използваният тип участък и представя самите тръби на тръбопроводната система.

- Тип 1: Концентрирана местна загуба на напор. Може да бъде диафрагма или някакво друго устройство, което причинява силно изразена местна загуба на напор.
- Тип 2: Обратна клапа: Използва се да представя междинно разположена по тръбопровода обратна клапа (не обратната клапа с която са съоръжени помпите). Може да се използва като средство за защита срещу хидравличния удар там, където теренните условията го позволяват.
- Тип 3: Затворен участък: Това е участък, през който водата не циркулира. Задаването на такъв тип участък в сключени тръбопроводни системи елиминира участъка от моделирането, а в разклонени такива отговаря на прекъсване на хидравличната връзка с част от тръбопроводната система, което води до отсъствие на преходен процес в тази част.
- Тип 4: Вътрешна помпа: Първият възел на този тип участък трябва да е тип 32 или 48, а вторият може да бъде който и да е друг тип. Този тип участък се използва, когато смукателната тръба е достатъчно дълга за да е от интерес нейното хидравлично поведение, или когато помпата работи като "помпа бустер", както се спомена преди.

Програмата не е ограничена по отношение на вида на тръбопроводната система или мрежа от тръби, начина на свързване на нейните компоненти, вида на устройствата в нея, и т.н. Без различия в подхода може да се анализира прост или сложен водопровод, разклонена мрежа или сключена мрежа. Могат да се анализират случаи без средства за защита против хидравличния удар или с различни начини на такава защита. В първия случай анализът на получените от моделирането резултати позволява определянето на евентуалните проблеми породени от хидравличния удар. Откривайки възможните проблеми, проектантът може да анализира възможността за добавяне на различни средства за защита, да моделира техния ефект и да избере тези, които осигуряват най-голяма безопасност и икономичност на проекта.

Моделирането се базира на математически модел, който се състои от частни диференциални уравнения на преходния процес в тръбите и уравнения за съоръженията във възлите. Уравненията в тръбите се решават числено по метода на характеристиките, с отчитане на възможността за кавитационно разкъсване на водната струя, както в тръбите, така и във възлите. Предполага се, че разкъсването настъпва когато налягането има тенденция да спадне под -8.00 m воден стълб. Програмата симулира промените в обема на разкъсванията и евентуалните свръхналягания, генерирани от тяхното затваряне.

2 ИНСТАЛИРАНЕ НА ИМХУАСГ

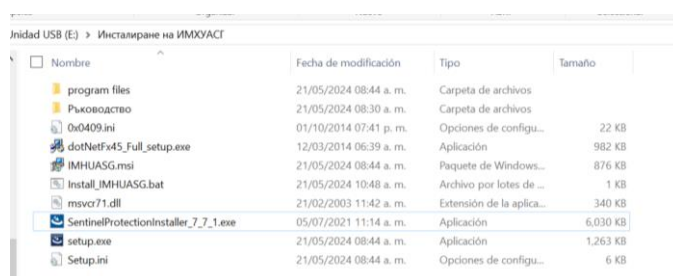
ИМХУАСГ се доставя с флашка (USB памет), която съдържа инсталационните файлове и хардуерна тапа (донгъл) за защита срещу неоторизирано използване. Инсталацията включва следните 3 части:

I. Инсталиране на Microsoft .NET Framework 4.5. Това е една безплатна библиотека на Microsoft, която се използва в ИМХУАСГ. Нейният инсталатор се нарича dotNetFx45_Full_setup.exe и е включен в инсталационната USB на ИМХУАСГ. Изисква Интернет връзка по време на инсталирането.

II. Инсталиране на самия ИМХУАСГ. Извършва се от приложението Setup.exe, включено в инсталационните файлове.

III. Инсталиране на драйвера за хардуерната тапа. Извършва се от приложението SentinelProtectionInstaller_7_7_1.exe, включено в инсталационните файлове на ИМХУАСГ.

За да инсталирате ИМХУАСГ, флашката се поставя в порт на компютъра. Фигура 3 показва съдържанието и. Достатъчно е да се изпълни само “Install_IMHUASG.bat”.



Имя	Дата на промяна	Тип	Размер
program files	21/05/2024 08:44 a. m.	Carpeta de archivos	
Руководство	21/05/2024 08:30 a. m.	Carpeta de archivos	
0x0409.ini	01/10/2014 07:41 p. m.	Opciones de configuraci...	22 KB
dotNetFx45_Full_setup.exe	12/03/2014 06:39 a. m.	Aplicaci3n	982 KB
IMHUASG.msi	21/05/2024 08:44 a. m.	Paquete de Windows...	876 KB
Install_IMHUASG.bat	21/05/2024 10:48 a. m.	Archivo por lotes de ...	1 KB
msvcr71.dll	21/02/2003 11:42 a. m.	Extensi3n de la aplica...	340 KB
SentinelProtectionInstaller_7_7_1.exe	05/07/2021 11:14 a. m.	Aplicaci3n	6.030 KB
setup.exe	21/05/2024 08:44 a. m.	Aplicaci3n	1.263 KB
Setup.ini	21/05/2024 08:44 a. m.	Opciones de configuraci...	6 KB

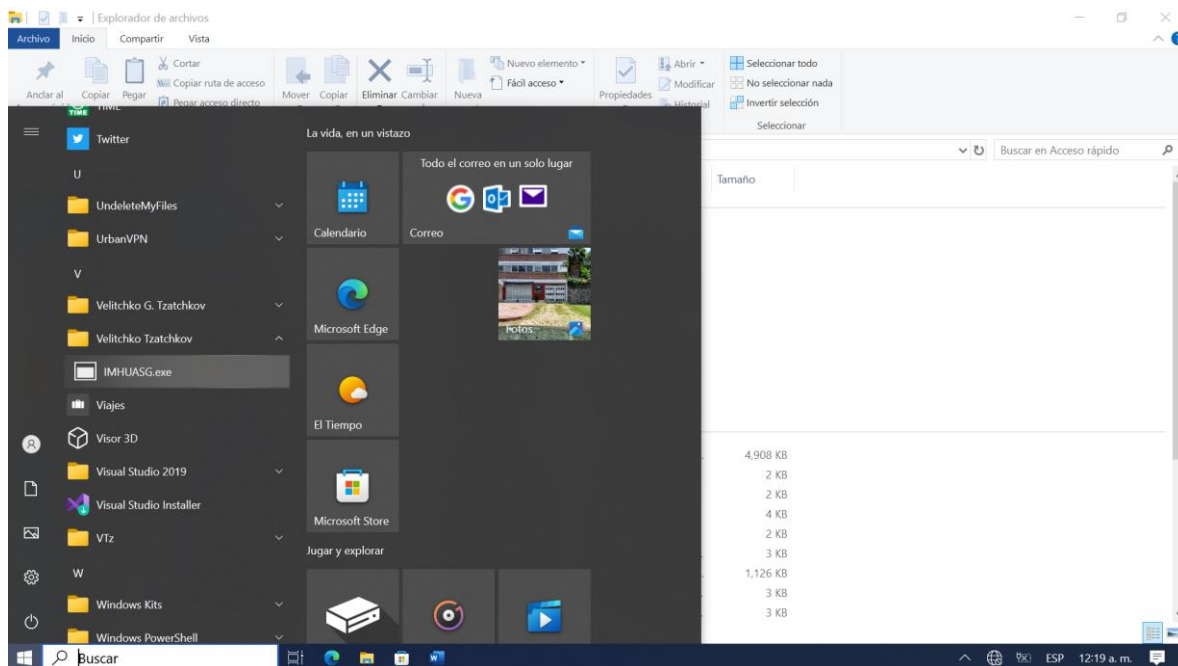
Фигура 3

Следвайте след това инструкциите на екрана. По този начин се изпълняват всичките части I, II и III от процедурата за инсталиране, спомената по-горе. Ако инсталационният процес не започне автоматично или бъде прекъснат по някаква причина, потребителят може ръчно да изпълни стъпки I, II и III, като стартира по отделно приложенията dotNetFx45_Full_setup, Setup и SentinelProtectionInstaller_7_7_1.

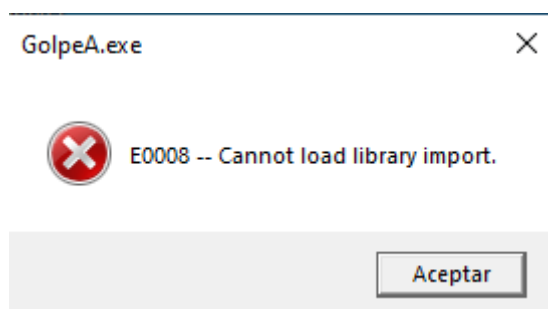
Хардуерната тапа не се използва при инсталирането, но е необходима за употребата на ИМХУАСГ. Инсталирането генерира иконка с името IMHUASG на основния екран, и в менюто Старт на Windows, в директория с име Velitchko Tzatchkov (Фигура 4). За да стартирате програмата, поставете хардуерната тапа и изберете тази иконка.

3 НЯКОИ ВЪЗМОЖНИ ПРОБЛЕМИ ПРИ ИНСТАЛИРАНЕТО И ТЯХНОТО РЕШЕНИЕ

ИМХУАСГ използва библиотеки на Windows .NET Framework. Тези библиотеки са част от операционната система Windows, но могат да бъдат активирани или не, на дадения компютър на който се инсталира ИМХУАСГ. Ако .NET Framework не е активиран, може да се появи съобщението за грешка показано на Фигура 5.



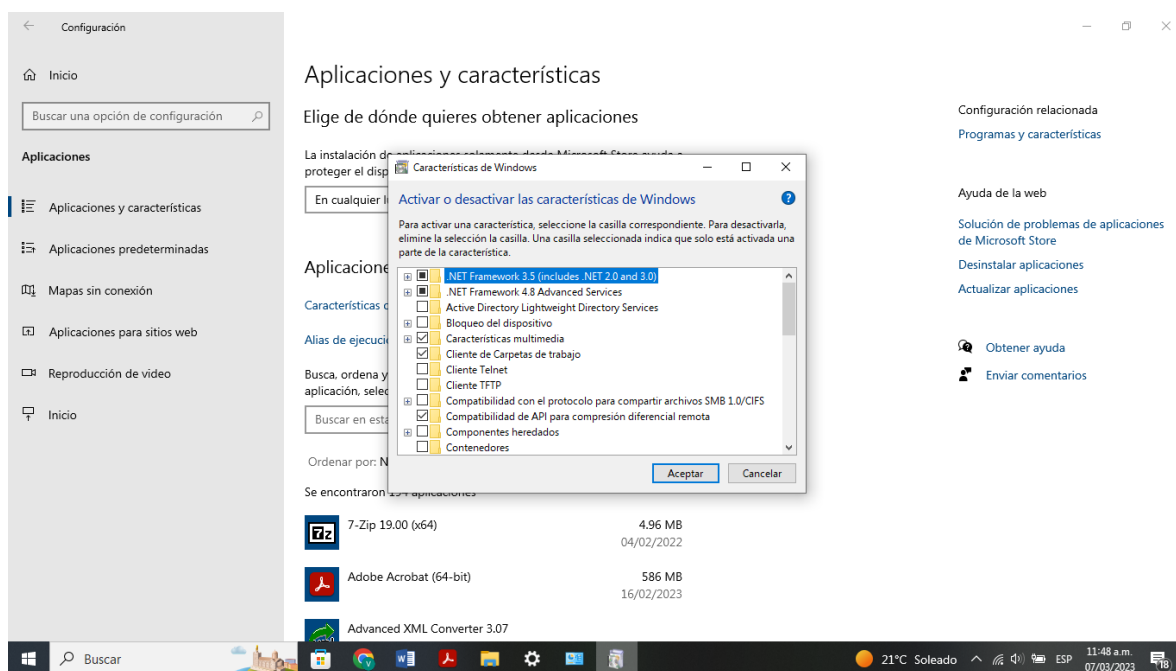
Фигура 4



Фигура 5

Направете следното, за да коригирате тази грешка:

1. Изберете "Настройки" от менюто "Старт" на Windows. Ще се покаже прозорецът за конфигурация на Windows.
2. Изберете „Приложения“ в този прозорец. Ще се покаже прозорецът "Приложения и функции".
3. Изберете „Програми и характеристики“ в този прозорец. Ще се покаже прозорецът "Програми и характеристики".
4. Изберете „Включване или изключване на характеристики на Windows“ в този прозорец. Ще се покаже прозорецът „Характеристики на Windows“. Проверете дали .NET Framework 3.5 или подобен е активиран. Активирайте го, ако не е активиран. С това трябва да изглежда както е показано на Фигура 6.



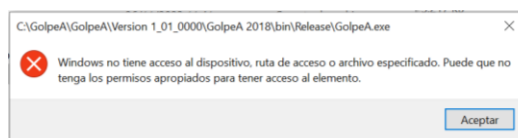
Фигура 6

Друг възможен проблем е, че в операционната система Windows липсва библиотеката наречена `msvcr71.dll`. Тази библиотека може да е включена или не в операционната система Windows, инсталирана на компютъра. За да коригирате този проблем, трябва да проверите дали в директорията с име `C:\Windows\SysWOW64` на вашия компютър има файл с име `msvcr71.dll`. Ако няма такъв, трябва да го копирате в тази директория. Файлът `msvcr71.dll` е включен във файловете за инсталиране на програмата.

Като трети възможен проблем който се наблюдава в определени случаи, някои антивируси могат да попречат на изпълнението на ИМХУАСГ, откривайки неправилно че съдържа вирус въпреки че в действителност не съдържа никакъв вирус (или някакъв друг вид зловреден софтуер). В такива случаи ще се покаже съобщение от самата антивирусна програма, от вида на показаното на Фигура 7 или подобно в зависимост от конкретната антивирусна програма, или съобщение от операционната система (като показаното на Фигура 8, или нещо подобно).



Фигура 7



Фигура 8

В същото време не трябва да изключваме възможността някои от файловете на ИМХУАСГ наистина да са заразени с вируси, по същия начин както това може да

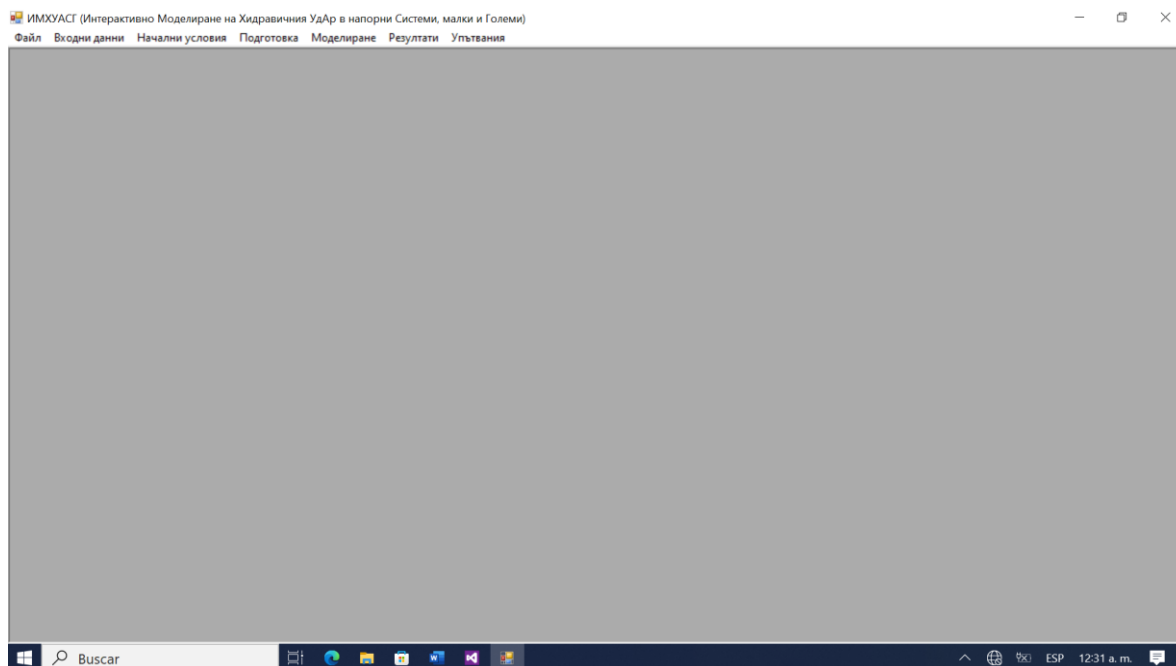
се случи с всеки друг файл на компютъра или паметта. Потребителят на ИМХУАСГ трябва тогава първо да провери, с антивирусните средства с които разполага, дали компютърът му съдържа вируси, и да ги елиминира. Ако установите, че няма вирус, но вашата антивирусна програма продължава да блокира изпълнението на ИМХУАСГ, тогава трябва да добавите към вашия антивирус специално изключение за изпълнимия файл IMHUASG.exe, който след завършване на процеса на инсталирането се намира в C:\Програмни файлове (x86)\Velitchko Tzatchkov\IMHUASG. Инструкции как да добавите такова изключение към антивирусна програма можете да намерите в самата документация на антивируса.

Входните данни, генерирани в ИМХУАСГ могат да бъдат запазени за по-късна употреба във файлове с разширение *.cod. При инсталирането се копират като примери някои файлове от този вид. Програмата НУАСГ (Начални Условия за Анализ на Системи, малки и Големи) за моделиране на стационарно течение в тръбопроводи и мрежи също генерира файлове със същото *.cod разширение, които са съвместими с ИМХУАСГ. Препоръчително е да въведете входните данни първо в НУАСГ, да изпълните моделирането за стационарно течение в нея (с това получавате началните условия, необходими за моделиране на хидравличния удар), да запишете полученото (което ще са входни данни и резултати) във файл *.cod, и да ги въведете след това в програмата ИМХУАСГ. В противен случай ще трябва ръчно да въведете началните условия на хидравличния удар (по-специално дебита във всеки участък) и да правите корекции, най-често многократни, ако тези дебита не са в съответствие с данните на моделираната хидравлична система.

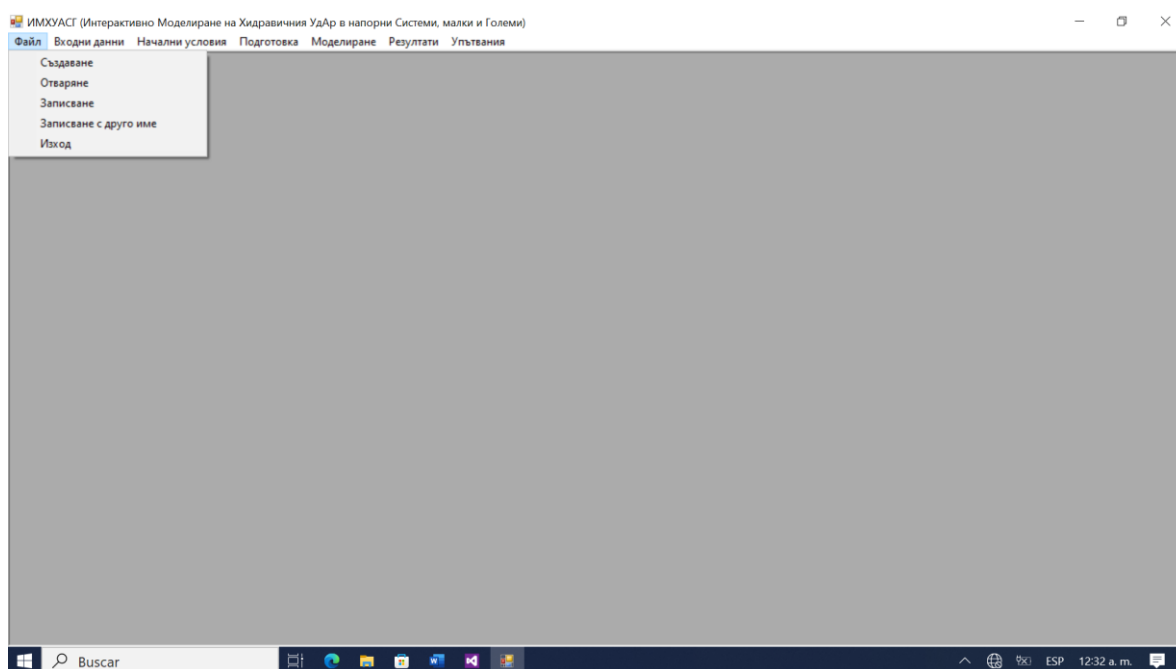
4 ОПИСАНИЕ НА ПРОГРАМАТА

Изпълнението на ИМХУАСГ започва с представянето на екрана на главното меню. Това меню има 7 опции: **Файл**, **Входни данни**, **Начални условия**, **Подготовка**, **Моделиране**, **Резултати** и **Упътвания** (Фигура 9). Когато активирате някоя от тези опции, с изключение на **Моделиране**, се отваря съответният прозорец на подменюто. Всяко подменю е обяснено по-долу.

В подменюто **Файл** (Фигура 10) се изпълняват операциите с файловете с входни данни за ИМХУАСГ, а именно: започване на въвеждането на нов файл с входни данни (опция **Създаване**), зареждане с файл от предварително въведени входни данни (опция **Отваряне**), записване на файл със същото име (опция **Записване**), записване на файл с друго име (опция **Записване с друго име**), както и край на изпълнението на програмата (опция **Изход**). Файловете с входни данни, с които работи ИМХУАСГ имат разширение *.cod. За създаване на файл с входни данни се въвеждат първо общите входни данни за брой възли и брой участъци (с команда **Входни данни/Общи**). , и след това самите данни за възли и участъци, и могат да се запишат с желаното име в *.cod файл. За да се изпълни предварително създаден файл, същият се прочита и се изпълнява. Данните могат да се променят преди изпълнението (ако е необходимо) с командите на подменюто **Входни данни**.



Фигура 9. Главно меню на ИМХУАСГ



Фигура 10. Подменю Файл на ИМХУАСГ

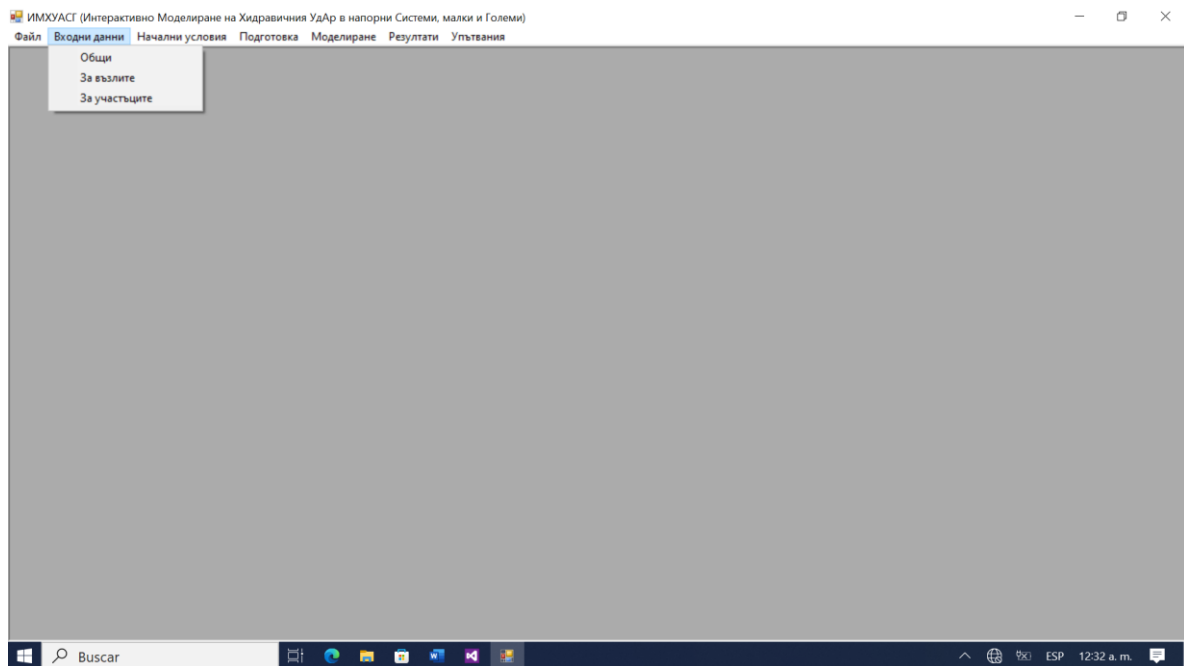
Файловете с входни данни *.cod са в ASCII формат с последователен достъп. Всяка модификация на файл от този тип трябва да се извършва само чрез менюто **Входни данни** на програмата ИМХУАСГ. Промяната на файл *.cod с помощта на външен текстов редактор може да генерира непредсказуеми резултати при изпълнение на програмата ИМХУАСГ.

Опцията **Отваряне** показва списък на файловете с разширение *.cod, съществуващи в активната директория, което позволява на програмата да работи с

един от тях. Опциите **Записване** и **Записване с друго име** позволяват да записвате данните, които се обработват в даден момент, във файл с разширение *.cod за по-късна употреба. Посредством опцията **Създаване** съдържанието на паметта се изтрива, дезактивирайки файла с данни който е в паметта, което позволява на потребителя да започне работа с нов файл.

В подменюто **Входни данни** (Фигура 11) се извършва въвеждането на входни данни. Това включва въвеждането на нови входни данни или редактирането на съществуващи такива. Входните данни са разделени на 3 групи: **Общи**, **За възлите** и **За участъците**.

Входни данни/Общи (Фигура 12) включва броя възли, участъци и диаметри в асортимента от тръби с които се разполага за дадения проект.



Фигура 11 Подменю **Входни данни** на ИМХУАСГ

Общи данни

Брой възли: 6

Брой участъци: 8

Брой тип тръби (според диаметър, коеф. и скорост на вълната): 4

ПРОЕКТАНТ: ING. OSCAR GALAVIZ GLEZ.

ПРОЕКТ: FLUJO INVERSO (TUJANA - LA MISION)

ВАРИАНТ: CON 3 BOMBAS EN OPERACION

ДАТА: 28 DE FEBRERO DE 1995

ЗАБЕЛЕЖКА: BOMBEO # 2 (CANTILES - RAUL)

Отказ OK

Фигура 12 Подменю **Входни данни/Общи** на ИМХУАСГ

Във входните данни на **За възлите** (Фигура 13) се представя таблица с входните данни за броя декларирани възли. Освен идентификатор (име), за всеки възел в колоните Възел, Тип и Ниво се въвеждат неговия тип и неговата надморска височина (кота). Някои от типовете възли изискват допълнителни данни, които се посочват в таблицата в дясно.

Входни данни за възлите

№	Възел	Тип	Описание	Кота (м)
1	1	14	СПИРАЩА ПОМ...	29.6
2	2	0	ВЪЗЕЛ БЕЗ СЪО...	54
3	3	0	ВЪЗЕЛ БЕЗ СЪО...	54
4	4	0	ВЪЗЕЛ БЕЗ СЪО...	55
5	5	0	ВЪЗЕЛ БЕЗ СЪО...	56
6	6	0	ВЪЗЕЛ БЕЗ СЪО...	57
7	7	0	ВЪЗЕЛ БЕЗ СЪО...	58.54
8	8	0	ВЪЗЕЛ БЕЗ СЪО...	59
9	9	7	ГОЛЯМ РЕЗЕРВ...	60.85

Данни	Стойност
Брой помпи	2
Номинални обороти в минута	1780
Махов момент GD2 (kg.m2)	50
Местни загуби на напор (м)	2
Q с което са изчислени (л/с)	260
Кота водно ниво (м)	25

Дебит (л/с)	Напор (м)	Ефективност (%)
149.75	49.63	88
123.33	53.05	89
99.17	55.15	85
74.37	57.1	75
49.58	58.81	80

Употребяване OK Отказ

Фигура 13 Подменю данни **За възлите** на ИМХУАСГ

Входните данни **За участъците** (Фигура 14) се състоят от две таблици: **Данни за участъците** и **Формула за загуби на напор и асортимент от тръби**. От тези, таблицата **Данни за участъците** има следните колони:

Участък: Включва толкова редове, колкото са участъците, декларирани в общите входни данни.

От възел и До възел: Идентификаторите на двата възела, които определят участъка.

Тип: Тип на участъка, цяло число от 0 до 4, съгласно типа на участъка, както вече бе обяснено.

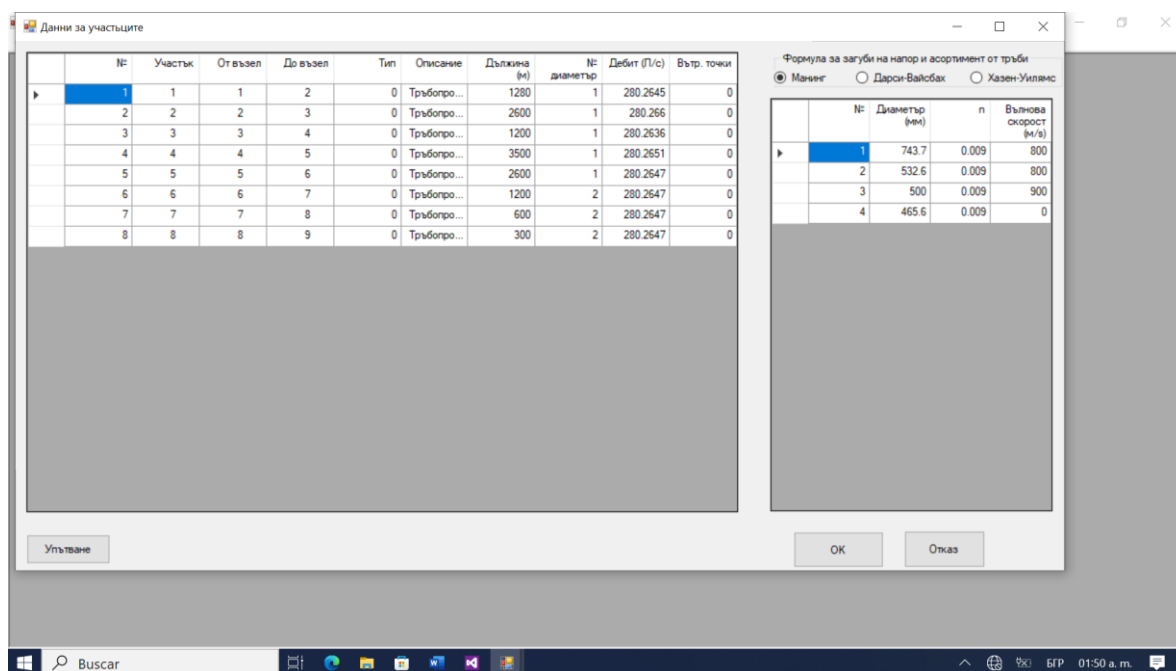
Дължина (м): Дължина на участъка.

№ диаметър: Показва стойността на номера на диаметър и други данни, дадени в таблицата **Асортимент от тръби**, съответстващ на участъка.

Дебит (л/с): Дебит в участъка.

Вътр. точки: Брой допълнителни коти във вътрешността на участъка. Използва за съвместимост с файлове входни данни на предишни версии на програмата. Обикновено има стойност 0, в който случай формата на терена се представя като права линия която свързва котите на двата възела на участъка.

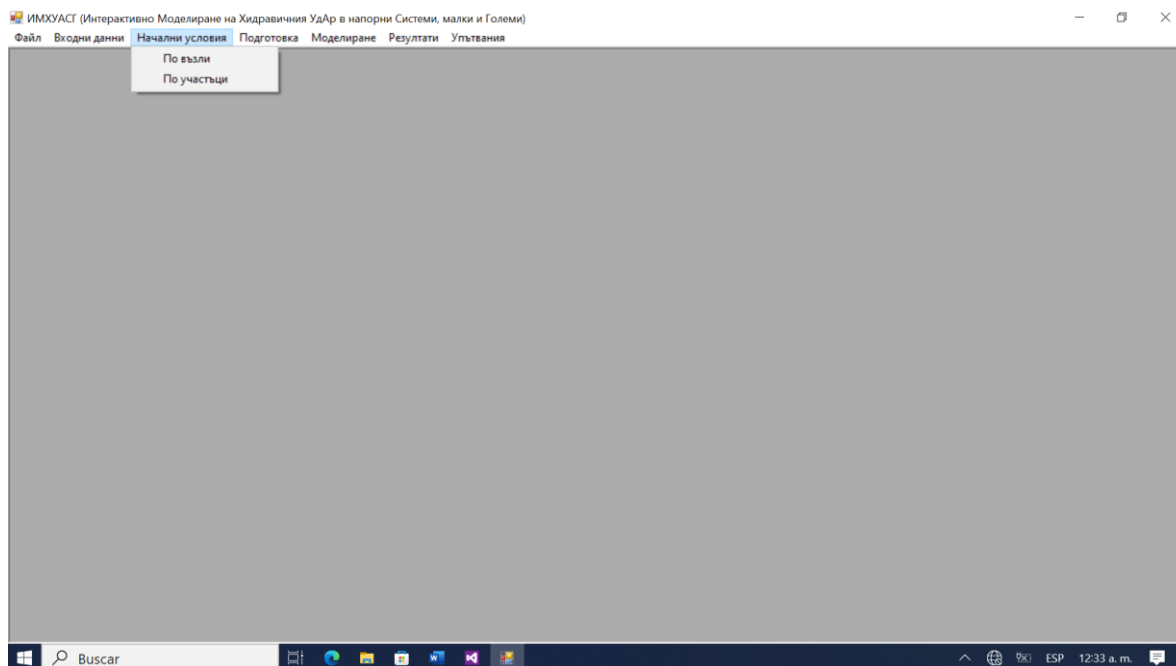
За да се избегне ненужно повторение на едни и същи данни в таблицата на данните за участъците, входните данни за характеристиките на тръбите (диаметър, коефициент на загуба на напор или грапавина, и вълнова скорост), се въвеждат в отделна таблица, и във входните данни за участъците за всеки участък само се посочва референтен номер от тази таблица който идентифицира съответните диаметър, коефициент на грапавина и вълнова скорост. От своя страна, в зависимост от използваната формула за загуби на напор коефициентът може да бъде C за формулата на Хазен-Уилямс, n за формулата на Манинг, абсолютната грапавина в мм за формулата на Дарси-Вайсбах; или K (коефициент на местна загуба на напор, ако участъкът представлява местна загуба). По този начин, таблицата за **асортимент от тръби** се състои от следните четирите колони: пореден номер, диаметър, коефициент на загуби на напор, и вълнова скорост.



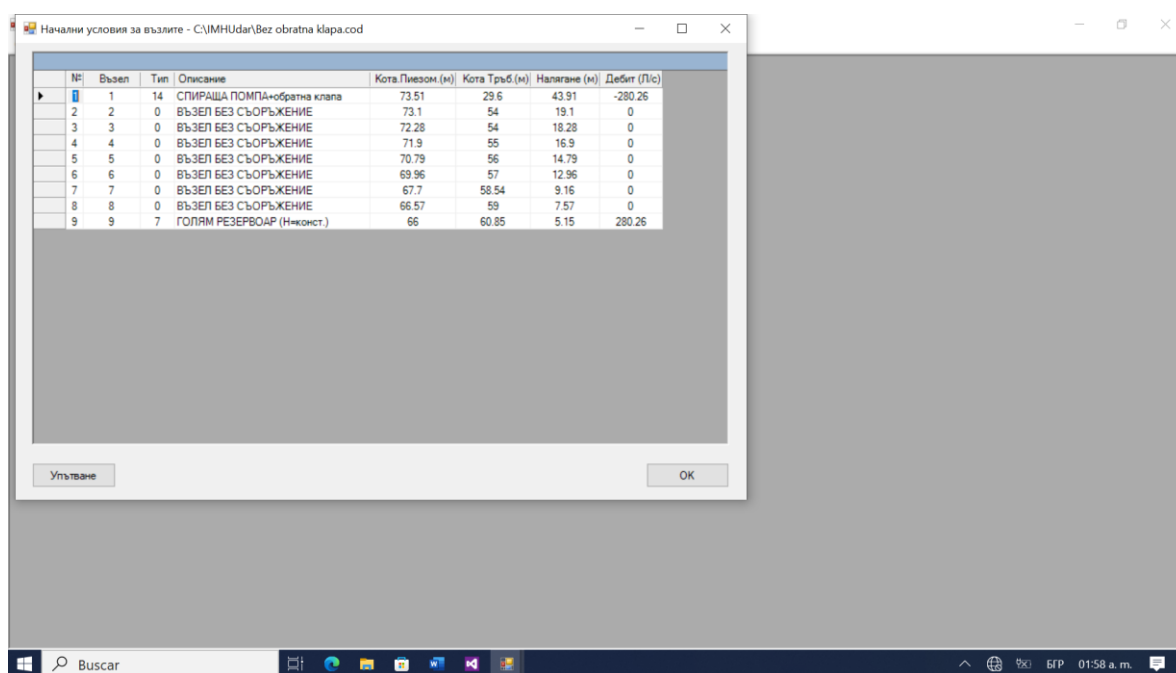
Фигура 14 Подменю данни **За участъците** на ИМХУАСГ

В подменюто **Начални условия** (Фигура 15) ИМХУАСГ изчислява хидравличните характеристики на стационарното течение в мрежата към момента на започване на преходния процес, които представляват началните условия за моделирането, по възли (Фигура 16) и по участъци (Фигура 17). Получените резултати се използват и за проверка дали входните данни са съвместими помежду си. Най-честите несъответствия са следните:

- Сумата от дебитите на участъците във възела (който може да се нарече възлов дебит) се получава със стойност или знак, които са в противоречие с входните данни за този възел. За някои видове възли възловият дебит е известен предварително. Примери за възли от този вид са тези от тип 0 (**ВЪЗЕЛ БЕЗ СЪОРЪЖЕНИЕ**), където възловият дебит трябва да бъде нула, и 34 (**НЕПРОМЕНЯЩА СЕ КОНСУМАЦИЯ**), където дебитът е посочен във входните данни. Ако се получат стойности, различни от тези, се издава съобщение за грешка.
- Недопустими отрицателни налягания в някои възли.
- Разликата в напора в двата възела на един участък не е равна на загубата на напор в участъка. За системи, които имат повече от един възел тип помпена станция или повече от един възел тип резервоар, са повече от един възможните пътища за определяне на напорите в останалите възли. Ако входните стойности съвпадат една с друга, трябва да се получат равни резултати за напора по всички възможни пътища.



Фигура 15 Подменю данни **Начални условия** на ИМХУАСГ



Фигура 16 Начални условия по възли

Несъответствия от този вид най-често се дължат на неправилни стойности на дебитите в участъците. Много пъти проектантите въвеждат дебитите които възнамеряват да имат, а не тези, които действително са възможни за дадените помпи, резервоари, тръби, и други данни. По тази причина е не само препоръчително, но и наложително, дебитите да се изчисляват по програма за моделиране на стационарно течение в тръбопроводи и мрежи. Програма от този тип е НУАСГ (Начални Условия за Анализ на Системи, малки и Големи) чиито входни данни и Резултати са съвместими с ИМХУАСГ и която също така създава файлове с разширение *.cod, които са съвместими с ИМХУАСГ. Препоръчително е да въведете входните данни първо в НУАСГ, да изпълните моделирането за

стационарно течение, да запишете полученото (което ще са входни данни и резултати, във файл *.cod), и да ги въведете след това в програмата ИМХУАСГ.

№	Участък	Тип	От възел	До възел	Дължина (м)	Дебит (л/с)	Скорост (м/с)	Загуба на напор (м)
1	1	0	1	2	1280	280 26	0.65	0.41
2	2	0	2	3	2600	280 27	0.65	0.83
3	3	0	3	4	1200	280 26	0.65	0.38
4	4	0	4	5	3500	280 27	0.65	1.11
5	5	0	5	6	2600	280 26	0.65	0.83
6	6	0	6	7	1200	280 26	1.26	2.26
7	7	0	7	8	600	280 26	1.26	1.13
8	8	0	8	9	300	280 26	1.26	0.57

Фигура 17 Начални условия по участъци

Подменюто **Подготовка**, (Фигура 18) дава възможност да се зададат някои параметри с цел моделирането да се изпълни по желания начин. Това подменю има команди **Дискретизация** и **Продължителност и Визуализация**.

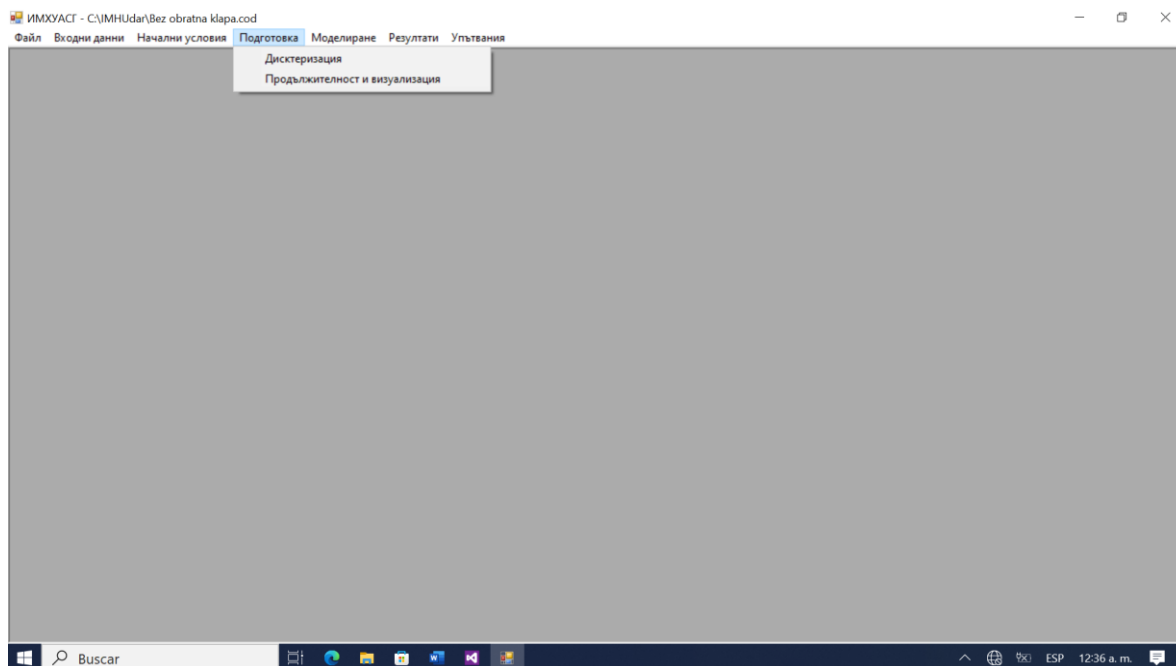
Командата **Дискретизация** (Фигура 19) показва таблица с деление на участъците в подучастъци, предложено от програмата. Състои се от 9 колони. От тях колоните **Участък**, **От възел**, **До възел**, и **Вълнова скорост (м/с)**, вече бяха изяснени по-горе в това ръководство. Останалите са:

а модиф. (м/с): Представява коригираната вълновата скорост за участъка, с оглед на изискванията на изчислителния метод.

Разлика (%): Това е разликата между коригираната скорост и дадената скорост. Ако потребителят прецени, че стойността на тази разлика е недопустимо голяма, той може да я регулира като промени броя на подучастъците или схемата за изчисление.

Подучастъци: Това е броят на подучастъците, на които се разделя всеки участък.

dx (m): Това е дължината на всеки подучастък в рамките на даден участък.



Фигура 18 Подменю Подготовка на ИМХУАСГ

№	Участък	От възел	До възел	В. скор. а (м/с)	а модиф. (м/с)	Разлика (%)	Подучастъци	dx
1	1	1	2	800	787.69	1.54	13	98.46
2	2	2	3	800	800	0	26	100
3	3	3	4	800	800	0	12	100
4	4	4	5	800	800	0	35	100
5	5	5	6	800	800	0	26	100
6	6	6	7	800	800	0	12	100
7	7	7	8	800	800	0	6	100
8	8	8	9	800	800	0	3	100

Фигура 19 Таблица Дискретизация на ИМХУАСГ

Представят се също изчислените **Участък с най-голямо L/a** и **Брой подучастъци в този най-дълъг участък**. Програмата предлага броя на подучастъците, на които се разделя участъка с най-висока стойност на съотношението L/a , където L и a са съответно дължината на тръбопровода и вълновата скорост. Ако желае, потребителят може да промени този брой като въведе различно число в полето **Брой подучастъци в този най-дълъг участък**,

след което ще трябва да преизчисли дискретизацията с бутона **Преизчисляване**. Ако смятате, че стойността на коригираната скорост *a модиф.* се различава значително от дадената вълнова скорост за участъка, тази разлика може да бъде намалена чрез промяна на броя на подучастъците или установяване на друга схема за анализ, в която се добавят възли от тип 0 в дългите участъци. По този начин се намаляват разликите в дължина между дългите и късите участъци в изчислителната схема, и се намаляват корекциите на скоростта на вълната.

Представят се също изчисленияте **Брой подучастъци в цялата система** и **Стъпка по време в моделирането (с)**. Анализът на преходните процеси в програмата ИМХУАСГ се извършва по метода на характеристиките с равномерна мрежа, т.е. решението напредва във времето на малка стъпка от време Δt , която е еднаква за всички участъци. Програмата разделя участъците на подучастъци с еднаква дължина Δx във всеки участък, която се получава чрез делене на дължината на участък L_i на броя на подучастъците N_i . За целите на изчислителния процес, във всеки един от участъците i отношението между дължината на подучастъка и вълновата скорост a_i трябва да е едно и също. Ако в моделираната хидравлична система има участъци с различни дължини, в общия случай тази връзка няма да бъде точно изпълнена във всички участъци. Тъй като това условие е задължително за работата на метода, в участъците в които е необходимо се прави корекция на скоростта на вълната. На практика тази скорост се определя по формули, които представляват оценка, а не точна стойност, и може да се очаква, че малки вариации няма да повлияят на точността на крайните резултати.

Колкото по-голям е броят на подучастъците, толкова по-точно ще бъде численото решение, крайната информация ще се получи в повече точки, и толкова по-малки ще бъдат корекциите на скоростта на вълната. От друга страна ще са необходими повече памет на машината и повече време за изчисление. Делението, предложено от програмата, не е непременно най-доброто за всеки случай, тъй като за минимизиране на разликите може да са необходими много голям брой подучастъци и времето за анализ може да бъде дълго. По своя преценка потребителят може да промени делението на подучастъци, предложено от програмата, за да направи изпълнението по-бързо, вероятно с известно влошаване на прецизността. Ако в схемата има много къси участъци заедно с други дълги, могат да се получат недопустими корекции на скоростта на вълната в късите участъци. Това може да се поправи чрез въвеждане на нови възли от тип 0 в дългите участъци, при което те се разделят на по-къси участъци.

Командата **Продължителност и визуализация** позволява въвеждането на опционални параметри за визуализация и за контролиране на времето от преходния процес за което искате да моделирате (Фигура 20). Тези са:

- Предопределена продължителност (с).
- Максимална продължителност (с).
- Минимална продължителност (с).

Съобщава се също така теоретичния период на явлениято. Потребителят може да зададе някое от времената, посочени по-горе, като се ръководи от теоретичния период. Но ако желаете, можете да не зададете определено време. В този случай програмата вътрешно ще проверява дали се стига до затихване и моделирането ще

се изпълнява докато се получи затихване на явлението в два последователни периода.

Преходните процеси могат да отнемат много различно време, за да преминат от едно стационарно състояние в друго, но рядко ще трябва да се анализира целият преходен процес. За практически цели обикновено са необходими само максималното и минималното налягане, които възникват в началната част на преходния процес. Ако целта на моделирането е да се получат максималните и минималните налягания, не е важно то да продължи след този момент и може да приключи. Моментите на осъществяване на тези налягания могат да се определят от самото моделиране, но не са предварително известни. Поради тази причина ИМХУАСГ предлага 3 начина за определяне кога моделирането може да бъде завършено:

1. Предварително задаване или ограничение на моделирания интервал от време във входните данни. За тази цел са предоставени споменатите 3 опции на избор:

(а) Предопределена продължителност (с). Ако потребителят въведе стойност за тази данна, моделирането се изпълнява до достигане на указаното време. Необходим е известен опит в анализа на преходни процеси, за да можете да оцените разумна стойност за продължителността на моделирането. Посочването на твърде кратко време крие риск от приключване преди постигането на максималното и минималното налягане, но ако времето е твърде дълго, машинното време може да бъде прекомерно и ненужно.

(б) Минимална продължителност (с). Моделирането приключва не по-рано от указаното време. За някои преходни процеси самата програма предлага стойности за такова минимално време. Тези случаи са:

- Преходни процеси, причинени от затваряне на кран или друг вид затворен орган (типове възли 9 и 12). Моделирането не трябва да бъде завършено преди кранът да се затвори. Програмата предлага като минимално време времето, за което кранът се затваря.

- Спиране на помпи с програмируем затворен орган (възел тип 16). Времето за което той се затваря, е предложено като минимално време.

- Преходни процеси във водноелектрически централи (типове възли 25, 26 и 27). Като минимално време се предлага времето за затваряне или отваряне на турбинния разпределител.

(в) Максимална продължителност (с). Анализът приключва в указаното време, в случай че програмата не го завърши преди това според вътрешния алгоритъм. Тази опция може да бъде използвана за да се избегне прекомерното машинно време.

Продължителност на моделирането и визуализация - C:\IMH\Udar\Bez obratna klapa.cod

Теоретичен период ($4L/a$) (с) 66.5

Предопределена продължителност (с) 0

Максимална продължителност (с) 0

Минимална продължителност (с) 0

Посочете отдолу възлите за които искате визуализация:

- ☒ 1
- ☐ 2
- ☐ 3
- ☐ 4
- ☐ 5
- ☐ 6
- ☐ 7
- ☐ 8
- ☐ 9

Траектория за визуализиране ((последователност от участъци))

Начален възел 1

Краен възел 9

Бързина на моделирането 100%

0% 50% 100%

Упътване

OK

Фигура 20 Параметри на продължителност и визуализация на ИМХУАСГ

За да се улесни потребителят при избора на подходящо време, теоретичният период на преходния процес също се показва на екрана на опцията за време. Периодът на преходен процес е времето между два последователни максимума (или минимума) на кривата на развитието на налягането. В случай на прост тръбопровод периодът е $4L/a$. За да се определи периодът на прехода в общия случай на сложен тръбопровод или мрежа от тръбопроводи, вътрешно в ИМХУАСГ се търси най-дългият път между два възела, измежду всички възможни, единият от които причинява хидравличния удар (като спираща помпа или кран който се затваря) и друг който го отразява (като резервоар или изтичане). Под най-дълъг път тук се разбира пътът с най-голяма сума на L_i/a_i , където L_i и a_i са съответно дължината и вълновата скорост на вълната на различните участъци. Тази сума представлява времето за едно еднопосочно пътуване на вълната на налягане (едно отиване или едно връщане). Определеният по този начин период се нарича теоретичен период, защото е валиден за обикновена тръба. В една мрежа може да има разклонения по пътя на ударната вълна, или няколко резервоара и изтичания, които я отразяват, поради което стойността, определена от програмата, трябва да се счита за приблизителна.

Кавитационните разкъсвания на водната струя могат обаче напълно да променят начина по който преминават преходните процеси, така че при тяхно присъствие са възможни големи разлики по отношение на теоретичния период. Възможни са и случаи, при които преходните процеси не са периодични.

2. Програмата може да определи сама момента, в който трябва да приключи моделирането, за което има заложен специален алгоритъм.
3. По всяко време на моделирането потребителят може да го прекъсне и да премине към крайните резултати. Това прекъсване има приоритет пред останалите две форми. На потребителите се препоръчва да проследяват развитието на налягането графично и да прекъсне моделирането, когато се уверят че преходният процес е навлязъл във фазата на затихване.

По отношение на визуализацията ИМХУАСГ предлага три възможности за визуализиране на модела по време на изпълнение:

1. Може да покаже в цифров вид по време на моделирането налягането, дебита и обема на евенуални разкъсвания на водната струя, за избрани възли. Потребителят може да зададе възлите, за които желае да се показва тази информация. Ако не е указан възел, ИМХУАСГ показва само първия възел на моделираната система.
2. Може да покаже графично развитието на налягането в избраните възли. Избраните възли ще бъдат тези, зададени в точка 1 за цифрова визуализация. По време на изпълнение е възможно да се премине от един възел към друг, за което потребителят трябва да прекъсне моделирането и да посочи възела, за който да се покаже.
3. Да покажете във времето на моделирането изменението на напорната линия, заедно с линиите на максималните и минималните налягания, произведени до дадения момент, в един участък или в траектория от последователни участъци. Пътят на последователните участъци се определя от първия и последния му възел. Програмата предлага маршрута и потребителят може да го промени, за което трябва да се променят данните **Начален възел**, **Краен възел**, или и двете (Фигура 20).

На същия екран потребителят може да зададе бързината на моделирането, от максималната възможна (100%) до по-ниска желана стойност. Това може да е необходимо, когато моделирането преминава твърде бързо и потребителят не може да го следва. Тази скорост може да бъде променена и по всяко време в процеса на моделиране.

Командата **Моделиране** на главното меню дава начало на моделирането. С това се показва подменюто **Моделиране на явлението** (Фигура 21), което съдържа таблица с информация за междинните резултати на избраните възли. Моделирането се изпълнява показвайки непрекъснато следните моментални данни:

- Време (с)
- Номер на стъпката по време
- Напора H (м), дебита Q ($\text{м}^3/\text{с}$) и обема на разкъсване (м^3) за всеки един от предварително избраните за визуализиране възли.

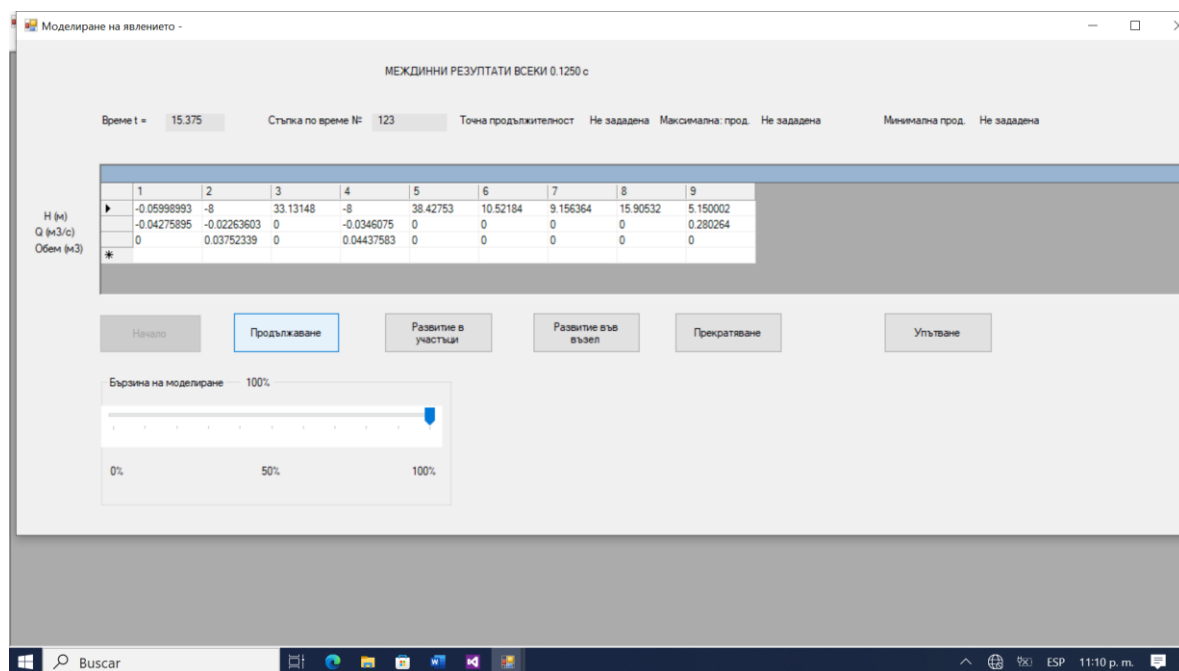
В долната част се появяват следните бутони, за графично показване на преходния процес, за неговото спиране и продължаване, и за прекратяването му:

Развитие в участъци: Представа първо един списък за избор на участък, където при избиране на участък на екрана се представя профилът на терена и графика на еволюцията на напорната линия във времето. Може да бъде избран един участък или траектория на участъци, за които се представя графика на тръбопровода, началната напорна линия и моментната напорна линия която непрекъснато се променя във времето, както и обвивните линии на максимални и минимални налягания до момента (Фигура 22). Тази информация може да бъде откопирана във всеки момент в Клипборда и въведена във всякакъв документ, например на Excel или Word, както в графичен вид като моментна снимка така и във вид на числата от които се състои. Ако се моделира система с повече от един участък, в последния ред на списъка за избор се появява **Траектория**. Избирането на тази опция показва еволюцията на напорната линия в предварително дефинирания маршрут от последователни участъци.

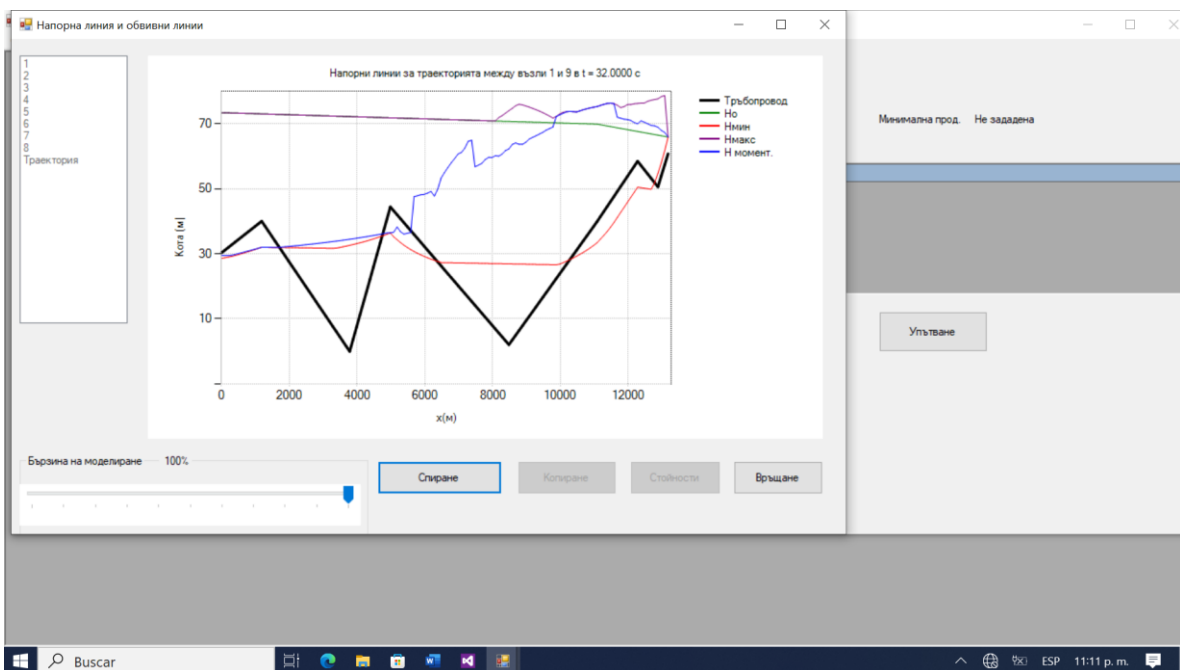
Развитие във възел: Появява таблица с възлите, избрани за междинни резултати. Когато се избере един от възлите се появява съответната графика с развитието на налягането. Хоризонталната ос на тази графика показва времето, а вертикалната ос показва налягането във възела, както е показано на Фигура 23.

Спиране: С активирането на този бутон моделирането спира и името на бутона се променя на **Продължаване**, което означава, че можете да активирате същия бутон отново.

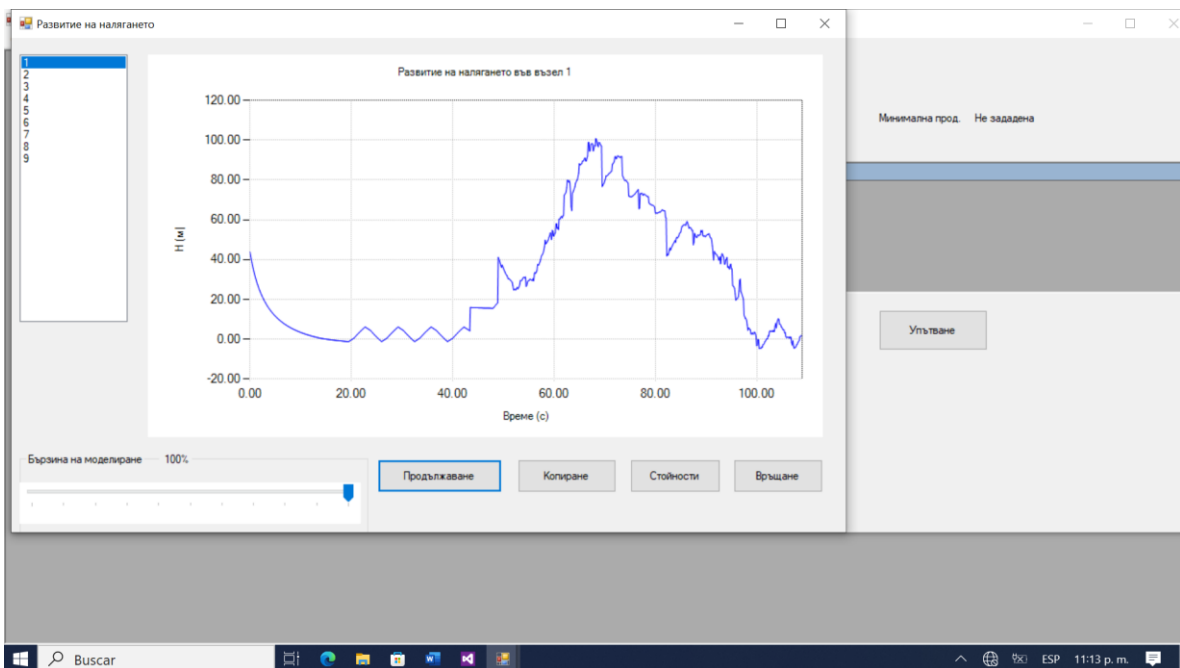
Прекратяване: Спира напълно изпълнението на програмата и предоставя резултатите до момента на прекъсване. Може да се активира от потребителя, когато от показаните резултати стане ясно, че няма смисъл да се продължава моделирането.



Фигура 21 Числени резултати във време на моделирането, за избраните възли



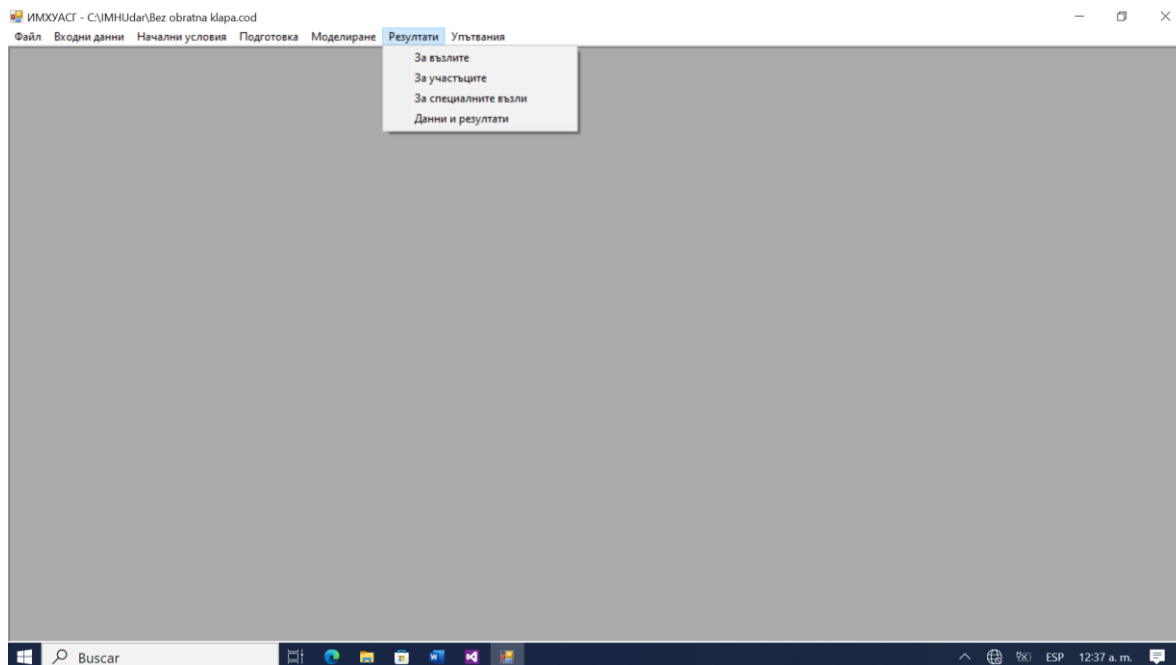
Фигура 22 Показване на преходния процес в последователност от участъци, по време на моделирането



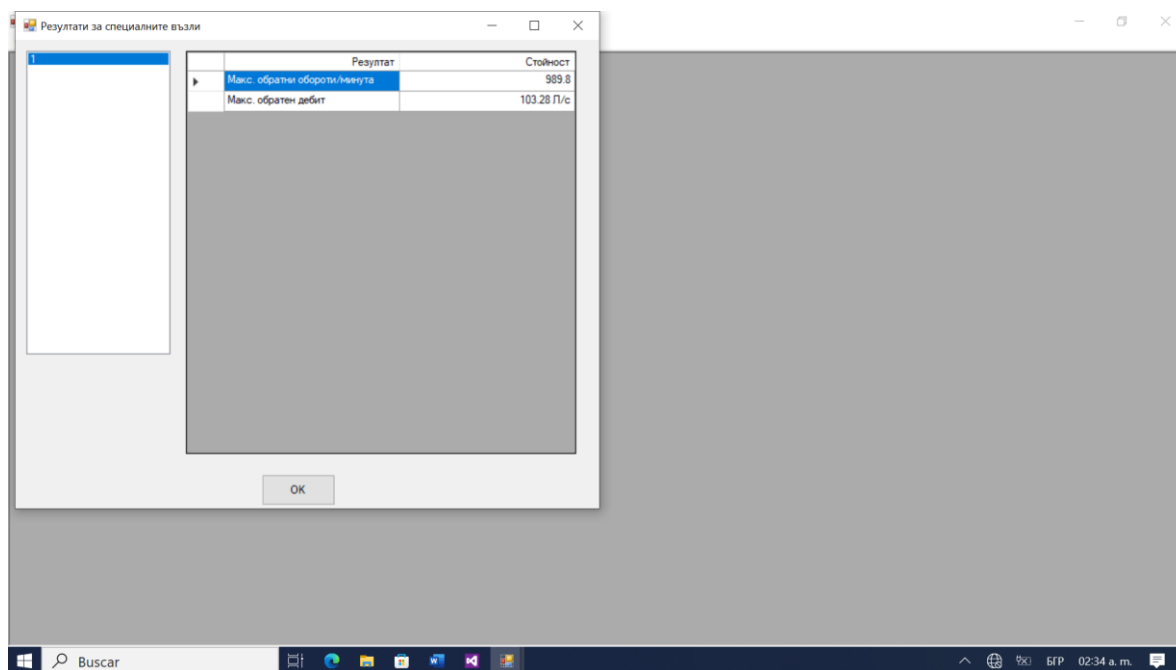
Фигура 23 Показване на преходния процес във възел по време на моделирането

Подменюто **Резултати** (Фигура 24) се дели на: **За възлите**, **За участъците**, **За специалните възли**, и **Данни и резултати**. По същия начин както за междинните резултати, тези крайни резултати могат да бъдат видяни на екрана и по желание откопирани за експортиране в друг софтуер, например Word или Excel, в графична или числена форма (в таблици с данни). За участъците се получават обвивните линии на максималните и минималните налягания в м, обема на разкъсванията в м³ и техния дебит в л/с, регистрирани за времето, за което е

симулиран преходният процес, по начин, подобен на този на Фигура 22. По същия начин, за всеки възел подобно както на Фигура 23. За някои типове възли, които включват средства за защита, използвайки командата **За специалните възли** се предоставят резултати, с които може да бъде оценено дали съответното устройство е проектирано правилно (Фигура 25).



Фигура 24 Подмению Резултати



Фигура 25 Резултати за един специален възел

5 НЕОХОДИМИ ВХОДНИ ДАННИ СПОРЕД ТИП ВЪЗЕЛ

ТИП	ОПИСАНИЕ	ВХОДНИ ДАННИ	МЯРНА ЕДИНИЦА
0	ВЪЗЕЛ БЕЗ СЪОРЪЖЕНИЕ	Не се нуждае	
1	ВИНДКЕСЕЛ	Брой виндкесели Диаметър на виндкесела Диаметър на тръбната връзка Дължина на тръбната връзка Кота дъно виндкесел Кота таван виндкесел Коеф. загуби при втичане Коеф. загуби при изтичане Кота водно ниво във виндкесела Експонент на закона за компресия на въздуха	(мм) (мм) (м) (м) (м) (м) (с ² /м ⁵) (с ² /м ⁵) (м)
2	ВОДНА КУЛА	Диаметър на водната кула Диаметър на тръбната връзка Дължина на тръбната връзка Кота дъно водна кула Коеф. загуби при втичане Коеф. загуби при изтичане	(мм) (мм) (м) (м) (с ² /м ⁵) (с ² /м ⁵)
3	ОТКРИТ РЕЗЕРВОАР ЗА ВПУСКАНЕ НА ВОДА	Диаметър на резервоара Диаметър на тръбната връзка Кота дъно резервоар Кота работно водно ниво в резервоара	(мм) (мм) (м) (м)
4	ЗАТВОРЕН РЕЗЕРВОАР ЗА ВПУСКАНЕ НА ВОДА	Диаметър на резервоара Диаметър на тръбната връзка Кота дъно резервоар Дължина на резервоара Брой въздушници Диаметър на отвора	(мм) (мм) (м) (м) (мм)
5	ВЪЗДУШНИК ЗА ВПУСКАНЕ И ИЗПУСКАНЕ НА ВЪЗДУХ	Брой въздушници Диаметър на отвора	 (мм)
6	ВЪЗДУШНИК ЗА ВПУСКАНЕ И ЗАДЪРЖАНЕ НА ВЪЗДУХ	Брой въздушници Диаметър на отвора	 (мм)
7	ГОЛЯМ РЕЗЕРВОАР ИЛИ СВОБОДНО ИЗТИЧАНЕ	Кота водно ниво или кота изтичане	(м)
8	ИЗТИЧАНЕ ПОД НАПОР	Не се нуждае	
9	СПИРАТЕЛЕН КРАН (пред изтичане)	Тип спирателен кран Диаметър на спирателния кран Диаграма на затваряне	 (мм)
10	УДАРОУБИВАТЕЛ или УДАРОГАСИТЕЛ	Брой удароубиватели Налягане на задействане Налягане на пределно отваряне Дебит при пределно отваряне	 (м) (м) (л/с)
11	УДАРОУБИВАТЕЛ (пред изтичане)	Брой удароубиватели Налягане на задействане (м) Налягане на пределно отваряне Дебит при пределно отваряне	 (м) (м) (л/с)
12	УДАРОУБИВАТЕЛ + СПИРАТЕЛЕН КРАН (пред изтичане)	Данните за тип 10 плюс тези за тип 9	
13	Помпа в начална или крайна	Брой помпи	

до 24	точка, без и със съоръжения	Номинални обороти в минута Махов момент GD^2 Местни загуби на напор Q с което са изчислени Кота водно ниво ХАРАКТЕРИСТИЧНИ КРИВИ (вж. Пояснение отдолу)	(об. /мин) (кг.м ²) (м) (л/с) (м)
25 до 27	ВОДНО ЕЛЕКТРИЧЕСКА ЦЕНТРАЛА	Брой турбини Номинални обороти/мин Махов момент GD^2 Максимален КПД на турбината Степен на отваряне за макс. КПД Оптимални обороти/мин Време за затваряне на направляващия апарат Местни загуби на напор ВЕЦ Q с което са изчислени Кота водно ниво Специфични обороти (метрични, 110-680)	(об. /мин) (кг.м ²) (%) (%) (об. /мин) (с) (м) (л/с) (м)
32	ВЪТРЕШНА ПОМПА, с обратна клапа	Брой помпи Номинални обороти в минута Махов момент GD^2 Местни загуби на напор Q с което са изчислени ХАРАКТЕРИСТИЧНИ КРИВИ (вж. Пояснение по надолу)	(об. /мин) (кг.м ²) (м) (л/с)
34	НЕПРОМЕНЯЩА СЕ КОНСУМАЦИЯ	Дебит	(л/с)
48	ВЪТРЕШНА ПОМПА+ПРОГРАМИРУЕМ ЗАТВОРЕН ОРГАН	Брой помпи Номинални обороти в минута Махов момент GD^2 Местни загуби на напор Q с което са изчислени Диаметър на затворния орган Тип затворен орган Диаграма на затваряне ХАРАКТЕРИСТИЧНИ КРИВИ (вж. Пояснение отдолу)	(об. /мин) (кг.м ²) (м) (л/с) (мм)

Пояснения

1. Данни за характеристиката на помпата:

Може да се даде посредством минимум три точки и максимум десет. Подразбиращото се число е три. За всяка точка се въвежда дебита и съответстващите на този дебит напор и КПД. Точките по принцип могат да бъдат произволни, стига да включват представителен диапазон от възможни дебита при нормална работа на помпата и при преходни процеси.

Изчислителният метод изисква кривата дебит-напор да е изпъкнала (нагоре), за дадената зона на работа на помпите. Точките трябва да бъдат избрани по такъв начин, че това условие да е изпълнено. Ако не се изпълнява, е за предпочитане да се ограничи кривата в по-тесен диапазон, но само ако, разбира се, може да се очаква че работната точка ще се получи в този диапазон. Програмата проверява дали кривата е изпъкнала. Ако това не е така се изпраща съобщение и изчислението не продължава, докато данните за кривата не бъдат коригирани.

При вертикални многостъпални помпи се въвежда напора на една степен, умножен по броя степени.

2. За възли с помпи (типове 13 до 24, 32 и 48) параметърът GD^2 се отнася за въртящите се части на групата мотор-помпа и изразява инерцията на групата. Колкото по-голяма е тази инерция, толкова по-бавно помпите спират и по-малък е хидравличния удар.

Въртящите се части на помпено оборудване са роторът на електродвигателя, работното колело на помпата, заедно с водата вътре в него и валът на оборудването. GD^2 на този набор ще бъде равен на сумата от GD^2 на трите компонента и следователно е интегрален параметър, който изразява теглото и начина по който това тегло се разпределя по дадения радиус. Това са данни, които се получават от специализиран лабораторен тест и трябва да бъдат предоставени от производителите на помпата и електродвигателя.

GD^2 на електродвигателя има доста по-висока стойност от тази на помпата и вала, свързан към нея.

В някои каталози вместо GD^2 (тегло.диаметър²) се използва величината WR^2 (тегло.радиус²). Връзката между двете е следната:

$$GD^2 = 4 WR^2 \quad (1)$$

На практика производителите на електродвигатели предоставят в своите каталози маховия момент на ротора на двигателя, което рядко се случва при производителите на помпи. Поради тази причина в библиографията има изрази, които позволяват приблизително изчисляване на маховия момент на агрегата мотор-помпа като функция от мощността и скоростта на въртене. Една от тях е формулата на Линтън:

$$WR^2 (Kg.m^2) = 150 \left[\frac{P(HP)}{N(rpm)} \right]^{1.435} \quad (2)$$

Тази формула датира от 1960 г. и е получена за двигатели, разположени в диапазона от 120 до 1500 kW и със скорости на въртене между 450 и 1900 об./мин. Използването ѝ в момента не се препоръчва, тъй като конструкцията на двигателя по това време е била по-тежка поради което формулата дава по-голяма инерция, отколкото тази а съвременните двигатели.

Друга формула за инерцията на електродвигателя е тази на "Бюрото за рекултивация, Денвър, Колорадо, 1975":

$$WR^2 = 0.0045 P^{1.38} \quad (3)$$

$$WR^2 = 0.00193 P^{1.38} \quad (4)$$

където P е мощността в Kw, а WR^2 е маховият момент в Kg.m².

Формула (3) е валидна за скорост 1200 об./мин и формула (4) за скорост от 1800 об./мин. Тези формули, подобно на формулата на Линтън, са остарели.

Формули (3) и (4) осигуряват маховия момент на двигателя, като предполагат добавяне на 10% до 15%, за да се вземе предвид помпата.

Разликата между изчисления по представените формули махов момент и реалния (посочен в каталога на производителя) е толкова по-важна, колкото по-модерна е машината в технологично отношение и колкото повече работни колела има последователно за еднаква мощност. Тази разлика отива в противоположната страна на безопасността (тъй като изчислението дава по-ниски свръхналягания за по-голяма инерция). Други, по-нови формули, които дават инерцията на електродвигателя и помпата поотделно, са тези на Thorley (1991):

$$WR^2(motor) = 0.0043 \left(\frac{P}{N} \right)^{1.48} \quad (5)$$

$$WR^2(bomba) = 0.03768 \left(\frac{P}{N^3} \right)^{0.9556} \quad (6)$$

където P е мощността в Kw, N е номиналната скорост на въртене в хиляди об./мин, и WR^2 е маховият момент в кг.м².

Тъй като са по-нови, формулите на Thorley като цяло дават по-добри резултати. Препоръчително е обаче да търсите маховия момент в каталога на производителя или да изискате от доставчика да направи лабораторен тест за определянето му, а не да използвате формулите.

3. Нивото на водата в черпателния резервоар, за възли с помпи (типове 13 до 24), се отнася до нивото на водата, което се поддържа при постоянна работа на помпите. За помпи в кладенци се взема динамичното ниво в кладенеца.

4. Типовите възли 25, 26 и 27 са за моделиране на хидравличния удар във водоелектрически централи. За тези типове възли маховият момент GD^2 трябва да се изчисли като сбор от GD^2 на движещите се части: ротора на генератора, вала на оборудването, работното колело на турбината и водата, съдържаща се в работното колело. Това е информация, която трябва да бъде предоставена от производителя на оборудването.

Като ниво на изтичане в активните турбини (Pelton) се счита нивото на тръбата, през която излиза водната струя, а в реактивните турбини се счита нивото на нивото на водата в изпускателния канал или водоприемник.

Максималния КПД, и степента на затваряне за Максимален КПД, представляват координатите на точката на Максимален КПД на характеристиките на турбината и стойността на оптималните обороти трябва да се дава с реалната стойност, а не с относителната.

Специфичните обороти не са необходим за активен тип турбини.

За възли тип 25 и 26 се изисква времето за затваряне на разпределителя, а за възел тип 27 се изисква времето за неговото отваряне.

За възел от тип 27, са необходими също следните данни:

- Номинален дебит на турбината (л/с)
- Номинална напор на турбината (м),

отнасящи се до дебит и напора, с които турбината трябва да работи при нормални условия.

5. В данните за типовете възли с виндкесел или водна кула (типове 1, 2 и 17 до 20) участват коефициентите на загуба на напор в тръбната връзка, при втичане и при изтичане. Този коефициент K се определя от следното уравнение:

$$\Delta H = K Q^2$$

където ΔH е загубата на напор в тръбната връзка и Q е дебита, която преминава през нея.

6. За типове възли с виндкесел (типове 1, 17 и 18) се изисква коефициентът C на политропния закон, който изразява вида на процеса на компресиране на въздуха. За изотермичен процес $C = 1$, а за адиабатен процес $C = 1,414$. Действителният процес не е нито чисто изотермичен, нито чисто адиабатен, така че обикновено се приема средна стойност $C = 1.2$. Въпреки това, моделирането може да се извърши с различни стойности на C за по-голяма сигурност.

6 НЕОХОДИМИ ВХОДНИ ДАННИ СПОРЕД ТИП УЧАСТЪК

ТИП	ОПИСАНИЕ	ВХОДНИ ДАННИ	МЯРНА ЕДИНИЦА
0	ТРЪБОПРОВОД	Дължина Диаметър Коеф. загуби на напор или Грапавина Вълнова скорост	(м) (мм) (мм) (м/с)
1	МЕСТНО СЪПРОТИВЛЕНИЕ	Диаметър Коеф. <i>K</i> загуби на напор	(мм)
2	ОБРАТНА КЛАПА	Никакви	
3	ЗАТВОРЕН УЧАСТЪК	Никакви	
4	ВЪТРЕШНА ПОМПА	Данните за тип възел 32 и 48	

7 ПРЕПОРЪЧИТЕЛНА ПРОЦЕДУРА ЗА ИЗВЪРШВАНЕ НА ЕДНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ХИДРАВЛИЧЕН УДАР

1. Изгответе схема на хидравличната система, като я представите чрез възли, съединени от участъци.

Възел е точка в която е разположено системно устройство, точка с важна промяна в наклона на терена и др. Всеки възел се характеризира със само една стойност на напора.

Участък е тръба с постоянни параметри или друга съставна част която се характеризира с две стойности на напора, като например ясно изразено местно хидравлично съпротивление или помпа, свързани последователно.

2. Въведете входните данни в програмата НУАСГ за моделиране на стационарни течения. Ако се анализира помпена система, използвайте тип възел 14, за да представите помпената инсталация.
3. Изпълнете програмата НУАСГ и прегледайте резултатите. Те ще служат като начални условия за моделирането на хидравличния удар.

По принцип, можете и да преминете директно към точка 6, без да използвате програмата НУАСГ, въвеждайки всички входни данни директно в ИМХУАСГ. За да го направите по този начин трябва обаче да знаете точните стойности на дебитите в участъците при нормална работа, които трябва да са напълно съобразени с останалите данни на системата. В някои случаи можете да използвате програмата Epanet, за да получите тези дебита, стига да използвате едни и същи Входни данни в Epanet и ИМХУАСГ, но е твърде възможно резултатите да не съвпадат напълно.

4. Запишете файла *.cod, генериран от програмата HYASГ след нейното изпълнение.
5. Изтеглете файла *.cod в ИМХУАСГ. Допълнете входните данни с онези които са нужни за изследване на хидравличния удар, такива като вълнова скорост и махов момент GD^2 .
6. Моделирайте хидравличния удар в ИМХУАСГ без средства за защита.
7. Проверете дали тръбите могат да издържат получените максимални и минимални налягания. Проверката за минимални налягания е необходима, когато се появят отрицателни налягания в преходния процес, тъй като някои тръби могат да бъдат смачкани от атмосферното налягане при такива условия.
8. Ако тръбите издържат получените налягания, изследването приключва. В противен случай се добавят някои съоръжения за защита и се моделира отново с ИМХУАСГ.

За да добавите съоръжения за защита, променете типа възел, например:

За да добавите виндкесел към помпената инсталация, типът на възела се променя от 14 на 18.

За да добавите въздушник в тръбопровода, типът на възела се променя от 0 на 5.

Съоръженията за защита които трябва да се добавят зависят от случая. Някои съоръжения са подходящи в един случай, а други в друг. Трябва да се пробва с различни приложими съоръжения и с различен техен брой и размери, и да се избере най-подходящото. Препоръки в това отношение са извън обсега на това ръководство.