

## SELECTION OF VARIABLES AND CRITERIA FOR EVALUATION OF VIBRATING ARC PROCESS DURING RECONDITIONING OF DETAILS FROM CONSTRUCTION AND AGRICULTURAL MACHINERY<sup>9</sup>

---

**Assoc. Prof. Mitko Nikolov, DSc**

Department of Repair, Reliability, Mechanisms, Machines, Logistics and Chemical Technologies

University of Ruse “Angel Kanchev”, Bulgaria

Tel.: +359 82 888 458

E-mail: [mnikolov@uni-ruse.bg](mailto:mnikolov@uni-ruse.bg)

**Assist. Prof. Piya Todorov, PhD**

Department of Repair, Reliability, Mechanisms, Machines, Logistics and Chemical Technologies,

“Angel Kanchev” University of Ruse, Bulgaria

Tel.: +359 82 888 239

E-mail: [itodorov@uni-ruse.bg](mailto:itodorov@uni-ruse.bg)

***Abstract:** The variables and criteria for an evaluation of the vibrating arc process during reconditioning of details from construction and agricultural machinery are determined in the article. A quality criterion for an evaluation of the properties of deposited layers is accepted as a main criterion. It is defined by the tribological properties of the deposited layers – mainly due its wear resistance. The process variables might be divided into two main groups – cinematic and technological, which includes the speed of deposition affecting the process productivity; wire electrode vibrating frequency and amplitude affecting the process stability; type and composition of gas shielding atmosphere affecting the transfer of molten metal as well as the type and composition of the wire electrode itself.*

***Keywords:** vibrating arc overlaying, process variables, criteria for evaluation*

### ВЪВЕДЕНИЕ

Решаването на проблемите на надеждността и трайността на подемно-транспортната и земеделска техника представлява огромен резерв за повишаване ефективността при използване и е особено актуално при ремонта на тази техника. Един от начините за решаване на този проблем в съвременните условия е възстановяване на износените им детайли чрез вибродъгово наваряване.

Кибернетичният модел на методиката за изследване включва в себеси входни фактори и изходни параметри. Входните фактори се определят от факторите на въздействие и тяхното влияние върху изходните параметри. Изходните параметри определят свойствата на получените възстановителни покрития получени чрез вибродъгово наваряване.

Броят на възможните въздействия върху обекта практически е неограничен, от там и броят фактори с които трябва да се срещнем в реалната ситуация. Всеки метод за възстановяване на износени детайли има свои характерни фактори на въздействие, които оказват влияние върху експлоатационните свойства на възстановените детайли, определящи тяхната трайност (Бекана 2020; Кангалов 2019; Valov I Valova 2019).

Целите, които се постигат с наваряването определят коренно различен подход по отношение на избирането на входните фактори и изходните параметри в сравнение с тези при заваряването.

---

<sup>9</sup> Докладът е представен на онлайн сесията на секция „Ремонт и надеждност“ на 29 октомври 2021 г. с оригинално заглавие на български език: ИЗБОР НА КРИТЕРИИ ЗА ОЦЕНКА И ФАКТОРИ НА ВЪЗДЕЙСТВИЕ НА ПРОТИЧАНЕТО НА ВИБРОДЪГОВИЯ ПРОЦЕС ПРИ НАВАРЯВАНЕ НА ДЕТАЙЛИ ОТ ПОДЕМНО-ТРАНСПОРТНА И ЗЕМЕДЕЛСКА ТЕХНИКА

**Целта** на настоящата работа е да се определят критериите за оценка и факторите на въздействие върху протичането на вибродъговото наваряване на детайли от подемно-транспортната и земеделска техника.

За обект на изследването са износените детайли от подемно-транспортната и земеделска техника подлежащи на възстановяване чрез вибродъгово наваряване.

### ИЗЛОЖЕНИЕ

В зависимост от важността си изходните параметри на обекта се подразделят на показатели и критерии. Най-важни от тях се избират за критериите. Те биват качествени, количествени и стойности (себестойност). Критериите по които се извършваше оценката на вибродъговите възстановителни покрития са качествени (табл. 1).

За оценка свойствата на качеството на покритията е приет комплексният метод, като най-важна характеристика на качеството е надеждността. Надеждността на възстановените детайли от подемно-транспортната и земеделска техника зависи от характеристиките на показателите на тяхната трайност. Най-важните експлоатационни свойства, определящи трайността са износоустойчивост, якост на умора и якост на сцепление.

Таблица 1. Класификация на изходните параметри за оценка на вибродъговото наваряване и последователността на избора им

№	Класификационен признак	Видове
1.	Степен на важност на изходните параметри	Показатели Критерии
2.	Характер на критериите	Качествени Количествени Стойности /Себестойност
3.	Структура на свойствата на качеството	Технико-икономически Социални Биоекологически Надеждности
4.	Структура на надеждностните свойства	Безотказност Трайност Ремонтопригодност Съхраняемост Стабилност
5.	Характер на трайностните експлоатационни свойства на възстановителните покрития	Износоустойчивост Уморна якост Якост на сцепление

Износоустойчивостта е свойството на материала да оказва съпротивление на процеса на износване в определени условия на триене, което се оценява с големината, обратно пропорционална на скоростта на износването или интензивността на износването. Износоустойчивостта на триещите се повърхности на детайлите е основна за тяхната трайност поради факта, че 85-90% от машините губят своята работоспособност, поради износване. Износоустойчивостта на наварените възстановителни покрития се определя от големината на износване в процеса на сработване и установено износване.

При неспазване на технологическите режими при възстановяването на детайли с наваряване могат да се предизвикат големи остатъчни напрежения на опън, които намаляват уморната якост на детайлите. От литературата е известно, че това намаление е в рамките на 30-50 %. Определянето на уморната якост на вибродъгово наварените покрития в газови смеси не е обект на това изследване (Бекана 2019; Колев и др. 2006; Кангалов и др. 2015).

Връзката между навареният слой и детайла (якостта на сцепление) е металургична с достатъчна здравина и при спазване на технологическия режим не оказва влияние върху

експлоатационните свойства на навареното покритие, за това не се разглежда в това изследване.

Групирането на факторите може да се извърши по различни признаци. Задачата за анализиране на влиянието на всички фактори върху процеса на вибродъгово наваряване в газови смеси е решена след проучване на литературата (Бекана 2020; Кангалов 2019; Nikolov, Kangalov 2012; Николов 2019). Факторите на въздействие могат да бъдат разпределени в три основни групи: управляеми; контролируеми и неуправяеми. Най-важни за експерименталното изследване са управляемите фактори, а контролируемите се задават и поддържат в определени граници по време на експеримента.

Управляемите фактори включват: фактори на режима, средата и условията и материалите. Качеството на възстановителното покритие и неговите експлоатационни свойства зависят от параметрите на режима. Режимът на вибродъгово наваряване в газови смеси се определя от три групи параметри: електрически, кинематически и технологически. Структурата на тези параметри е показана в табл. 2.

Таблица 2. Структура на параметрите на режима за вибродъгово наваряване на детайли от подемно-транспортната и земеделска техника

№	Видове	Параметри	Означение
1.	Електрически	1. Електрично напрежение 2. Големина на ел. ток	U I
2.	Кинематически	1. Скорост на наваряване 2. Скорост на подаване на ел.тел 3. Честота на вибрациите 4. Амплитуда на вибрациите 5. Стъпка на наваряване 6. Излаз на електродния тел	$V_H$ $V_T$ f $\lambda$ $S_H$ $I_T$
3.	Технологически	1. Дебелина на наваряването 2. Диаметър на електродния тел 3. Диаметър на детайла 4. Дължина на наваряването 5. Наварена площ 6. Време за наваряване 7. Материал на електродния тел 8. Състав на защитния газ 9. Дебит на защитния газ	$\delta_H$ d <sub>T</sub> D <sub>H</sub> L <sub>H</sub> F <sub>H</sub> t <sub>H</sub> M <sub>T</sub> C <sub>G</sub> q <sub>G</sub>

Към електрическите параметри на процеса на вибродъгово наваряване се отнасят: векторите на параметрите на електрическото напрежение и големина на електрическия ток със съответните им компоненти.

Електрическото напрежение оказва съществено влияние върху процеса на наваряване и физико-механическите свойства на наварения метал. С намаляване на напрежението се намалява разпръскването на метала и изгарянето на легиращите елементи, но се влошава формообразуването, като се намалява ширината и увеличава височината на наварения шев. Желателно е наваряването да се извършва при минимално напрежение, което може да осигури устойчиво горене на дъгата.

Големината на електрическия ток се определя от напрежението, диаметъра на електродния тел и скоростта на неговото подаване. С увеличаване плътността и големината на тока се повишава производителността на процеса и устойчивостта на дъгата, но се увеличава дълбочината на провара и зоната на термично влияние.

Изследването на процеса на вибродъгово наваряване е съпроводено със записване и отчитане на работното електрическо напрежение и големина на тока. За измерване и записване на големината на тока в захранващата верига на вибродъговия апарат са включени подходящи

шунтови съпротивления. Динамиката на изменение на тези параметри се записва с помощта на аналогово цифровия преобразувател на NATIONAL INSTRUMENTS модел NI USB 6210.

Към кинематическите параметри на процеса на вибродъгово наваряване се отнасят: скорост на наваряване; скорост на подаване на електродния тел; честота и амплитуда на вибрациите на електродния тел; стъпка на наваряване; излаз на електродния тел.

Чрез скоростта на наваряване се определят останалите параметри на процеса на вибродъгово наваряване и преди всичко производителността на процеса. Наваряването в газозащитна среда може да се извършва с по-висока скорост в сравнение с останалите методи за наваряване. С увеличаване скоростта на наваряване се намалява дълбочината на проваряване, дебелината на слоя и възможността за образуване на пори в наварения метал (Николов 2019). В зависимост от скоростта на наваряване и диаметъра на детайла се определя честотата на въртенето му.

Скоростта на подаване на електродния тел може да се разглежда като произведен фактор, които оказва преди всичко влияние върху дебелината на покритието и големината на тока и се определя в зависимост от скоростта на наваряването. Значителното увеличаване скоростта на подаване на електродния тел при зададени параметри на източника довежда от начало до увеличаване честотата на късите съединения, а след това до увеличаване продължителността им и появата на празни ходове (Николов 2019; Тодоров 2013).

Изследването на електродъговите процеси при наваряване се извършва заедно с вибродъговите процеси. Използването на вибрациите е един от съвременните методи за интензификация на технологическия процес. Вибрациите на електродния тел съществено влияят върху процеса на наваряване и качеството на наварения слой. В следствие вибрациите на електрода, процесът на наваряването представлява редуването на много кратки цикли, състоящи се от късо съединение и дъгов разряд (Николов 2019; Todorov 2019; Стоянов и др., 2001).

Вибрациите на електродния тел са средство за подобряване на режима на наваряване и надеждността на технологическия процес. Вибрациите рязко съкращават в началото периода за установяване на стабилен процес на наваряване, бързо отстраняват възникналите отклонения, значително разширява диапазона на режима за наваряване и възможността за регулиране физико-химическите и топлинните процеси на наваряване и съществено подобряват пренасянето на електродния метал и качеството на наварения слой (Деликостов 2020; Valov, Valova 2017).

Амплитудата на вибрациите, както и честотата им определят вибродъговия процес, а така също и параметрите на цикъла (време на горене на дъгата и на късо съединение). Честотата на вибрациите на електродния тел е важно средство за регулиране на протичащите при наваряване процеси, оказвайки положително влияние. Многократно се намалява периода на установяване на процеса, увеличава се устойчивостта на процеса, намаляват се загубите на електроден метал, подобрява се качеството на наварения метал. Амплитудата на вибрациите оказва влияние върху необходимата индуктивност на източника и зависи от характера на защитната среда (Николов 2019; Тодоров 2013; Nikolov, Kangalov 2012).

Установено е, че 80-90 % от топлината се отделя в периода на дъговия разряд и само 10-20 % в периода на късото съединение (Николов 2019). При късото съединение топлината се отделя почти изцяло в излаза на електрода и мостчето разтопен метал между електрода и заваръчната вана, а наварявания детайл се загрива при горене на дъгата (Todorov 2019). При определена амплитуда на вибрации на електродния тел, може да се постигне оптимално съотношение между продължителността на късото съединение и дъговия разряд.

Стъпката на наваряване влияе върху грапавостта на покритието и се подбира така, че да подсигури препокриване на заваръчните шевове от една трета.

Излазът на електродният тел зависи от диаметъра му, от относителното електрическо съпротивление на електродния материал и големината на тока. Излазът на електродния тел оказва влияние също върху ефективността на газовата защита, замърсяването на заваръчната дюза и ефективното използване на заваръчния ток (Бекана 2020; Кангалов 2019; Николов 2019).

Технологическите параметри на процеса на наваряване имат съществено значение за пренасяне на разтопения метал и формиране на качествено покритие. Изменението на тези параметри в зависимост от скоростта на наваряване и амплитудата на вибрации при вибродъгово наваряване в защитна среда от моно газове въглероден двуокис или аргон и техните смеси е недостатъчно изследвано (Николов 2019; Тодоров 2013; Nikolov, Kangalov 2012; Бекана 2019; Колев и др. 2006).

Към технологическите параметри на процеса на вибродъгово наваряване се отнасят: дебелина на наваряването; диаметър на електродния тел; диаметър на детайла; дължина на наваряването; наварена площ; време за наваряване; материал на електродния тел; състав на защитния газ; дебит на защитния газ.

Дебелината на наварения слой се определя от големината на износването на работната повърхност и прибавката за механична обработка. В настоящата работа дебелината на покритието се подбира, така че да удовлетворява условието за възстановяване износените повърхнини на детайли от подемно-транспортната и земеделска техника.

Диаметъра на електродния тел се избира в зависимост от дебелината на наварения слой. Електродни телове с диаметри до 1,0 mm намират ограничено приложение при вибродъговото наваряване, поради тяхната голяма производствена цена. Според някои автори (Николов 2019; Тодоров 2013; Кангалов 2019) най-често използваните диаметри електродни телове за заваряване и наваряване са между 1,2-1,6 mm.

По-големите диаметри се използват при наваряване на детайли с много големи износвания и размери. Те натоварват топлинно повече наварените детайли и опасността от деформации е голяма. Освен това при определен заваръчен ток преминаването към по-малък диаметър на електрода води до увеличаване броя на капките и намаляване на средния им диаметър, което намалява изгарянето на легиращите елементи в електродния тел и подобрява формирането на шева, но довежда до значително снижаване на производителността.

Диаметъра на детайла и дължината на наваряване определят габаритите на детайла и способността му да поема топлинното натоварване. От тях се изчислява наварената площ, а с помощта на стъпката и скоростта на наваряване се определя времето за наваряване.

Формирането на навареното покритие има важно значение за качеството на възстановяваните детайли, разходите на труд при последващата механическа обработка и производителност на технологичния процес (Николов 2019; Тодоров 2013). Съществено влияние върху формирането на вибронаварените покрития оказва пространственото разположение на вибродъговия апарат. То се определя от: ъгъл на точката на горене на дъгата по окръжността на детайла; ъгъл на подвеждане на електродния тел към окръжността на детайла; хоризонтален ъгъл на подвеждане на електродния тел. В процеса на изследването тези ъгли са приети постоянни, като са избрани оптималните им стойности (Николов 2019; Todorov I. 2019).

Химическият състав на теловите е фактор чрез който може да се регулира качеството на наварените покрития в газови смеси. Изборът на електродния тел се извършва с цел получаване на наваръчни покрития с определени свойства (износоустойчивост, твърдост, корозионна устойчивост и др.) (Николов 2019; Тодоров 2013; Кангалов 2019). При заваряването в газова защита се извършва интензивно смесване на основния и електроден метал. Поради това химическият състав на основния метал оказва съществено влияние върху качествата на навареното покритие (Николов 2019; Todorov I. 2019).

Видът и състава на защитната газова среда според авторите (Николов 2019; Тодоров 2013; Кангалов 2019; Бекана 2019; Колев и др. 2006) оказва съществено влияние върху протичането на електродъговия процес, пренасянето на метала и формирането на наварения метал. Значителните различия в плътността и топлопроводимостта на газовете определят техните защитни свойства, а така също и условията за горене на дъгата.

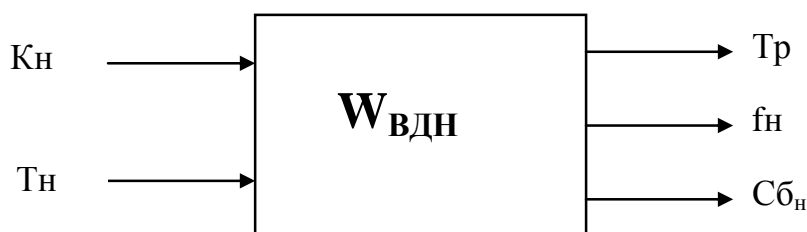
В случаите когато защитната среда е съставена от дилоциращи се газове като азот, въглероден двуокис, водород и др. поради физическите процеси протичащи в газовете в непосредствена близост до електродния връх, капкоотделянето е затруднено, капката остава по-продължително време на електродния връх и нараства по маса и обем, получава се

характерен въртящ момент, предизвикан от нестабилното катодно петно, и често капките се изхвърлят встрани от дъгата (Николов 2019; Todorov I. 2019).

При аргона, хелия и другите едно атомни инертни газове дъговият разряд се поддържа от йонизираната плазма, която обгръща електродния връх, а магнитното поле предизвиква свиването ѝ около стълба, с което упражнява радиално налягане върху разтопения метал, силно подпомагайки с това струйното преминаване на капките през дъговия промеждутък (Николов 2019; Тодоров 2013).

Дюзата на вибродъговия апарат, през която изтича защитния газ определя формата и размерите на изтичащата газова струя. Тя трябва да осигури ламинарен поток без завихряне, като изтичащият газ плътно покрива електрическата дъга и самата заваръчна вана до пълното ѝ кристализиране. Ефективността на газовата защита се влияе значително от натрупването на пръски по дюзата, а така също и от скоростта на наваряване (Бекана 2020; Николов 2019; Кангалов 2019).

Дебита на защитния газ зависи от размерите и формата на заваръчната дюза и при прекомерно увеличаване може да наруши ламинарното изтичане на газовата струя.



Фиг. 1. Модел за изследване на наварени покрития в защитни газове:

Кн – Кинематически параметри; Тн – технологически параметри; Тр – трибологични свойства;  $f_n$  – площ на наваряване за единица време;  $C_{бн}$  – себестойност на единица наварена площ.

От направения кратък анализ за влиянието на входните фактори върху процеса и свойствата на наварените вибродъгови покрития в газова защита са определени критерии за оценка и фактори на въздействие на протичането на вибродъговия процес при наваряване на детайли от подемно-транспортна и земеделска техника. Факторите на въздействие могат да се сведат до две групи кинематически и технологически параметри (фиг.1). Кинематическите включват: скорост на наваряване, като определяща производителността и останалите параметри; честота и амплитуда на вибрациите характеризиращи вибродъговия процес. Технологическите са: вид и състав на газовата защита оказващ влияние върху пренасянето на електродния метал и материала на електродния тел.

Като критерии за оценка на свойствата на вибродъгово наварените покрития в газова защита са приети основно качествените. Те се определят от трибологическите свойства на възстановителното вибродъгово покритие. За спомагателни критерии се използват количествените и себестойността, педствени от: площта на наваряване за единица време и себестойността на единица наварена площ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Определени са критериите за оценка и факторите на въздействие на протичането на вибродъговия процес при наваряване на детайли от подемно-транспортната и земеделската техника.
2. Като основен критерии за оценка на свойствата на вибродъгово наварените покрития в газова защита е приет качествения. Той се определят главно от трибологическите свойства на възстановителното вибродъгово покритие, а именно неговата износоустойчивост.

3. Факторите на въздействие могат да се сведат до две групи кинематически и технологически параметри. Кинематическите включват: скорост на наваряване, като определяща производителността и останалите параметри; честота и амплитуда на вибрациите характеризиращи вибродъговия процес. Технологическите са: вид и състав на газовата защита оказващ влияние върху пренасянето на електродния метал и материала на електродния тел.

## REFERENCES

Bekana D. (2020) Optimizing the maintenance of agro-industrial equipment, Academic Publishing House University of Ruse p. 130, ISBN 978-954-712-800-2, **(Оригинално заглавие: Бекана Д. (2020) Оптимизиране поддържането на аграрно-индустриалната техника, Русе: Академично издателство Русенски университет, с. 150, ISBN 978-954-712-800-2).**

Kangalov P. (2019) Rebuilding electrolytic alloys coatings. Scientific Monograph. Academic Publishing House University of Ruse, p. 170, ISBN 978-954-712-785-2 **(Оригинално заглавие: Кангалов П. (2019) Възстановителни покрития от електролитни сплави – научна монография. Русе: Академично издателство Русенски университет, р. 170, ISBN 978-954-712-785-2).**

Kangalov P., D. Beleva, K. Dyakova-Dimitrova (2015) Determination of the initial structural characteristics of the pair shaft-sliding bearing of tractor engines. В: Scientific works of Angel Kanchev University, Vol 54, s.1.1, pp. 210-216, ISSN 1311-3321, **(Оригинално заглавие: Кангалов П., Д. Белева, К. Дякова-Димитрова (2015) Определяне на началните структурни характеристики на двоицата вал-плъзгащ лагер от автотракторни двигатели.// Научни трудове на Русенския университет, брой т.54, с.1.1, стр. 210-216, ISSN 1311-3321)**

Kolev Z., H. Beloev, D. Bekana (2006) Investigation of the mode of automatic electric arc surfacing in a protective environment of carbon dioxide on worn cast iron parts from the tractor and agricultural machinery.// Agricultural machinery, Sofia, book 5, pp.12-20, ISSN 0037-1718, **(Оригинално заглавие: Колев Ж., Хр. Белолев, Д. Бекана (2006) Изследване режима на автоматично електродъгово наваряване в защитна среда от въглероден диоксид на износени чугунени детайли от автотракторната и земеделската техника.// Селскостопанска техника, София, брой 5, стр. 12-20, ISSN 0037-1718).**

Nikolov M., P. Kangalov. (2012) Benefits from maintenance and repair in utilization of resources. IN: Mendeltech International 2012 – International Scientific Conference, No 1, Brno, ISBN 978-80-7375-625-3.

Nikolov M, (2019) Rebuilding Overlaid Coatings Obtained Through Vibrating Arc Overlaying Process in an Atmosphere of Shielding Gas and its Mixtures - Scientific Monograph, Academic Publishing House University of Ruse, p. 144. ISBN 978-954-712-756-2 **(Оригинално заглавие: Николов М. (2019), Възстановителни вибронаварени покрития в защитни газове и техните смеси - научна монография, Русе: Академично издателство „Русенски университет, р. 144, ISBN 978-954-712-756-2).**

Todorov, I. (2013) Influence of the amplitude of vibrations on the technological parameters of the mode during vibroarc surfacing of details from the tractor and agricultural machinery. В: Scientific works of Angel Kanchev University, Vol 52, s 1.1, Ruse, pp. 293-296, ISSN 1311 3321, **(Оригинално заглавие: Тодоров И., (2013) Влияние на амплитудата на вибрации върху технологическите параметри на режима при вибродъгово наваряване на детайли от автотракторната и земеделска техника. В: Научни трудове на РУ „Ангел Кънчев“ том 52, с. 1,1, Русе, с. 293-296, ISSN 1311 3321).**

Todorov I. (2019) A Research about Wear Process of Details from Belt Conveyor.// Agricultural, forest and transport machinery and technologies, No Vol. VI, pp. 5-10, ISSN 2367-5888.

Stoyanov V., D. Bekana, T. Delikostov, (2001) Repair as a form of recycling. В: Scientific works of Angel Kanchev University, Vol 38, s Mechanization, agricultural machinery and technologies, Ruse,

pp. 93-96, ISSN 1311-3321, (**Оригинално заглавие:** Стоянов В., Д. Бекана, Т. Деликостов, (2001) *Ремонта като форма за рециклиране*, В: *Научни трудове на РУ „Ангел Кънчев“*, том 38, серия „Механизация, земеделска техника и технологии“, Русе, с.93-96, ISSN 1311-3321).

Delikostov T., (2020) Management of fuel combustion of internal combustion engines from agricultural and tractor equipment by maintaining the food system. Scientific Monograph. Ruse, Academic Publishing House University of Ruse, p.136, ISBN 978-954-712-799-9, (**Оригинално заглавие:** Деликостов Т. (2020) *Управление разхода на гориво на ДВГ от земеделската и автотракторна техника чрез поддържане на хранителната система – научна монография*, Русе: Академично издателство Русенски университет, с.136, ISBN 978-954-712-799-9).

Valov, N., Valova, I. (2019) Raspberry Pi as a Tool to Combine Different Courses Part of University Education IN 18th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET 2019) ISBN: 9781728124643.

Valov, N., Valova, I. (2017) Drying process management laboratory with remote access. International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training, ITHET 2017, doi:10.1109/ITHET.2017.8067800.