

**Bibliography (transliterated):** 1. Kaporovich V.G. Obkatka v proizvodstve metalloizdelij / V. G. Kaparovich // – Moscow: Mashinostroenie, 1978. – 134 p; 2. Kaporovich V.G. Obkatka v proizvodstve metalloizdelij / V. G. Kaparovich // – Moscow: Mashinostroenie, 1973. – 168 p.; 3. Proizvodstvo izdelij Mashinostroenija gorjachej obkatkoj: monografija /V. S. Ryzhikov [i dr.] // – Kramatorsk: DGMA, 2006. – 284 p. – ISBN966–379–067–9; 4. Pyc Ja.E Analiz uslovij rotacionnoj obkatki tolstostennyh izdelij iz trub /Ja. E. Pyc // Sovershenstvovanie processov i oborudovaniya obrabotki davleniem v metallurgii i mashinostroenii: Tematic. sborn. nauchn. trudov – Kramatorsk, 2001. P. 361–364.3; 5. Kaporovich V.G., Opredelenie raboty poleznogo formoizmenenija pri obkatke / /V. G. Kaparovich, V. A. Palamarchuk // Rukopis' deponirovana v UkrNIITI №12OUK – D83, Bibl.ukaz. VINITI, Deponirovannye nauchnye raboty, 1983, No 7, ref. 720.; 6. Pyc Ja.E Issledovanie nagreva trubchatyh zagotovok dlja rotacionnoj obkatki instrumentom trenija / Ja. E. Pyc, V. G Markshancev //Sovershenstvovanie processov i oborudovaniya obrabotki davleniem v metallurgii i mashinostroenii: Tematic. sborn. nauchn. trudov – Kramatorsk–Slavjansk, 2000. P. 301–304.; 7. Danchenko Ju.V Opredelenie koeficienta trenija pri gorjachej bezopravochnoj prokatke trub / A. V. Chus, V. V. Tron', O. V. Danchenko // Dep. v inst–te Chermetininformacija 15.03.83, No 22374md–83.; 8. Pyts E.Ya., Influence of Friction force on the thermal state of blank part in the process of rotational running/ E.Ya.Pyts, I.S.Aliev // Science, Technology and Higher Education [Text]: materials of the international research and practice conference, Vol. II, Westwood, Desember 11th–12th ,2012 / publishing office Accent Graphics communications – Westwood – Canada, 2021/ – 608 p. ISBN 978-1-927480-57-1; 9. Tajc N.Ju. Opredelenie temperatury metalla v processe deformacii/ N.Ju.Tajc, A.G.Sabel'nikov, V.I.Gubinskij // Izvestie vuzov. Chernaja metallurgija. – 1965. – No 2. – P. 156–160.; 10. Tajc N.Ju. Tehnologija nagreva stali. – Moscow: Metallurgizdat, 1962. – 567 p.; 11. Konovalov Ju.V. Raschet parametrov listovoj prokatki: Spravochnik /, A.L.Ostapenko, V.I.Ponomarev.// – Moscow Metallurgija, 1986. – 430 p.; 12.Teorija prokatki: Spravochnik / Pod red. V.I.Zjuzina, L.V.Tret'jakova. – Moscow: Metallurgija, 1982. – 335 p.; 13. Gelei Sh. Raschety usilij i jenergii pri plasticheskoj deformacii metalla. / Sh.Gelei // – Moscow: Metallurgizdat, 1958. – 420 p.; 14 Zajkov M.A. Rezhimy deformacij i usilija pri gorjachej prokatke / M.A.Zajkov // – Moscow: Metallurgizdat, 1960. – 302 p.; 15. V.F.Urakov Temperaturnyj jeffekt plasticheskoj deformacii pri rezke metalla // Mashiny i tehnologija obrabotki metallov davleniem: Sb.nauchn.trudov – Moscow: MVTU im. Baumana, 1967. – P. 21–22.; 16. Lebedev V.K., Svarka treniem:Spravochnik /V.K. Lebedev [i dr.] // – Lenindrad. Mashinostroenie. Leningr.otd.nie, 1987. – 236 p.; 17. Ob uchete teplovyh poter' pri obkatke tolstostennyh trubchatyh zagotovok/ Ja.E.Pyc, S.N.Obornev // Sovershenstvovanie processov i mashin obrabotki metallov davleniem: Sb.nauchn.trudov.- Kyeв: UMK VO, 1988. – P. 96–101.; 18. Pyc Ja.E Teplovye processy pri obkatke/E.Ja. Pyc // Problemy razvitija naukoemkih i maloethodnyh processov. – Kramatorsk, 1997. – P. 22–23.; 19. Kaporovich V.G., Deformirovanie tolstostennyh trubchatyh zagotovok instrumentom trenija /V.G. Kaparovich, Ja.E.Pyc // Bibl. ukazatel' VINITI No 1, 1986, deponirovana 20.12.86 No 1744 TM. Dep. ref. N 183.

*Поступила (received) 05.10.2015*

УДК 621.777.01

**Л. И. АЛИЕВА**, канд. техн. наук, доц., ДГМА;

**Н. С. ГРУДКИНА**, канд. техн. наук, ст. преподаватель, ДГМА, Краматорск

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ХОЛОДНОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ НА ОСНОВЕ РАЗВИТИЯ МОДУЛЬНОГО ПОДХОДА В РАМКАХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МЕТОДА**

Рассмотрены этапы проектирования технологических процессов холодного выдавливания, предусматривающие системный подход и имитационное моделирование процессов поэтапного формообразования. Предложены базы кинематических модулей и моделей, расширяющие

© Л. И. Алиева, Н. С. Грудкина, 2015

возможности проектирования процессов холодного выдавливания и построенные на основе энергетического метода верхней оценки. Продемонстрирована возможность реализации основных этапов проектирования процесса комбинированного радиально-обратного выдавливания с учетом оценки дефектообразования формы на заключительной стадии процесса при различных соотношениях размеров заготовки.

**Ключевые слова:** комбинированное выдавливание; этапы проектирования; энергетический метод, расчетные модели; кинематические модули; прогнозирование формообразования.

**Введение.** Технологические способы точной объемной штамповки (ТОШ), в том числе процессы выдавливания, отличаются многообразием возможностей и высокой эффективностью в сравнении с другими процессами формообразования деталей и демонстрируют устойчивую тенденцию к увеличению объемов производства точных заготовок, расширению номенклатуры штампуемых деталей и материалов. Среди новых наукоемких технологических процессов ТОШ видное место занимают процессы комбинированного деформирования, позволяющие использовать суммарные преимущества сочетаемых простых способов обработки металла. В практике холодной объемной штамповки использование процессов комбинированного выдавливания позволяет сократить число операций и получить детали более точных размеров и формы [1, 2]. Включение в комбинированный процесс способов поперечного выдавливания усложняет конструкции оснастки, так как возникает необходимость использования разъемных матриц. Но преимущества в виде расширения технологических возможностей за счет усложнения форм деталей, делает комбинированное выдавливание весьма эффективным. При этом за счет повышения степени свободы истечения металла снижаются потребные усилия [3, 4]. То обстоятельство, что процессы комбинированного выдавливания протекают в оптимальном (саморегулируемом) силовом режиме, затрудняет и их проектирование ввиду сложности прогнозирования направления течения и, соответственно, характера формообразования детали.

Научно-методические принципы современных методик проектирования технологических процессов (ТП) базируются на концепции группового метода организации производства деталей и системном подходе к решению поставленных задач [5, 6–9].

Анализ и обобщение опыта технологической подготовки, в том числе и в условиях эксплуатации современных методов моделирования и САПР, создали возможности для представления работы технолога в виде комплекса

взаимосвязанных этапов проектирования, выполняемых в определенной последовательности независимо от способа деформирования и типоразмера поковки.

**Целью работы** является расширение возможностей процесса проектирования технологий комбинированного холодного выдавливания на основе развития модульного подхода при расчетах энергетическим методом.

Сущность методики применительно к разработке процессов изготовления заготовок выдавливанием поясняется усовершенствованной схемой проектирования процессов (рис. 1), в основу которой легли известные алгоритмы разработки технологий штамповки [1–3, 6].

В системе проектирования технологий выдавливания можно выделить семь основных этапов проектирования, информационное обеспечение и систему моделей, необходимых для реализации этих этапов [1, 3, 5, 6].

На первом этапе проектирования ТП выполняется конструкторско-технологическая классификация деталей, анализ их технологичности, а также условий производства и уровня базовых технологий. В состав исходной информации, необходимой для классификации, входят чертежи деталей и сведения о программах выпуска, базовых процессах и составе технологического оборудования. На этом этапе необходимо оценить возможности изготовления каждой детали выдавливанием и удалить те детали, которые выдавливанием невозможно изготовить [1, 6].

Возможность изготовления деталей способами холодного выдавливания оценивается с помощью баз ограничений, содержащих упрощенные расчетные соотношения и рекомендации по определению значений предельных параметров, очерчивающих область рационального применения технологических способов выдавливания.

Второй этап – разработка альтернативных вариантов ТП и их анализ. К исходной информации, необходимой для реализации этого этапа, относится классификатор технологических способов, сведения о типовых процессах выдавливания, базы характеристик оборудования и штампуемых материалов.

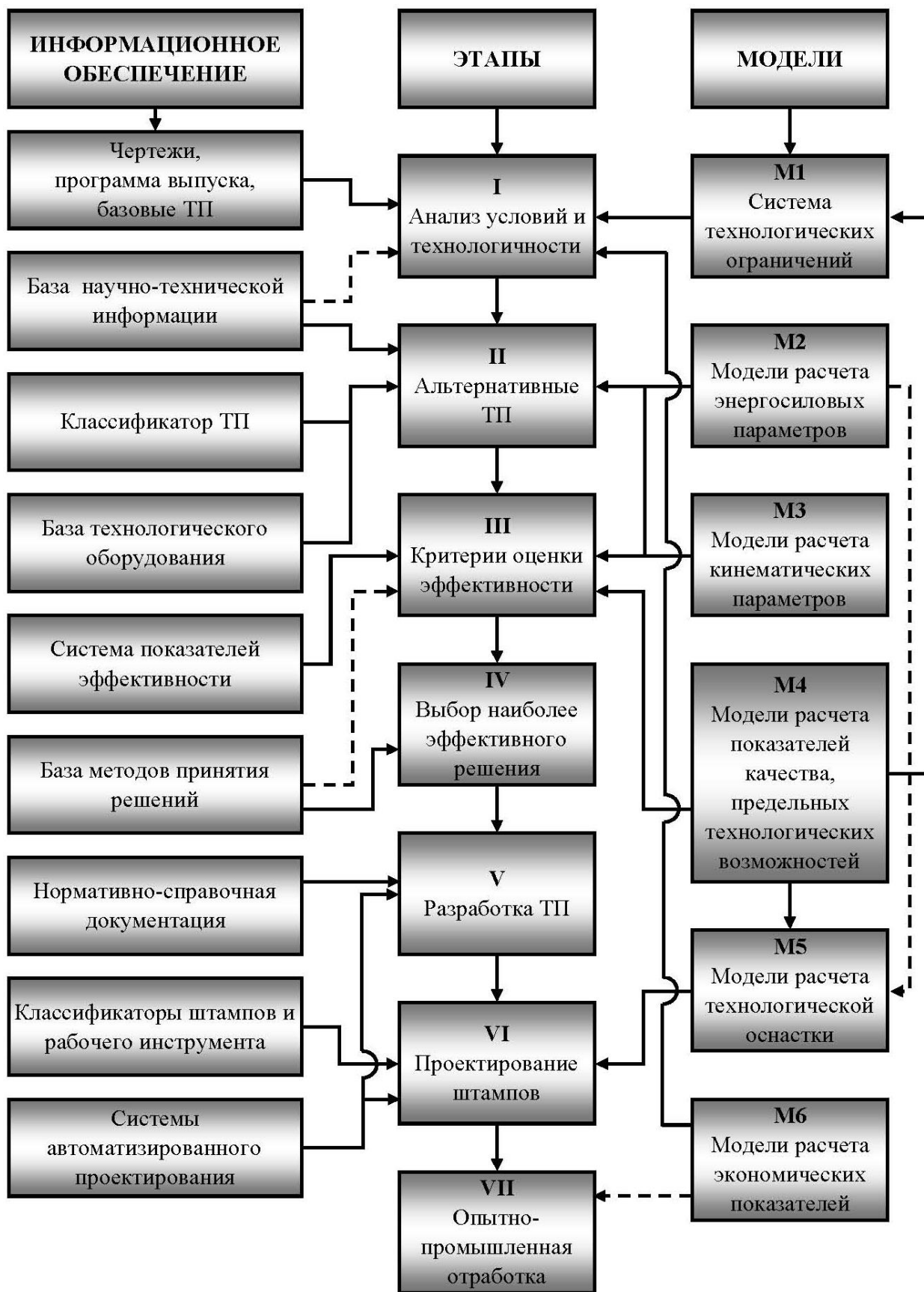


Рис. 1 – Алгоритм разработки процессов холодного выдавливания

Для ряда распространенных типовых операций и деталей расчеты силовых режимов выполняются по известным аналитическим и статистическим моделям и расчетным программам, в том числе и с использованием МКЭ. Для анализа сложных схем формообразования с неоднозначной кинематикой течения металла и получения результатов исследования в виде расчетных зависимостей используются расчетные программы, основанные на энергетическом методе верхней оценки и оптимизации кинематически возможных полей скоростей (КВПС) пластического течения.

Третий этап – определение системы критериев для оценки эффективности альтернативных процессов [1, 5, 6]. Исходной информацией для этого этапа служит обобщенная система показателей эффективности технологий и база методов принятия решений [1, 5], а также обобщенные принципы выполнения технологий объемной штамповки [1–3, 6]. Для оценки эффективности процессов выдавливания система содержит обобщенные критерии: завершенность формообразования деталей, давление деформирования, степень деформации, экономическая эффективность. Частные критерии оценивают количественно с помощью моделей расчета энергосиловых параметров, показателей качества деталей. В качестве последних при выдавливании деталей с фланцем предложено использовать получение их без утяжин и без разрывов, т.е. в пределах тех рациональных величин толщин и диаметров фланцев, которые следуют из уже разработанных моделей [10–14].

Четвертый этап проектирования – выбор наиболее эффективного варианта технологического процесса – реализуется с использованием установленных критериев оценки [1, 2].

Пятый этап – разработка технологического процесса. Оптимальным решением задач данного этапа является их выполнение на персональных компьютерах в диалоговом режиме. Для проектирования технологий и штамповой оснастки созданы современные системы САПР ТП [2, 6, 8], для которых необходимо пополнение информационной базы и создание модулей расчета, позволяющих расширить круг проектируемых процессов. Расчетные модели и программы, разработанные в ходе настоящих исследований, использованы в качестве модулей проектных систем как в ДГМА, так и на предприятиях, где осуществлялась апробация новых технологий и штампов

На шестом этапе осуществляется детальная разработка технологической оснастки. В качестве исходной информации используются классификаторы штампов и сменных инструментов, в т.ч., с разъемными матрицами [1–3, 6–8], современные компьютерные системы проектирования штампов, а также нормативная и методическая документация.

Завершающий седьмой этап собственно относится не столько к проектным работам, а состоит в необходимой (на нынешнем уровне развития и распространения технологии холодного выдавливания) опытно-промышленной отработке технологии, а также испытании оснастки.

В рамках реализации *второго* этапа проектирования процессов холодного выдавливания разработана база данных в виде матрицы плоских и осесимметричных кинематических модулей – КВПС, имитирующих осадку, обжатие, разворот, растяжение и затекание в угол. Для решения осесимметричных задач на базе простых полей скоростей с элементами прямоугольной и треугольной формы в ДГМА разработаны кинематические модули (элементы) трапецеидальной и треугольной формы с различной ориентировкой прямой и криволинейной наклонной границы, позволяющие описать практически любой очаг деформации [4, 9–14]. Некоторые из этих модулей приведены в табл. 1.

Как было отмечено выше, в случае анализа комбинированных схем формообразования со сложной кинематикой течения металла используются расчетные программы, основанные на энергетическом подходе и анализе кинематически возможных полей пластического течения. Так, для расчета процессов комбинированного радиально-обратного выдавливания деталей типа «стакан с фланцем» и «стержень с фланцем» в рамках реализации второго этапа проектирования ТП, разработан комплекс математических моделей, позволяющих определять энергосиловые параметры процесса, прогнозировать поэтапное и конечное формоизменение заготовки, а также возможность дефектообразования в виде утяжин в отдельных зонах штампуемой детали. Для деталей типа «стакан с фланцем» ниже с учетом рекомендаций по выбору соответствующей расчетной схемы в зависимости от соотношений геометрических параметров полуфабриката, формы инструмента (наличия или отсутствия фасок), а также возможного дефектообразования в виде утяжин [13], представлены соответствующие математические модели [14–17] (рис. 2).

Таблиця 1 – Кинематические модули для осесимметричного деформирования

№	Схема модуля	КВПС
1		$v_z = -\frac{\bar{W}(z-z_H)}{H-z_H} - W_2 + [2V_1R_1h + \bar{W}(r^2-R_1^2)] \frac{z-z_H}{2rH^2} \operatorname{tg}\theta;$ $v_r = \frac{\bar{W}(r^2-R_1^2)}{2hH} + V_1 \frac{R_1h}{rH};$
2		$v_z = -\frac{W_1}{h}z + V_1 \frac{R_1}{r} \operatorname{tg}\theta + \frac{W_1}{2h}(3r-2R_1-\frac{R_1^2}{r}) \operatorname{tg}\theta;$ $v_r = \frac{W_1}{2h} \frac{r^2-R_1^2}{r} + V_1 \frac{R_1}{r}.$
3		$v_r = r \frac{W_1 R_2^2}{T^3(z)} \operatorname{tg}\theta;$ $v_z = \frac{W_1 R_2^2}{T^2(z)};$ $T(z) = R_1 + (z-h_2) \operatorname{tg}\theta.$
4		$v_z = V \frac{2R_1Z}{T^2(z)-R_1^2};$ $v_r = \frac{1}{r} \left( V T(z) + (VR_1 - V T(z)) \frac{T^2(z)-r^2}{T^2(z)-R_1^2} \right);$ $T(z) = R_2 - z \operatorname{tg}\theta.$
5		$v_z = W \left( 1 + \frac{1}{2 \operatorname{tg}\theta} \frac{Z_k - Z}{r} \right);$ $v_r = \frac{W}{2 \operatorname{tg}\theta} \left( 1 + \frac{R_2}{r} \right).$

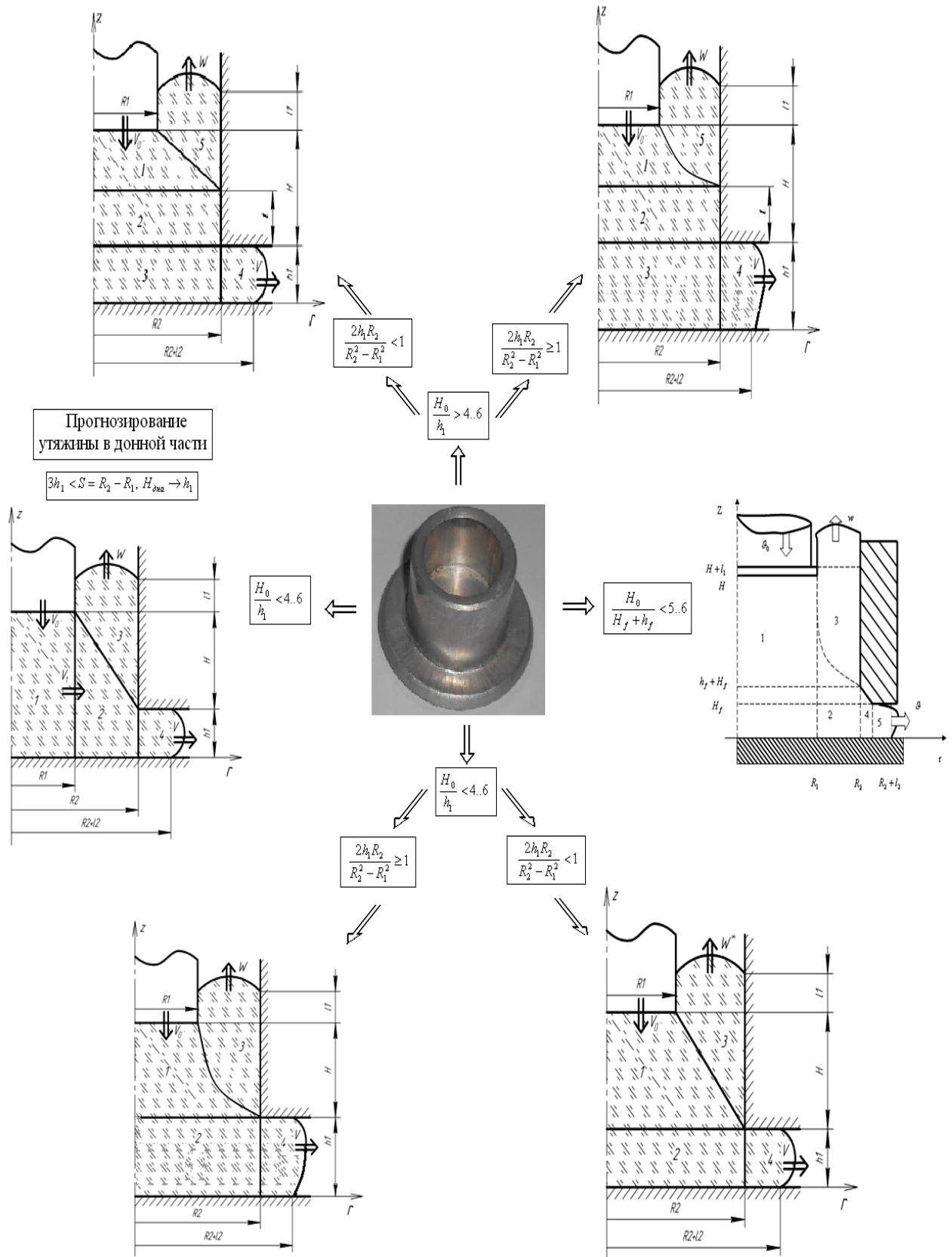


Рис. 2 – База расчетных схем процесса комбинированного радиально-обратного выдавливания детали типа «стакан с фланцем»



Разработанная программа «Energy Model» предназначена для построения модели и расчета энергетическим методом силового режима процесса холодного выдавливания, а также формоизменения полуфабриката (рис. 3). Язык разработки – Object Pascal, средство разработки программная среда Borland Delphi 6.0. Ввод исходных параметров и анализ результатов работы программы возможны в диалоговом режиме.

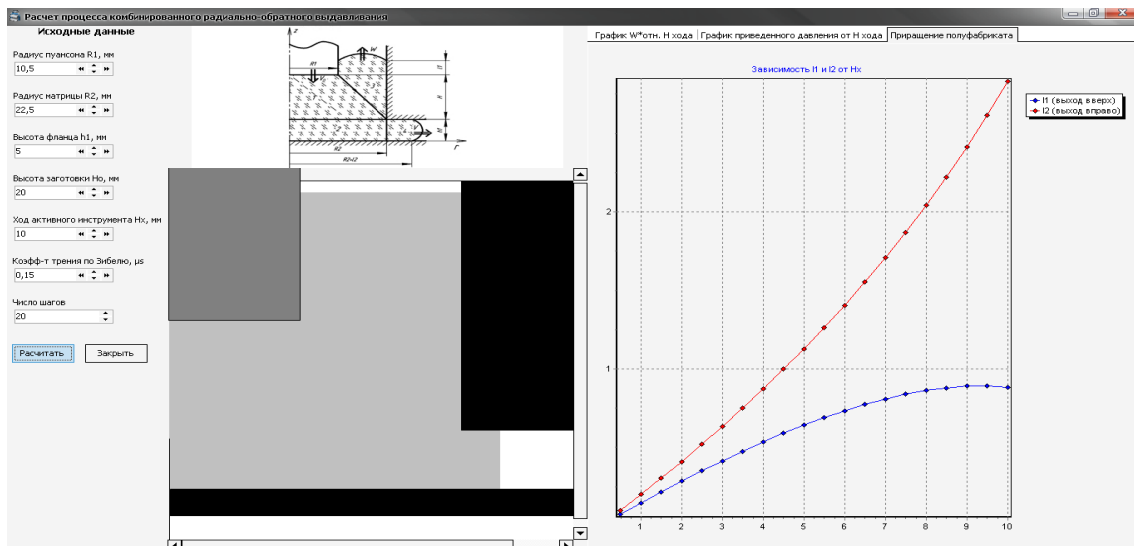


Рис. 3 – Главное окно программы (ввод исходных данных и просмотр результатов)

Основными операциями, выполняемыми по программе, являются:

- выбор одного из возможных типов кинематических модулей, удовлетворяющих поведению течения металла в определенной зоне деформации (прямоугольные, трапециевидные, треугольные и др.);
- определение геометрических параметров и границ кинематического модуля (длина, высота, углы (для трапециевидных кинематических модулей)) в системе координат моделируемого процесса, а также направлений течения и разрывов скоростей;
- расчет мощностей сил деформирования, среза и трения;
- варьирование параметров процесса в определенном диапазоне и исследование их влияния на давление деформирования (с построением графиков).

При этом, исходя из предварительной оценки формообразования полуфабриката, полученной по одной из разработанных расчетных схем, можно

скорректировать параметры процесса деформирования путем обеспечения соответствующих условий трения на боковой поверхности стенки стакана, пуансона и в донной части формирующегося фланца. В случае, если характер поэтапного формоизменения весомерно отличается от формирования требуемых размеров (более чем на 20 – 25 %), можно использовать такие приемы управления формообразованием детали, как изменение конфигурации инструмента (размеров и формы фасок и кромок пуансона), введение подпоров, ограничивающих течение металла в каком-либо направлении, что может позволить практически полностью исключить невыполнения формы и размеров готового изделия.

Анализ сложных схем формообразования с неоднозначной кинематикой течения металла требует постоянного расширения уже имеющейся базы кинематических модулей трапецеидальной и треугольной формы с различной ориентировкой криволинейной наклонной границы с указанием рациональности и ограничения их применения для анализа различных процессов деформирования.

**Выводы:** процесс проектирования технологических процессов представлен в виде комплекса взаимосвязанных этапов проектирования, выполняемых в определенной последовательности независимо от способа деформирования и типоразмера штампуемой детали.

Для оперативного анализа технологических режимов процессов выдавливания в рамках использования энергетического метода баланса мощностей (метода верхней оценки) разработаны кинематические модули (поля скоростей) различной конфигурации, способные описать пластические зоны сложной формы.

Разработана программа, предназначенная для построения модели и расчета энергетическим методом силового режима процесса холодного выдавливания, а также поэтапного формоизменения полуфабриката

**Список литературы:** 1. *Евстратов В. А.* Основы технологии выдавливания и конструирования штампов / В. А. Евстратов. – Харьков: Вища шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1987. – 144 с. 2. *Ковка и штамповка:* справочник в 4 т. / Под ред. Е. И. Семенова [и др.]. – М.: Машиностроение, 1987. – Т.3: Холодная объемная штамповка; [под ред. Г. А. Навроцкого]. – 1987. – 384 с. 3. *Кузнецу-штамповщику:* Справочное пособие / под ред. Л. Н. Соколова. – Донецк: Донбасс, 1986. – 144 с. 4. *Джонсон В., Кудо Х.* Механика процессов выдавливания металла. – М.: Металлургия, 1966. – 317 с. 5. *Аксенов Л.Б.* Системное проектирование процессов штамповки.– Л.: Машиностроение, 1990.–

240 с. **6. Алиев И. С.** Систематизация информации для разработки процессов выдавливания в разъемных матрицах / И. С. Алиев, А. И. Лобанов, О. К. Савченко // Совершенствование процессов и оборудования обработки давлением в металлургии и машиностроении: Сб. науч. трудов – Краматорск: ДГМА, 2001. – С. 194–198. **7. Проектирование** процессов выдавливания в разъемных матрицах / Алиева Л.И., Лобанов А.И., Борисов Р.С., Савчинский И.Г. // Известия Тульского государственного университета. Серия «Механика деформируемого твердого тела и ОМД», вып.2. – Тула: ТулГУ, 2004. – С. 132–139. **8. Методика расчета** и проектирования процессов выдавливания в разъемных матрицах / Л. И. Алиева, А. И. Лобанов, Р. С. Борисов, И. Г. Савчинский // Nowe technologie i osiagniecia w metargii i inzenierii materialowej V Miedz. konf. naukowa. – Czenstchowa, 2004. – S. 383–391. **9. Теорияковки и штамповки** / Е.П. Унков, У. Джонсон, В.Л. Колмогоров и др. / Под ред. Е.П. Ункова, А.Г. Овчинникова. – М.: Машиностроение, 1999. – 598 с. **10. Алиева Л. И.** Выбор кинематических модулей для определения силовых параметров радиального выдавливания / Л. И. Алиева, Я. Г. Жбанков // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : збірник наукових праць. – Краматорськ : ДДМА, 2006. – № 3 (5). – С. 108–113. **11. Алиева Л. И.** Моделирование процесса комбинированного выдавливания полой детали с фланцем на основе визуализации постановки задачи / Л. И. Алиева, Я. Г. Жбанков, Е. А. Мясушкин // Вісник ДДМА: збірник наукових праць. – Краматорськ : ДДМА, 2008. – №1 (11). – С. 20–24. **12. Aliieva L.** Analysis of billet deformation during the combined radial-backward extrusion / L. Aliieva, N. Grudkina, I. Zhbankov // New technologies and achievements in metallurgy and materials engineering. – Czestochowa: Quick-druk, 2012. – P. 389–396. **13. Алиева Л. И.** Оценка и прогнозирование отклонений формы деталей при холодном выдавливании / Л. И. Алиева // Пластическая деформация металлов: Коллективная монография. – Днепропетровск: НМетАУ, 2014. – С. 353–369. – ISBN 978-617-7109-18-0 **14. Алиева Л. И.** Моделирование процесса комбинированного радиально-обратного выдавливания деталей типа стакан с фланцем / Л. И. Алиева, Н. С. Грудкина // Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков, 2012. – № 47 (953). – С. 3–9. **15. Алиева Л. И.** Исследование деформированного состояния при комбинированном радиально-обратном выдавливании полых деталей с фланцем / Л. И. Алиева, Н. С. Грудкина // Вестник Донского государственного технического университета : сб. науч. работ. – Ростов-на-Дону : ДГТУ, 2012. – С. 195–198. **16. Алиева Л.И.** Исследование процесса комбинированного радиально-обратного выдавливания деталей с фланцем с разьединенным очагом деформации / Л. И. Алиева, Н. С. Грудкина // // Вестник КГИУ. Темиртау. 2014, № 1 (4). – С. 19–24. **17. Алиева, Л. И.** Теоретический анализ процесса комбинированного радиально-обратного выдавливания деталей с фланцем / Л. И. Алиева, Н. С. Грудкина // Известия МГТУ «МАМИ» : научный рецензируемый журнал. – Москва : МГТУ «МАМИ», 2013. – № 2 (16), т. 2. – С. 163–171. – ISSN 2074-0530

**Bibliography (transliterated):** **1. Evstratov V. A.** Osnovy tehnologii vydavlivaniya i konstruirovaniya shtampov / V. A. Evstratov. – Khar'kov : Vishha shk. Izd-vo pri Har'k. un-te, 1987. – 144 p. **2. Kovka i shtampovka:** spravochnik v 4 vol. / pod red. E. I. Semenova [i dr.]. – Moscow : Mashinostroenie, 1987. – Vol. 3: Holodnaja obemnaja shtampovka [pod red. G. A. Navrockogo]. – 1987. – 384 p. **3. Kuznecushtampovshhiku :** Spravochnoe posobie / pod red. L. N. Sokolova. – Doneck : Donbass, 1986. – 144 p. **4. Dzhonson V.** Mehanika processov vydavlivaniya metalla / V. Dzhonson, H. Kudo. – Moscow : Metallurgija, 1966. – 317 p. **5. Aksenov L. B.** Sistemnoe proektirovanie processov shtampovki. – Leningrad. : Mashinostroenie, 1990. – 240 p. **6. Aliiev I. S.** Sistemizacija informacii dlja razrabotki processov vydavlivaniya v razemnyh matricah / I. S. Aliiev, A. I. Lobanov, O. K. Savchenko // Sovershenstvovanie processov i oborudovaniya obrabotki davleniem v metallurgii i mashinostroenii: sb. nauch. trudov. – Kramatorsk : DGMA, 2001. – P. 194–198. **7. Proektirovanie** processov vydavlivaniya v razemnyh matricah / L. I. Aliieva, A. I. Lobanov, R. S. Borisov, I. G. Savchinskij // Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Serija «Mehanika deformiruемого tverdogo tela i OMD». – Tula : TulGU, 2004. – Vyp. 2. – P. 132–139. **8. Metodika** rascheta i proektirovanija processov vydavlivaniya v razemnyh matricah / L. I. Aliieva, A. I. Lobanov, R. S. Borisov, I. G. Savchinskij // Nowe technologie i osiagniecia w metargii i inzenierii materialowej. V Miedz. konf. naukowa. – Czenstchowa, 2004. – P. 383–391. **9. Teorija kovki i shtampovki** / E. P. Unksov, U. Dzhonson, V. L. Kolmogorov [i dr.] / Pod red. E. P. Unksova, A. G. Ovchinnikova. – Moscow : Mashinostroenie, 1999. – 598 p. **10. Aliieva L. I.** Vybor kinematiceskikh modulej dlja opredelenija silovyh parametrov radial'nogo vydavlivaniya / L. I. Aliieva, Ja. G. Zhbankov //

Visnik Donbas'koi derzhavnoi mashinobudivnoi akademii : zbirnik naukovih prac'. – Kramators'k : DDMA, 2006. – N 3 (5). – P. 108–113. **11. Aliieva L. I.** Modelirovanie processa kombinirovannogo vydavlivaniya poloj detali s flancem na osnove vizualizacii postanovki zadachi / L. I. Aliieva, Ja. G. Zhbakov, E. A. Mjasushkin // Visnik Donbas'koi derzhavnoi mashinobudivnoi akademii : zbirnik naukovih prac'. – Kramators'k : DDMA, 2008. – №1 (11). – P. 20–24. **12. Aliieva L. I.** Analysis of billet deformation during the combined radial-backward extrusion / L. Aliieva, N. Grudkina, I. Zhbakov // New technologies and achievements in metallurgy and materials engineering. – Czestochowa : Quick-druk, 2012. – P. 389–396. **13. Aliieva L. I.** Ocenka i prognozirovanie otklonenij formy detalej pri holodnom vydavlivanii / L. I. Aliieva // Plasticheskaja deformacija metallov : kollektivnaja monografija. – Dnepropetrovsk : NMetAU, 2014. – P. 353–369. – ISBN 978-617-7109-18-0 **14. Aliieva L. I.** Modelirovanie processa kombinirovannogo radial'no-obratnogo vydavlivaniya detalej tipa stakan s flancem / L. I. Aliieva, N. S. Grudkina // Vestnik NTU «ХПІ». – Khar'kov, 2012. – N 47 (953). – P. 3–9. **15. Aliieva L. I.** Issledovanie deformirovannogo sostojanija pri kombinirovannom radial'no-obratnom vydavlivanii polyh detalej s flancem / L. I. Aliieva, N. S. Grudkina // Vestnik Donskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta : sb. nauchn. rabot. – Rostov-na-Donu : DGTU, 2012. – P. 195–198. **16. Aliieva L. I.** Issledovanie processa kombinirovannogo radial'no-obratnogo vydavlivaniya detalej s flancem s razedinennym ochagom deformacii / L. I. Aliieva, N. S. Grudkina // Vestnik KGIU. – Temirtau, 2014. – N 1 (4). – P. 19–24. **17. Aliieva L. I.** Teoreticheskij analiz processa kombinirovannogo radial'no-obratnogo vydavlivaniya detalej s flancem / L. I. Aliieva, N. S. Grudkina // Izvestija MGTU «MAMI»: nauchnyj recenziruemyj zhurnal. – Moscow : MGTU «MAMI», 2013. —N 2 (16) Vol. 2. – P. 163–171. – ISSN 2074-0530.

Поступила (received) 06.11.2015

УДК 621.771.8

**В. Г. ЗАГОРЯНСКИЙ**, канд. техн. наук, доц., Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ОБЖАТИЙ ПРИ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКЕ СИММЕТРИЧНОГО БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ПАКЕТА НА ОСНОВЕ РАСЧЕТА ДЕФОРМАЦИЙ ЕГО СЛОЕВ**

Разработана методика расчета режима обжатий при горячей прокатке четырехслойных симметричных пакетов «углеродистая сталь + нержавеющая сталь». Режим обжатий определяется конечной толщиной биметаллического листа и толщиной плакирующего слоя в нем, а также исходной толщиной плакирующих листов в пакете. Расчет коэффициентов высотной деформации – среднего и по проходам позволяет рассчитать необходимое количество проходов при прокатке и обжатия по проходам.

**Ключевые слова:** расчетная методика, режим обжатий, горячая прокатка, четырехслойный пакет, коррозионностойкий биметалл.

**Введение.** Расчет режима обжатий при получении горячей прокаткой биметаллической толстолистовой стали во многом отличается от традиционных, имеющих теоретическое обоснование, методик расчета режимов обжатий при прокатке слябов и листовой стали из монометалла (основанных на предельных условиях захвата, расчета по прочности прокатных валков, крутящему моменту электродвигателя, по величине относительной деформации и т. д.). Отличия состоят, главным образом, в неравномерности