

УДК 621.771.07:004.42

DOI 10.24412/2413-7383-2025-4-39-112-123

В.С. Солод

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Институт проблем искусственного интеллекта», г. Донецк
283048, г. Донецк, ул. Артема, 118 б

АЛГОРИТМ И ПРОГРАММА ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМА УСКОРЕННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ АРМАТУРНЫХ ПРОФИЛЕЙ В ТЕРМОУСТАНОВКЕ КОНСТРУКЦИИ «THERMEX»

V. S. Solod

Federal State Budgetary Scientific Institution «Institute of Artificial Intelligence Problems»
283048, Donetsk, Artema str, 118-b

ALGORITHM AND PROGRAM FOR OPTIMIZING THE ACCELERATED COOLING OPERATION MODE OF REINFORCEMENT BARS IN THE THERMAL UNIT OF THE "THERMEX" DESIGN

Работа посвящена разработке программных средств оптимизации режима термоупрочнения арматурных профилей с целью получения заданных механических свойств арматуры с минимальным расходом воды на охлаждение при соблюдении технологических ограничений с учетом химического состава (химсостава) стали. Постановка задачи оптимизации с учетом химического состава (химсостава) стали и ограничений осуществлена впервые. Целевая функция – условный предел текучести, к ограничениям относятся: допускаемые давления воды на форсунках, отсутствие кипения воды в секции, наличие гидро-транспортирования проката через установку. Приведена блок-схема алгоритма, описан порядок выполнения программы, приведены примеры оптимизации режимов.

Ключевые слова: ускоренное охлаждение, арматурный профиль, математическая модель, алгоритм, программа оптимизация, предел текучести.

The objective of this study is to develop software tools for optimizing the thermal hardening process for reinforcing sections with minimal cooling water consumption while adhering to process constraints. This is the first time the optimization problem has been formulated taking into account the chemical composition of the steel and the constraints. The objective function is the yield strength, and constraints include permissible water pressures at the nozzles, the absence of water boiling in the section, and the presence of hydro transportation of the rolled product through the unit. A flowchart of the algorithm is shown, the program execution procedure is described, and examples of optimization modes are given.

Keywords: accelerated cooling, rebar section, mathematical model, algorithm, optimization program, yield strength.

Современные условия производства сортового проката характеризуются высокими скоростями прокатки, малыми паузами между деформацией на заключительной стадии процесса, высокими температурами конца прокатки (1020-1100°C). Кроме того, дефицит охлаждающей воды на ряде существующих станов и дороговизна строительства и эксплуатации систем водоснабжения, регенерации и рециркуляции для обеспечения охлаждающих установок — все это создает жесткие требования к технологии и устройствам ускоренного охлаждения, а именно: - технология охлаждения проката в технологическом потоке стана должна обеспечивать получение требуемой структуры и механических свойств металла, равномерность охлаждения по периметру, сечению и длине проката, устройства ускоренного охлаждения должны развивать высокую интенсивность теплообмена и иметь при этом малую длину.

Цель работы - разработка программных средств для оптимизации режима термоупрочнения арматурных профилей с минимальным расходом воды на охлаждение при соблюдении технологических ограничений. Все охлаждающие системы должны обеспечивать эффективное использование хладагента и его минимальный расход; - конструкция охлаждающих устройств должна способствовать транспортировке проката по технологической линии [1].

История вопроса

Вопросам моделирования ускоренного охлаждения посвящено много работ. В частности, можно отметить ранние работы Национальной металлургической академии и Института черной металлургии Украины [2-6], Донецкого политехнического института [7], ученых НПО «Доникс» [8], специалистов ОАО «БМЗ» [9], ученых Череповецкого государственного университета [10], Екатеринбургского ОАО ВНИИМТ [11], СибГИУ [12] и др.

Вопросы оптимизации технологии ускоренного охлаждения рассматривают применительно к конкретным профилям и установкам [13] или маркам стали [14], по концептуальному подходу работы отсутствуют. В работе [8] описана концепция построения автоматизированной системы управления процессом упрочнения арматурных профилей на базе синтеза математических моделей комбинированного охлаждения, структурообразования и механических свойств. Наиболее детальное описание системы автоматизации управления технологией в работах [11], [15-17]. Однако, вопросы оптимизации режимов охлаждения не нашли отражения. Поэтому постановка задачи оптимизации режимов охлаждения является актуальной.

В проектном сортаменте среднесортно-мелкосортного стана 390 Макеевского металлургического завода [18] присутствует прокат арматурный для железобетонных конструкций классов от А400 до А800 номеров от 10 до 32. За чистовой клетью стана расположен участок ускоренного охлаждения (УУО), предназначенный для термической обработки проката с прокатного нагрева конструкции «Thermex». Результаты моделирования УУО стана 390 с помощью простой ИНС на основе перцептрона процесса ускоренного охлаждения арматурного проката показали, что приемлемое решение получить не удастся [19]. Ошибки прогноза $b_{0.2}$ превышают допустимые значения (2-3%), которые гарантируют получение заданных свойств проката по его длине в пределах, допускаемых стандартом. Поэтому принято решение использовать прямой расчет по физико-математической модели [20] с алгоритмом оптимизации, учитывающим все ограничения.

Постановка задачи. При оптимизации входными параметрами, кроме параметров конструкции камер охлаждения, которые считаются постоянными и в расчете не изменяются, являются: - класс арматуры- AClass; (A400C, A500C, A600C A800C), определяемый величиной условного предела текучести $\sigma_{0.2}$, МПа;

- условный диаметр профиля $-d_0$, мм; (10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32);
- количество ниток проката N;
- скорость прокатки- V_{np} , м/с (5.0...14.5);
- температура конца прокатки t_{np} , °C (980...1100);
- химсостав основных химических элементов стали (C, Mn, Si), %;
- температура воды на входе в установку $t_{в.вх.о}$, °C (обычно 20-40).

Приняты следующие ограничения, устанавливаемые как настроечные параметры:

- максимально и минимально возможные давления воды на форсунках P_{max} и P_{min} ;
- максимальная среднemasсовая температура воды на выходе из каждой секции $t_{в.ср.i}$;
- минимальная скорость воды по условию гидротранспортирования $V_{в.ср}=K_{mp} \cdot V_{np}$;
- величина допустимого разброса предела текучести σ_m от оптимального уровня $\Delta\sigma$;
- величина оптимального уровня предела текучести для каждого класса прочности σ_{opt} .

В качестве выходных параметров приняты:

- количество $N_{вкл}$, калибр K и длина включенных секций, $L_{охл.i}$;
- давление воды на форсунках включенных секций $P_{\phi i}$, атм;
- механические свойства: пределы текучести $\sigma_{0.2}(\sigma_m)$ и прочности σ_b , Мпа; относительное удлинение δ , %;
- средняя температура воды на выходе каждой секции $t_{в.вых.i}$, °C;
- скорость воды по секциям, м/с; ($V_{в.max}$, $V_{в.ср}$, $V_{в.min}$)
- расход воды по секциям - W_i м³/ч;
- суммарное время охлаждения - $\tau_{охл}$, с;
- общая длина охлаждения $-L_{охл}$, м;
- общий расход воды на охлаждение - W , м³/ч;
- максимальная производительность установки - Q , т/ч;
- температура самоотпуска - t_{co} (за термоустановкой, после окончания выравнивания по сечению) °C;
- количество итераций при поиске оптимума.

Результаты

Разработка алгоритма оптимизации при наличии ряда ограничений выполнена впервые и облегчается при использовании свойств математической модели, установленных прямым расчетом, фиксируя значения одних входных параметров и варьируя другие. Для установления свойств модели проведен расчет охлаждения арматуры №20 из стали СтЗпс со следующим химсоставом C-0.22%, Mn-0.55%, Si-0.07% при прокатке со скоростью $V_{np}=12.5$ м/с, при температуре прокатки $t_{np}=1082$ °C. Расчет произведен при переменной сумме давлений ΣP в 4-х секциях. Данные для моделирования показаны в таблице 1, результаты – на рисунке 1.

Анализ данных в соответствии с рисунком 1 показывает линейный характер влияния ΣP на температуру воды на выходе камер охлаждения $t_{в.вых}$, среднюю скорость воды и почти линейный - на предел текучести $\sigma_{0.2}$. Это означает, что поиск оптимального

решения возможен используя градиенты $dP/db_{0.2}$, $dP/dV_{в.ср}$ и $dP/dt_{в.вых.i}$. В соответствии с рисунком 2 показана блок-схема алгоритма оптимизации технологии ускоренного охлаждения с использованием прямого расчета по модели «Cooling» [21].

Таблица 1 – Данные моделирования

$\sigma_{0.2}$	σ_b	P1	P2	P3	P4	ΣP , атм	тв.вых1	тв.вых2	тв.вых3	тв.вых4
556	646	22	22	22	22	88	66	57	51	47
547	635	20	20	20	20	80	67	58	52	48
538	625	18	18	18	18	72	68	59	53	49
520	605	16	16	16	16	64	69	60	54	50

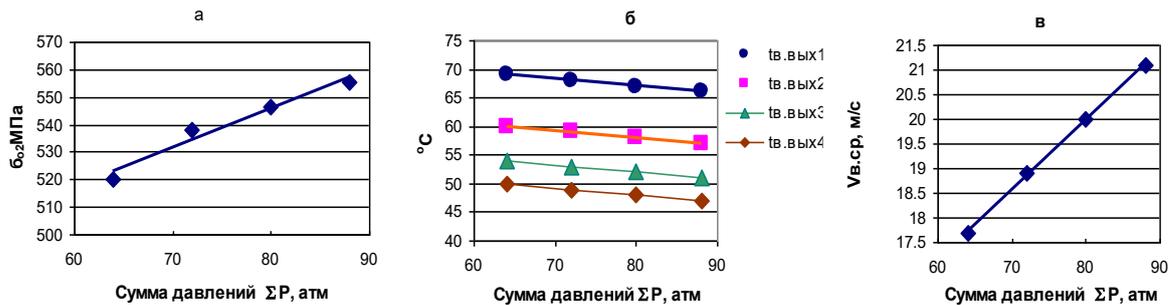


Рисунок 1 –Влияние суммы давлений воды на форсунках 4-х секций установки при охлаждении арматуры №20: а- на предел текучести; б- на температуру воды на выходе камеры охлаждения; в – на среднюю скорость воды на УУО стана 390.

В соответствии с таблицей 2 приведены результаты сравнения расхода воды на охлаждение $\Delta W/W$ в существующих и оптимизированных (опт) режимах охлаждения

Таблица 2 – Результаты сравнения параметров охлаждения существующих и оптимальных режимов (класс А500С)

№ опыта	doxN мм	Vпр м/с	tпр °C	C %	Mn %	Si %	$\sigma_{0.2}$	σ_b	Ω %	P1	P2	P3	P4	P5	W м ³ /ч	$\Delta W/W$ %
							Мпа			атм						
1	25x1	9.0	1090	0.17	0.65	0.3	593	689	18	18	18	18	18	0	562	-
							542	629	20	22	22	22	0	0	471	16%
2	20x1	12.5	1100	0.17	0.6	0.1	585	679	18	22	22	22	22	22	542	
							524	609	20	22	22	22	22	0	434	20%
3	10x4	10.0	1090	0.21	0.6	0.3	575	668	18	19.6	0	0	0	0	118	
							553	643	19	15.4	0	0	0	0	100	15%
4	12x4	9.0	1060	0.24	0.65	0.15	607	705	17	16	0	0	0	0	104	
							543	631	20	11.5	0	0	0	0	83	20%

Последовательность выполнения программы следующая. На первом этапе определяются тип и размеры камер охлаждения (длина и количество элементов, длина участка выравнивания). Тип камеры зависит от диаметра арматуры d_o , всего имеется 3 типа с минимальным диаметром 33, 42 и 48мм в длинном L и коротком S исполнении. Автоматически подключаются ограничения и определяется диапазон оптимальных значений b_{min} и b_{max} . Определение количества включенных секций осуществляется следующим образом: включается одна длинная секция, давление на форсунке принимается равным p_{max} и производится расчет σ_m . Количество включенных секций увеличивается на одну $inc(N_{вкл})$ в случае выполнения неравенства $b_m < b_{min}$.

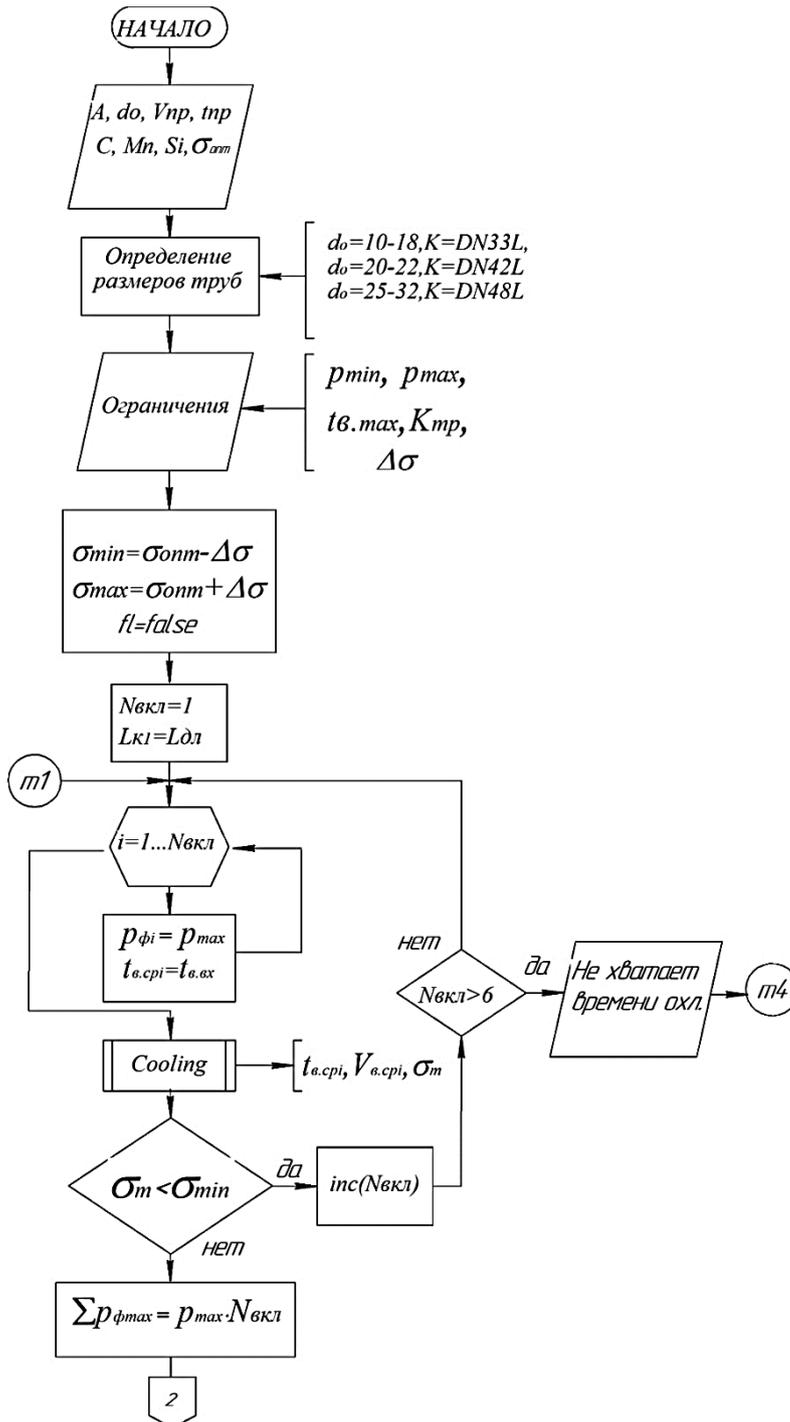


Рисунок 2 - Блок-схема алгоритма оптимизации режима термоупрочнения арматурных профилей (Лист 1)

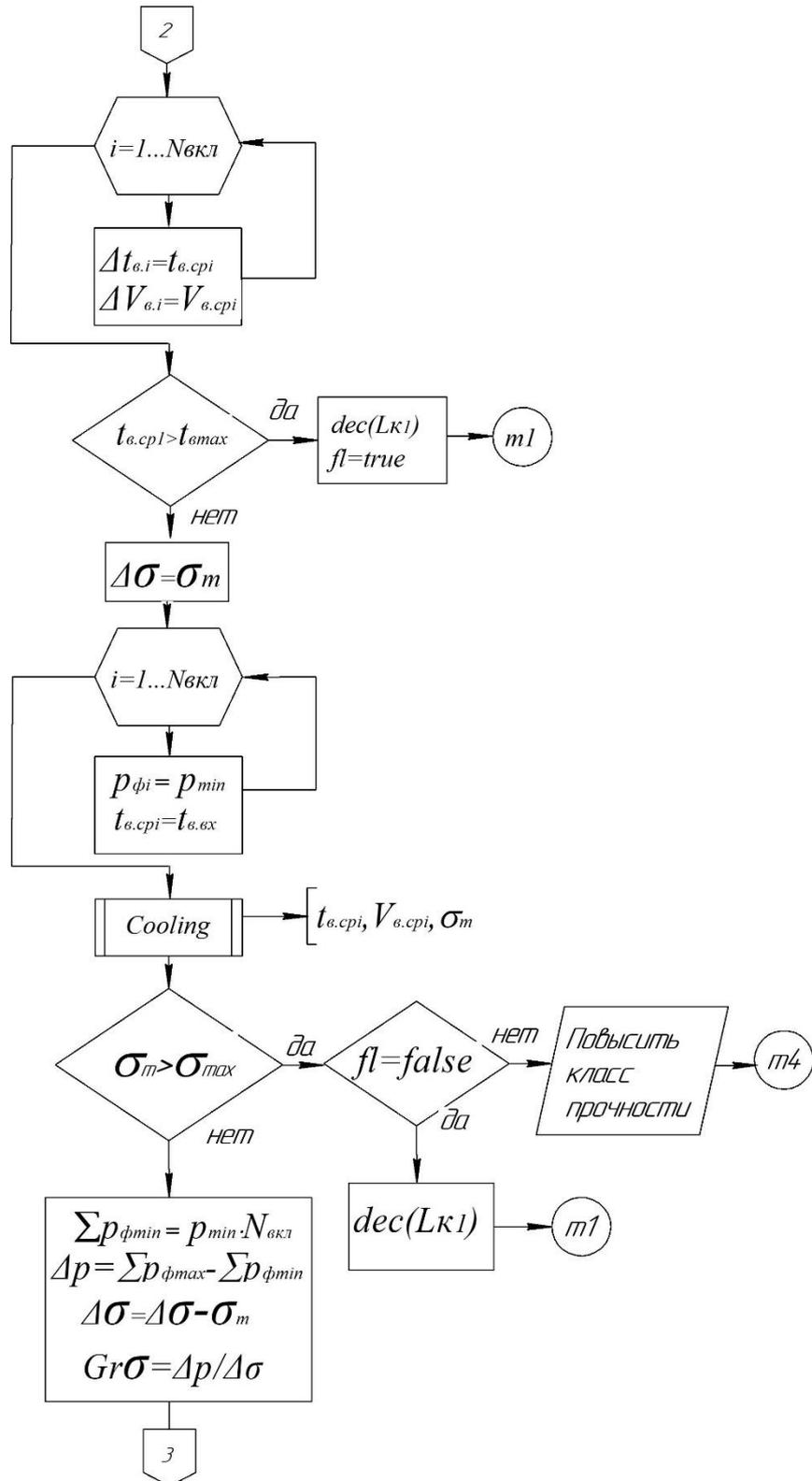


Рисунок 2 - продолжение (Лист 2)

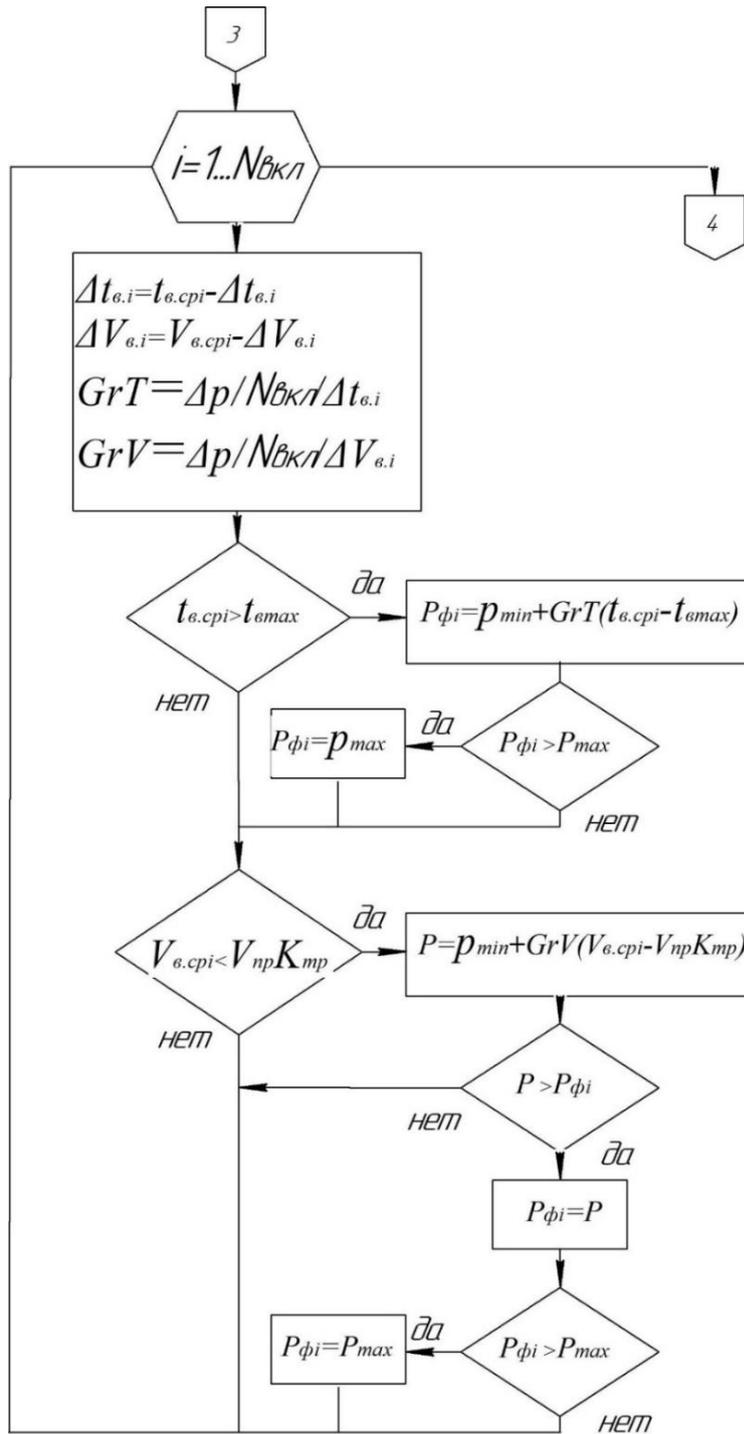


Рисунок 2 – продолжение (Лист 3)

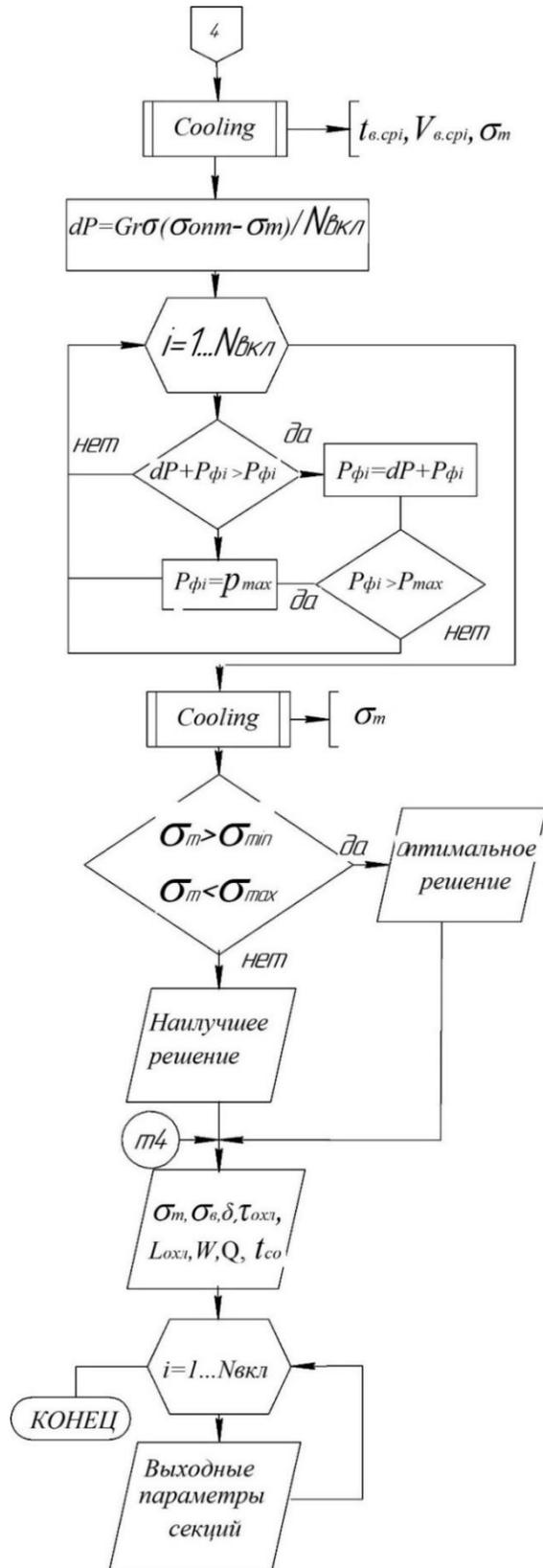


Рисунок 2 - окончание (Лист 4)

Если температура воды на выходе 1-й секции превышает допускаемую $t_{в,max}$, выбирается короткая камера охлаждения $L_{kl} dec(L_{kl})$. Производится пересчет режима при $p_{фор.i} = p_{max}$.

Далее осуществляется расчет режима при $p_{фор.i} = p_{min}$ при известном количестве и длине включенных секций.

По известным значениям σ_m , $t_{в,ср.i}$, $V_{в,ср.i}$ при крайних значениях давлений на форсунках определяются градиенты $Gr\sigma$, GrT , GrV , с помощью которых уточняется режим охлаждения на УУО.

По результатам расчета на экран выводятся сообщения или рекомендации оператору по изменению исходных данных для улучшения результата.

Заключение

На основе физико-математической модели ускоренного охлаждения арматурных профилей из низкоуглеродистых и низколегированных сталей в потоке прокатного стана впервые разработаны алгоритм и программа оптимизации режима упрочнения. Программа обеспечивает расчет оптимальных по расходу воды настроек для получения прочностных свойств на уровне близком к нижней границе, определяемой стандартами, и повышение пластических свойств арматуры

Практическая полезность разработки заключается в повышении качества арматурного проката путем стабилизации механических свойств по длине проката при охлаждении профилей из различных марок стали и возможных изменениях режимов прокатки, в упрощении решения задачи расширения сортамента арматуры по классу прочности и стандартам и сокращении сроков и потерь металла при освоении новой продукции, в оптимизации расхода охлаждающей воды и электроэнергии на насосах порядка на 10–20%.

Аппаратно разработка может быть реализована в нескольких вариантах: как советчик оператора участка термоупрочнения, подсистема в АСУ ТП, цифровой двойник прокатного стана.

Список литературы

1. [Электронный ресурс]: URL: <https://metal-archive.ru/metallurgicheskie-processy/1076-sposoby-i-ustroystva-dlya-ohlazhdeniya-sortovogo-prokata.html>. (дата обращения: 08.07.2025).
2. Губинский В.И., Минаев А.Н., Гончаров Ю.В., Уменьшение окисления при производстве проката - К.:Техніка, 1981.-135 с.
3. Губинский В.И., Рыбалов А.А. Моделирование ускоренного охлаждения арматурного проката в потоке непрерывных мелкосортных станов. «Промышленная теплотехника», 2002, т.24, №6.-С.24-28.
4. Худик В.Т. Формирование температуры самоотпуска в некоторых арматурных сталях/ В.Т.Худик и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. 2004. № 3. С.74 - 77.
5. Пилюшенко В.Л., Ноговицин А.В. Феноменологическая модель механических свойств проката из низкоуглеродистой микролегированной стали / Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. Киев: Наукова думка, 1995. 218с.
6. Левченко Л. Н. Производство арматурной стали / Л. Н. Левченко и др.// М.: Металлургия, 1984. 136 С.
7. Курбатов, Ю.Л. Разработка и исследование двухмерной математической модели ускоренного охлаждения проката / Ю.Л. Курбатов, и др. Донец, политехн. ин-т. Донецк, 1986 9 с. Деп. в Черметинформации 10.12.86, № 3724.
8. Солод В.С., Пашинский В.В. Синтез технологии термоупрочнения и автоматизированной системы управления установкой термоупрочнения арматурных профилей с помощью математической модели структурообразования / [Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации](#). 2009. № 11 (1319). С. 61-65.

9. Кириленко, О. М. Разработка способа эффективного термоупрочнения проката арматурного профиля диаметром 8 мм из стали обыкновенного качества в условиях стана 320 СПЦ-1 ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» / О. М. Кириленко, П. А. Бобков, М. В. Петренко, А. В. Русаленко // *Литье и металлургия*. 2020. № 1. С. 21–24. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2020-1-21-24>.
10. Киркин, Д.С. Разработка математической модели процесса термического упрочнения горячекатаной арматурной стали / Д.С. Киркин, Ю.А. Калягин // *Молодые исследователи - регионам: Материалы Всероссийской науч. конф. студ. и аспирантов*. - Вологда, 21-22 апреля 2005 г. - Вологда: ВГТУ, 2005.-Т. 1.-С79-81.
11. Эйсмонтд К.Ю. Автоматизированная система управления устройством термоупрочнения арматуры стана 350 / К.Ю. Эйсмонтд и др. // *Сталь*. 2007. № 6. С. 40 – 42.
12. Математическое моделирование на ЭВМ процессов превращения аустенита низколегированных сталей при прерывном охлаждении арматуры в условиях стана 450 ОАО ЗСМК / В.Д. Сарычев, А.Б. Юрьев, П.М. Новосельцев, В.Е. Громов // *Краевые задачи и математическое моделирование* : сб. тр. 4-й всерос. науч. конф., 1-4 дек. 2001 г. / под ред. О.В. Каледина ; НФИ КемГУ. – Новокузнецк, 2001. – Т. 1. – С. 67-72.
13. А.Б.Юрьев Оптимизация технологии упрочнения стержневой арматуры диаметром 32-40 мм класса А500С / А.Б. Юрьев и др. // *Сталь*. - 2002. - № 2.-С. 68-69.
14. Савьюк, А.Н. Оптимизация химического состава стали, технологии прокатки и термообработки для обеспечения механических свойств проката 162 В узком диапазоне значений / А.Н. Савьюк, и др. // *Тр. 5-го конгресса прокатчиков*. - М., 2004. - С. 200-205.
15. Липунов Ю.И. Разработка и ввод в эксплуатацию участка термоупрочнения арматуры в потоке литейно-прокатного комплекса стана 280 / Ю.И.Липунов и др. // *Сталь* 2010. № 3. С.86-90
16. Липунов Ю.И., Траянов Г.Г., Эйсмонтд К.Ю. Разработка систем регулируемого охлаждения и технологий термоупрочнения. *Сталь* 2010. № 3. С.96-99
17. Липунов Ю.И., Эйсмонтд К.Ю., Некрасова Е.В. Автоматизированные системы управления термоупрочнением проката в потоке стана. *Сталь* 2020. № 5. С.57-60. ISSN 0038—920X
18. Цкитишвили Э.О. Освоение производства высококачественной продукции на самом новом в Украине среднесортно-мелкосортном стане 390/ Э.О.Цкитишвили и др. // *ОАО «Черметинформация»*. Бюллетень «Черная металлургия».–2011.–№7.–С.56–65.
19. Солод В.С. Оценка возможностей использования нейросетевых моделей для оптимизации технологии охлаждения арматурной стали / В.С.Солод, В.М. Зуев, С.Б.Иванова // *Проблемы искусственного интеллекта* 2025 № 3 (38). С. 65-77.
20. Солод В.С. Физико-математическая модель для разработки экспертной системы ускоренного охлаждения арматурного проката / *Проблемы искусственного интеллекта* 2025 № 2 (37). С. 44-58. DOI 10.34757/2413-7383.2025-2-37-44-58.

References

1. [Electronic resource]: URL: <https://metal-archive.ru/metallurgicheskie-processy/1076-sposoby-i-ustroystva-dlya-ohlazhdeniya-sortovogo-prokata.html>. (date accessed: 07/08/2025).
2. Gubinsky V.I., Minaev A.N., Goncharov Yu.V., Reducing scale formation in the production of rolled products - K.: Tekhnika, 1981.-135 p.
3. Gubinsky V.I., Rybalov A.A. Modeling of accelerated cooling of reinforcing bars in the flow of continuous small-section mills. "Industrial Heat Engineering", 2002, v.24, no. 6.-P.24-28.
4. Khudik V.T. Formation of self-tempering temperature in some reinforcing steels / V.T. Khudik at al. // *Metallurgical and mining industry*. 2004. No. 3. P. 74-77.
5. Pilyushenko V.L., Nogovitsyn A.V. Phenomenological model of mechanical properties of rolled products made of low-carbon microalloyed steel / *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*.- Kyiv: Naukova Dumka, 1995. - 218 p.
6. Levchenko L.N. Production of reinforcing steel / L.N. Levchenko at al. // М.: Metallurgy, 1984. 136 p.
7. Kurbatov, Yu.L. Development and study of a two-dimensional mathematical model of accelerated cooling of rolled products / Yu.L. Kurbatov, at al. // - Donetsk, Polytechnical Institute. - Donetsk, 1986.- 9 p. - Dep. in Chermetinformatiya 12/10/86, No. 3724.
8. Solod V.S., Pashinsky V.V. Synthesis of heat hardening technology and automated control system for a reinforcement section heat hardening unit using a mathematical model of structure formation/ *Ferrous metallurgy*. Bulletin of scientific, technical and economic information. 2009. No. 11 (1319). P. 61-65.
9. Kirilenko, O. M. Development of a method for efficient heat hardening of rolled reinforcement sections with a diameter of 8 mm made of ordinary quality steel under the conditions of the 320 SPC-1 mill of

- OJSC BMZ - BMK Holding Management Company / O. M. Kirilenko et al. // Casting and metallurgy. 2020. No. 1. P. 21–24. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2020-1-21-24>.
10. Kirkin, D.S. Development of a Mathematical Model of the Process of Thermal Hardening of Hot-Rolled Reinforcing Steel / D.S. Kirkin, Yu.A. Kalyagin // Young Researchers - to the Regions: Proceedings of the All-Russian Scientific Conf. of Students and Postgraduates. - Vologda, April 21-22, 2005. - Vologda: VSTU, 2005.-Vol. 1.-P 79-81.
 11. Eysmond K. Automated Control System for the Rebar Yu Thermal Hardening Device of Mill 350 / K.Yu. Eysmond et al. // Steel. 2007. No. 6. Pp. 40 – 42.
 12. Sarychev V.D. Mathematical Modeling on a Computer of the Processes of Austenite Transformation in Low-Alloy Steels with Intermittent Cooling of Rebar in the Conditions of Mill 450 of OAO ZSMK / V.D. Sarychev et al. // Boundary value problems and mathematical modeling: Coll. t. 4th All-Russian scientific conf., December 1-4, 2001 / edited by O.V. Kaledin; NFI KemsU. - Novokuznetsk, 2001. - Vol. 1. - Pp. 67-72.
 13. Yuryev A.B. Optimization of the technology for strengthening rod reinforcement with a diameter of 32-40 mm of class A500C / A.B. Yuryev et al. // Steel. - 2002. - No. 2.-Pp. 68-69.
 14. Savyuk, A.N. Optimization of the chemical composition of steel, rolling technology and heat treatment to ensure the mechanical properties of rolled products 162 In a narrow range of values / A.N. Savyuk, et al. // Proc. 5th congress of rolling mill workers. - M., 2004. - P. 200-205.
 15. Lipunov Yu.I. Development and commissioning of a section for thermal strengthening of reinforcement in the flow of the casting and rolling complex of mill 280 / Yu.I. Lipunov et al.// Steel 2010. No. 3. pp. 86-90
 16. Lipunov Yu. I., Trayanov G.G., Eysmond K.Yu. Development of controlled cooling systems and thermal strengthening technologies. Steel 2010. No. 3. pp. 96-99
 17. Lipunov Yu.I., Eysmond K.Yu, Nekrasova E.V. Automated control systems for thermal strengthening of rolled products in the flow of the mill. Steel 2020. No. 5. P. 57-60. ISSN 0038—920X
 18. Tskitishvili E.O. Development of high-quality production at the newest medium-small-section mill 390 in Ukraine / E.O. Tskitishvili et al. // JSC Chermetinformatiya. Bulletin "Ferrous Metallurgy". - 2011. - No. 7. - P. 56-65.
 19. Solod V.S., Assessment of the possibilities of using neural network models to optimize the cooling technology of reinforcing steel / V.S. Solod, V.M. Zuyev, S.B.Ivanova// Problems of Artificial Intelligence 2025 No. 3 (38). - P. 65-77 .
 20. Solod V.S. Physical and mathematical model for the development of an expert system for accelerated cooling of reinforcing bars / Problems of Artificial Intelligence 2025 No. 2 (37). P. 44-58. DOI 10.34757/2413-7383.2025-2-37-44-58.

RESUME

V. S. Solod

Algorithm and program for optimizing the accelerated cooling operation mode of reinforcement bars in the thermal unit of the "Thermex" design

Introduction: The increasing of requirements for the quality of reinforcement bars, can be satisfied by using an integrated approach to solving the problems of determining the influence of the chemical composition of steel and the main technological parameters of the production process on the final quality indicators.

The following methods were used: mathematical modeling of the process, algorithmizing and programming method.

Results: Based on the physical and mathematical model of accelerated cooling of reinforcement bars made of low-carbon and low-alloy steels in the rolling mill flow, an algorithm and program for optimizing the hardening mode were developed for the first time. The program provides for the calculation of the optimal settings for the heat treatment line in terms of water consumption to obtain strength properties at a level close to the lower limit determined by the standards, and an increase in the plastic properties of the reinforcement bars.

Conclusion: In terms of hardware, the development can be implemented in several versions: advisor to the operator of the heat treatment device, a subsystem built into the APCS, a digital twin of the rolling mill.

РЕЗЮМЕ

В. С. Солод

Алгоритм и программа оптимизации режима ускоренного охлаждения арматурных профилей в термоустановке конструкции «Thertex»

Введение: Ужесточение требований к качеству арматурных профилей возможно удовлетворить путём применения комплексного подхода к решению задач определения влияния химического состава стали и основных технологических параметров производственного процесса на конечные показатели качества.

Использованные методы: математическое моделирование процесса, метод алгоритмизации и программирования.

Результаты: на основе математической модели ускоренного охлаждения арматурных профилей в потоке прокатного стана впервые разработаны алгоритм и программа оптимизации режима упрочнения. Программа обеспечивает расчет оптимальных по расходу воды настроек термоустановки для получения прочностных свойств на уровне близком к нижней границе, определяемой стандартами, и повышение пластических свойств арматуры.

Заключение: Аппаратно разработка может быть реализована в нескольких вариантах, таких как: советчик оператора участка термоупрочнения, подсистема, встроенная в АСУТП; цифровой двойник прокатного стана.

Солод Владимир Сергеевич – к.т.н., научный сотрудник, отдел интеллектуальных робототехнических систем, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Институт проблем искусственного интеллекта».

Область научных интересов: компьютерное моделирование технологии прокатного производства, эл. почта vs.solod@mail.ru, адрес: 283048, г. Донецк, ул. Артема, д. 118 б, Россия, телефон +7(949) 459- 02 -42,

Статья поступила в редакцию 24.09.2025.