

Список литературы:

1. Козинец Г.И., Сарычева Т.Г., Луговская С.А. Гематологический атлас / Настольное руководство врача-лаборанта. – Ярославль: Издательство «Практическая медицина», 2015. 192 с.
2. Стуклов Н.И., Альтидовский В.К., Огурцов П.П. Анемии. Клиника, диагностика и лечение / Уч. пособие для врачей. – М.: ООО «Издательство «Медицинское информационное агентство», 2013. 264 с.
3. Блиндарь В.Н., Зубрихина Г.Н., Матвеева И.И. Алгоритм современной лабораторной диагностики анемического синдрома у онкологических больных // Клиническая лабораторная диагностика. 2012. № 7. С. 19-24.
4. Меньшиков В.В., Делекторская Л.Н., Золотницкая З.П. и др. Лабораторные методы исследования в клинике / Справочник / Под ред. В.В. Меньшикова. – М.: Медицина, 1987. 368 с.
5. Карпищенко А.И. Медицинские лабораторные технологии и диагностика / Справочник: Медицинские лабораторные технологии. Т. 1 / Под ред. проф. А.И. Карпищенко. – СПб.: Интермедика, 2012. 472 с.
6. Пятницкий А.М., Медовый В.С., Парпара А.А. Анализ ретикулоцитов: ручная микроскопия, проточные анализаторы или анализаторы изображений? (Аналитический обзор) // Клиническая лабораторная диагностика. 2007. Т. 52. № 10. С. 10-14.
7. Стуклов Н.И. Компьютерная морфометрия ретикулоцитов в норме и при анемическом синдроме / Автореф. канд. мед. наук. 14.00.29. – М., 2004. 36 с.
8. Mahe E.R., Higa D., Naugler C., Adnan Mansoor, Meer-Taher Shabani-Rad Accuracy of the CellaVision DM96 platform for reticulocyte counting // Journal of Pathology Informatics. 2014. Vol. 5. № 1. P. 17 / http://www.jpathinformatics.org/temp/JPatholInform5117-8324497_230724.pdf (ссылка активна на 26.01.2017 г.).
9. Соснин Д.Ю., Ненашева О.Ю., Фалков Б.Ф., Трушева Л.А. Влияние подготовки мазка крови на работу системы автоматического анализа мазков крови Vision Hema // Клиническая лабораторная диагностика. 2013. Т. 58. № 4. С. 17-20.
10. Соснин Д.Ю., Фалков Б.Ф., Кубарев О.Г., Башикиров А.Ю., Поздин Н.В. Оценка распознавания клеток в мазках периферической крови системой автоматического анализа мазков крови Vision Hema® Ultimate // Клиническая лабораторная диагностика. 2015. Т. 60. № 9. С. 110.
11. Da Costa L. Digital image analysis of blood cells // Clinics in Laboratory Medicine. 2015. Vol. 35. № 1. PP. 105-122.
12. CLSI H20-A2 Reference Leukocyte (WBC) Differential Count (Proportional) and Evaluation of Instrumental Methods // Approved Standard – Second Edition. January 2007. Vol. 27. № 4.
13. Приказ Минздрава РФ от 25.12.1997 г. № 380 «О состоянии и мерах по совершенствованию лабораторного обеспечения диагностики и лечения пациентов в учреждениях здравоохранения Российской Федерации».
14. Приказ Минздрава РФ от 07.02.2000 г. № 45 «О системе мер по повышению качества клинических лабораторных исследований в учреждениях здравоохранения Российской Федерации».

Дмитрий Юрьевич Соснин,
д-р мед. наук, доцент,
кафедра клинической лабораторной
диагностики факультета дополнительного
профессионального образования,
ФГБОУ ВО «ПГМУ им. акад. Е.А. Вагнера» МЗ РФ,
Лилия Станиславовна Онянова,
руководитель лабораторного отдела,
ООО «West Medica»,
Борис Фимович Фалков,
директор разработки программного обеспечения,
ООО «Медика Продакт» («Вест-Медика»),
Олег Георгиевич Кубарев,
ординатор кафедры клинической
лабораторной диагностики факультета
дополнительного профессионального образования,
Никита Владимирович Поздин,
студент факультета прикладной математики и механики,
ФГБОУ ВО «ПГМУ им. акад. Е.А. Вагнера» МЗ РФ,
г. Пермь,
e-mail: sosnin_dm@mail.ru

Н.А. Ветрова, А.Г. Гудков, В.Д. Шашурин, О.С. Нарайкин,
С.В. Агасиева, Е.Н. Горлачева, В.Н. Лемонджава, В.М. Гукасов

Технологическая оптимизация устройства для безопасного хранения тромбоцитосодержащих трансфузионных сред

Аннотация

Разработана математическая модель технологической оптимизации на основе адаптивных алгоритмов метода нечетких цепей Маркова. Показана эффективность модели при проведении технологической оптимизации устройства для безопасного хранения тромбоцитосодержащих трансфузионных сред. Приведены результаты решения задачи поддержания технологического процесса в группе состояний «вблизи экстремума» целевой функции с вероятностью в установившемся режиме около 90 %.

В ранее опубликованных статьях [1]-[3] были представлены результаты теплового проектирования, состав и конструкция устройства для безопасного хранения тромбоцитосодержащих трансфузионных сред. Для того чтобы снизить производственные затраты на изделие, необходимо выполнить комплексную технологическую оптимизацию и разработать соответствующие модели. Сложность решения поставленной задачи связана с тем, что технологический процесс характеризуется множеством взаимосвязанных факторов, влияющих как на ход процесса, так и на его результаты. Поэтому проведение технологической оптимизации и мониторинг технологическо-

го процесса являются важными технико-экономическими задачами производства устройства для безопасного хранения тромбоцитосодержащих трансфузионных сред. Значение этих задач особенно возрастает в связи с широкой автоматизацией производства, применением станков с числовым программным управлением, автоматических станочных линий и многооперационных станков, FDM-технологий, а также широким использованием новых материалов.

Согласно современным исследованиям в области технологической оптимизации сложных производственных процессов (к которым следует отнести технологический процесс произ-

водства устройства для безопасного хранения тромбоцитосодержащих трансфузионных сред), в ситуации с повышенной значимостью создания математических моделей, учитывающих различного рода неопределенности, крайне сложно остаться в рамках формализма традиционных математических методов [4]. В подобных ситуациях оказывается эффективным и, как следствие, перспективным применение адаптивных методов оптимизации на основе нечеткой логики и мягких вычислений, а также технологий искусственного интеллекта (нейросетевой подход) [5], [6].

Эффективное производство, характеризующееся оптимальным технологическим процессом, можно смоделировать, выбрав в качестве целевой функции технологическую функцию Q , учитывающую вероятность выхода годных изделий P_1 , причем в качестве аргументов технологической функции следует использовать как ресурсы ($x^1 = x_1, \dots, x_l$), так и технологии ($x^2 = x_1, \dots, x_m$). В случае невозможности достижения соответствующих экстремумов целевой функции при имеющихся базовых технологиях обеспечение минимума себестоимости годных изделий $\min C$ или максимума вероятности выхода годных при соответствующем ограничении P_{\max} или C_0 достигается за счет выбора/изменения параметров/смены набора базовых технологий, характеризуемых технологической функцией $Q_1(x_1, \dots, x_l)$, на другой набор базовых технологий, характеризуемый другой технологической функцией $Q_{\text{opt}}(x_1, \dots, x_l)$, с взаимообусловленным выбором технологий, их параметров и экономических показателей.

В рамках формализма нечетких цепей Маркова процесс технологической оптимизации может быть рассмотрен как «действие» оператора экстремального регулятора (ЭР), представляющего собой нечеткий модуль, направленное на нелинейный объект управления (ОУ), собственно технологический процесс, с характеристикой $Q = f(x)$ – технологической функцией, имеющей экстремум. Экстремальный регулятор воздействует на вход x объекта управления, подавая ступенчатые поисковые смещения $\pm g$ относительно рабочей точки x_i (рабочие значения аргументов технологической функции). На выход ОУ воздействует неконтролируемое возмущение φ в виде случайного процесса, обусловленного внешними процессами на рынке, уровне освоения, погрешностями технологического процесса и пр. Для уменьшения влияния возмущений временного характера в ЭР используется фильтрация значений $Q_{1+}, Q_{2+}, \dots, Q_{k+}; Q_{1-}, Q_{2-}, \dots, Q_{k-}$ с обработкой их, например, в виде среднего арифметического. Алгоритм функционирования ЭР с парными пробами и описанной фильтрацией возмущений φ имеет вид

$$x_{i+1} = x_i + a \cdot \text{sign} \left\{ \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k Q_{i+} - \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k Q_{i-} \right\},$$

где a – величина шага; sign – функция знака. Наличие интенсивной помехи φ приводит к появлению ложных шагов, т. е. из некоторых состояний можно сделать случайным образом неправильный шаг, а затем также случайным образом начать движение в правильном направлении. Наличие случайных ложных срабатываний увеличивает время поиска.

В этих условиях задача технологической оптимизации устройства для безопасного хранения тромбоцитосодержащих трансфузионных сред и поддержания достигнутых результатов состоит в определении вероятностей нахождения системы в группе состояний «вдали от экстремума», «в окрестности экстремума» через конечное число шагов поиска, определении вероятностей нахождения в этой группе состояний в установившемся режиме, вычислении среднего числа шагов и дисперсии попадания из группы состояний в окрестность экстремума. Перечисленные задачи могут быть решены методами нечетких цепей Маркова.

При проведении технологической оптимизации устройства для безопасного хранения тромбоцитосодержащих трансфузионных сред в качестве аргументов целевой функции рассмотрены следующие основные технологии: механической обработки на универсальном станке, на станке с числовым программным управлением (ЧПУ), а также с применением аддитивных технологий (FDM, Fused deposition modeling – технология послойного наплавления). Станки с ЧПУ существенно повышают скорость и качество выполнения работ. Они снижают себестоимость продукции за счет уменьшения количества человеко-часов, нужных для ее производства. Такая эффективность достигается за счет применения технологий числового программного управления. Среди преимуществ, кроме высокой производительности в сочетании с гибкостью (способностью перенастраиваться), также отмечают: комплексную обработку многих поверхностей (включая крепежные отверстия), выполняемую за одну установку; наличие устройства автоматической смены инструмента (магазина с предварительно настроенным инструментом), при этом ручная смена инструмента требует 3...4 мин, автоматическая – 40 с; возможность быстрой переналадки на обработку разных деталей (в среднем от 10 до 40 мин); возможность получения поверхностей со сложной пространственной формой; отсутствие влияния человеческого фактора, следовательно, повышение стабильности показателей качества продукции. Среди недостатков обычно выделяют: высокую стоимость станка; увеличение сложности ремонта; нерациональное использование дорогостоящего станка на простых операциях; необходимость более дорогого фундамента; необходимость переподготовки кадров.

Для процесса технологической оптимизации технологическая функция может быть интерпретирована как доля технологий x_2 «Обработка на станках с ЧПУ» и x_3 «FDM-технологии»

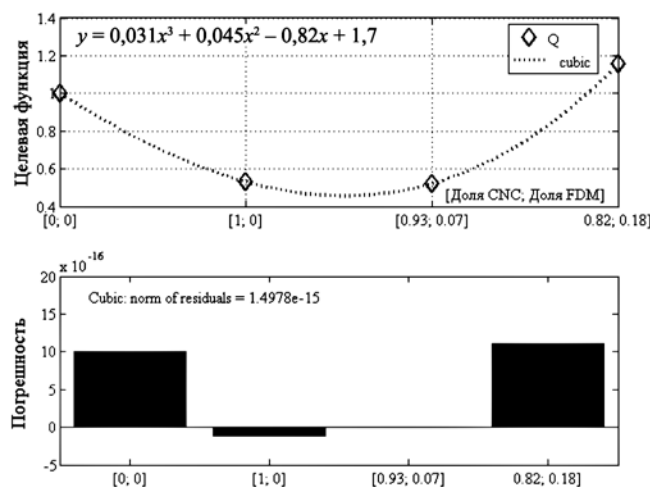


Рис. 1. Целевая функция и ее кубическая аппроксимация с величиной погрешности в узловых точках

в производстве устройства и учитывает вероятность выхода годных изделий и экономические факторы. Результаты расчета значений целевой функции, а также аппроксимация этих значений кубическим полиномом с результатами оценки погрешности в узловых точках представлены на рис. 1. Норма погрешности (среднестатистическая оценка среднеквадратической погрешности) составляет $1,5 \cdot 10^{-15}$. По оси абсцисс заданы интенсивности использования базовых технологий, т. е. доли элементов устройства для безопасного хранения тромбоцитосодержащих трансфузионных сред, которые обрабатываются на станках с ЧПУ x_i и с помощью FDM-технологий x_j . Таким образом, каждая точка на оси абсцисс x_k представлена парой чисел $[x_i; x_j]$, а именно: $x_1 = [0; 0]$ соответствует обработке на станке с ручным управлением; $x_2 = [1; 0]$ соответствует обработке всех элементов на станках с ЧПУ; $x_3 = [56 / 60; 4 / 60]$ и $x_4 = [49 / 60; 11 / 60]$ означает, что 56 (49) из 60 элементов обрабатываются на станках с ЧПУ, а оставшиеся – по FDM-технологии.

Интегральная трудоемкость с учетом операций сборки до и после оптимизации устройства для безопасного хранения тромбоцитосодержащих трансфузионных сред представлена на рис. 2. По оси абсцисс узлы устройства отсортированы в режиме «descend» по трудоемкости. Площади залитых областей соответствуют величине интегральной трудоемкости соответственно до и после оптимизации устройства безопасного хранения тромбоцитосодержащих трансфузионных сред.

Эффективное удержание экстремального значения целевой функции, достигнутого в процессе технологической оптимизации (решение задачи поддержания состояния технологического процесса в группе состояний «вблизи экстремума» целевой функции), осуществляется согласно разработанной методике, основанной на методе нечетких цепей Маркова.

При рассмотрении трех четких состояний $S = \{S_1, S_2, S_3\}$ в процессе технологической оптимизации и двух нечетких состояний $F = \{F_1, F_2\}$, функции принадлежности $\mu_{F_1}(S_i)$, $\mu_{F_2}(S_i)$, $i = 1, 3$, которых соответствуют лингвистикам «технологическая функция находится вдали от экстремума» и «технологическая функция находится в окрестности экстремума» и задаются гамма- и L-классом, матричная форма отображения $S \rightarrow F$ и переходная матрица четких состояний соответственно имеют вид

$$\Pi = \begin{pmatrix} \mu_{F_1}(S_1) & \mu_{F_2}(S_1) \\ \mu_{F_1}(S_2) & \mu_{F_2}(S_2) \\ \mu_{F_1}(S_3) & \mu_{F_2}(S_3) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0,5 & 0,5 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

и

$$P(1) = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & 0 \\ p_{21} & 0 & p_{23} \\ 0 & p_{32} & p_{33} \end{pmatrix}$$

Соотношение, связывающее переходную матрицу $P_f(1)$ нечетких состояний с переходной матрицей $P(1)$ четких состояний в предположении равных вероятностей $\pi_i(0) = 1/3$, $i = 1, 3$, нахождения четкой цепи Маркова на момент начала оптимизации в любом из рассматриваемых состояний

$$P_f(1) = \Delta_1^* \Pi^T P(1) \Pi,$$

где

$$\Delta_1^* = \begin{pmatrix} \left[\sum_{i=1}^3 \mu_{F_1}(S_i) \right]^{-1} & 0 \\ 0 & \left[\sum_{i=1}^3 \mu_{F_2}(S_i) \right]^{-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2/3 & 0 \\ 0 & 2/3 \end{pmatrix}$$

Таким образом,

$$P_f(1) = \begin{pmatrix} \frac{2}{3} \left[p_{11} + \frac{1}{2}(p_{12} + p_{21}) \right] & \frac{1}{3}(p_{12} + p_{23}) \\ \frac{1}{3}(p_{21} + p_{32}) & \frac{2}{3} \left[p_{33} + \frac{1}{2}(p_{23} + p_{32}) \right] \end{pmatrix}$$

Для интерпретации полученных соотношений при наложении ряда дополнительных упрощений можно показать, что в установившемся режиме система оптимизации с вероятностью $\pi_{F_2, \text{уст}} \approx 0,89$ будет находиться в нечетком состоянии F_2 – «технологическая функция находится в окрестности экстремума» и с вероятностью $\pi_{F_1, \text{уст}} \approx 0,11$ в нечетком состоянии F_1 – «технологическая функция находится вдали от экстремума».

Таким образом, разработанная математическая модель для технологической оптимизации устройства для безопасного хранения тромбоцитосодержащих трансфузионных сред отличается от традиционных и существовавших ранее моделей тем, что ее эффективность обусловлена применением адаптивных методов оптимизации на основе нечеткой логики и мягких вычислений с привлечением современного математического аппарата нечетких цепей Маркова. В качестве целевой функции предложено выбрать технологическую функцию, учитывающую вероятность выхода годных изделий, причем в качестве аргументов технологической функции предложено использовать как ресурсы, так и технологии. Проведение технологической оптимизации устройства для безопасного хранения тромбоцитосодержащих трансфузионных сред позволяет повысить конкурентоспособность и обеспечить продолжительный срок жизни в рыночных условиях, благодаря эффективному удержанию экстремального значения целевой функции – решению задачи поддержания состояния технологического процесса в группе состояний «вблизи экстремума» целевой функции с вероятностью в установившемся режиме около 90 %, осуществляемому согласно разработанной методике, основанной на методе нечетких цепей Маркова.

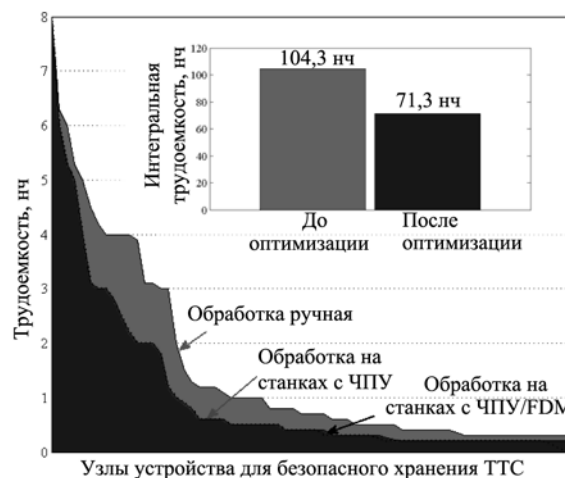


Рис. 2. Оценка интегральной трудоемкости до и после оптимизации устройства для безопасного хранения тромбоцитосодержащих трансфузионных сред

Список литературы:

1. Гудков А.Г., Бобрин А.Ф., Зеленов М.С., Леушин В.Ю., Лемонджав В.Н., Маржановский И.Н., Чернышев А.В. Моделирование процессов хранения тромбоцитосодержащих трансфузионных сред в полимерных контейнерах // Медицинская техника. 2016. № 3. С. 53-55.
2. Гудков А.Г., Леушин В.Ю., Агасиева С.В., Бобрин А.Ф., Горлачева Е.Н., Лемонджав В.Н., Апарников А.Н. Устройство для хранения тромбоцитосодержащих трансфузионных сред // Медицинская техника. 2016. № 5 (299). С. 27-29.
3. Гудков А.Г., Агасиева С.В., Бобрин А.Ф., Горлачева Е.Н., Зеленов М.С., Лемонджав В.Н., Леушин В.Ю., Чернышев А.В., Левчук М.А., Чижиков С.В. Моделирование процессов хранения контейнеров с тромбоцитосодержащими средами в инкубаторах тромбоцитов // Медицинская техника. 2016. № 5 (299). С. 45-47.
4. Бушиминский И.П., Ветрова Н.А., Гудков А.Г. и др. Повышение надежности и качества ГИС и МИС СВЧ / Под ред. А.Г. Гудкова, В.В. Попова. Кн. 2. – М.: АВТОТЕСТ, 2013. 215 с.
5. Деменков Н.П., Мочалов И.А. Динамика нечеткой системы автоматической оптимизации // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Приборостроение». 2016. № 1. С. 59-74.
6. Towards the Future of Fuzzy Logic / Editors: Rudolf Seising, Enric Trillas, Janusz Kacprzyk // Studies in Fuzziness and Soft Computing. 2015. Vol. 325. – Springer International Publishing / <http://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-18750-1>.

Наталья Алексеевна Ветрова,
канд. техн. наук, доцент,
Александр Григорьевич Гудков,
д-р техн. наук, профессор,
Василий Дмитриевич Шашурин,
д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой,
кафедра РЛБ «Технологии приборостроения»,
МГТУ им. Н.Э. Баумана,
Олег Степанович Нарайкин,
член-кор. РАН, д-р техн. наук, профессор,
зав. кафедрой РК 5,
МГТУ им. Н.Э. Баумана,
первый зам. директора по научной работе,
НИЦ «Курчатовский институт»,
Светлана Викторовна Агасиева,
канд. техн. наук, доцент,
Евгения Николаевна Горлачева,
канд. эконом. наук, доцент,
МГТУ им. Н.Э. Баумана,
Вахтанг Нодарович Лемонджав,
начальник отдела,
ООО «НПИ ФИРМА «ГИПЕРИОН»,
Вадим Михайлович Гукасов,
д-р биолог. наук, гл. научный сотрудник,
ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ,
г. Москва,
e-mail: ooo.giperion@gmail.com

Д.В. Белик, И.Н. Кустов, К.Д. Белик, А.В. Шекалов

Управление выходными параметрами электрохирургического аппарата с целью минимизации термического поражения биотканей

Аннотация

Рассматривается способ снижения термических поражений биоткани при использовании электрохирургического аппарата. Предлагается коррекция выходной мощности в зависимости от типа биоткани и приращения импеданса, вызванного процессом коагуляции. Представлены результаты исследования импеданса биоткани, на которых обосновывается возможность реализации данного способа.

Введение

Наиболее распространенные осложнения при высокочастотной электрохирургии – ожоги тканей. Таким образом, одним из важнейших направлений развития электрохирургических аппаратов следует признать минимизацию термических поражений, вызываемых ими. При этом возникают сложности, связанные с непрерывным изменением параметров: расстояния между электродом и биотканью, характеристик пароголового промежутка, характера и состояния оперируемой ткани, положения рабочего кабеля, типа инструмента, расположения пассивного электрода, а также в широких пределах изменяется комплексное сопротивление (импеданс) выходной цепи. В связи с этим при диссекции и коагуляции изменяются характеристики взаимодействия тока ЭХА с оперируемой тканью: характеристики дуги, ширина и глубина проникновения тока, а следовательно, и качественные параметры зоны повреждения ткани.

Существует несколько основных возможных путей, позволяющих добиться уменьшения термических поражений, но либо не реализованных в настоящее время, либо недостаточных развитых.

Один из наиболее эффективных путей – это повышение частоты выходного сигнала аппарата с сотен килогерц до частот выше 1 МГц. Эффективность диссекции и коагуляции воз-

растает, а объем повреждения тканей (следовательно, количество осложнений) уменьшается с увеличением рабочей частоты ВЧ-генератора. Данная технология реализована, например, в зарубежных аппаратах «Surgitron». Но повышение частоты требует значительного усложнения силовой части, что влечет за собой повышение стоимости производства и снижение надежности аппарата. Кроме того, существующая в настоящее время функциональная схема построения ЭХА не дает возможности повысить КПД приборов при увеличении рабочей частоты [1]. Следовательно, для эффективного использования частот выше 1 МГц необходим поиск новых схемотехнических решений.

Другой возможный подход заключается в управлении выходной мощностью с установкой ее оптимального значения для конкретного вида биоткани. С этой точки зрения наиболее информативным параметром является измерение импеданса биоткани. При приложении активного электрода к биоткани изменение импеданса в точке происходит согласно графику, представленному на *рис. 1*. При температуре 45...60 °С динамика ее роста в однородной биоткани приостанавливается, так как происходит свертывание (денатурация) белков, которое протекает с поглощением тепловой энергии. Далее, при достижении температуры более 100 °С, происходит закипание межклеточной жидкости, разрыв мембран клеток с поглощением тепловой энергии [2], [3].